

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КОММУНАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«МИНСКВОДОКАНАЛ»  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«МИНСКОБЛГАЗ»  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «МИНГАЗ»  
РУП «ИНСТИТУТ ЖИЛИЩА – НИПТИС ИМЕНИ АТАЕВА С. С.»

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОДНОМ, КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Материалы II республиканской научно-технической конференции*

*28–29 апреля 2022 года*

Минск  
БНТУ  
2022

УДК 082 (06) + 001.895 (06)

ББК 72я431

И66

Рецензенты:

кафедра общей физики Белорусского государственного университета;  
главный научный сотрудник ГП «Институт жилища – НИПТИС им. С. С. Атаева»,  
доктор технических наук, профессор *В. М. Пилипенко*

Редакционная коллегия:

*Харитончик С. В.* – ректор БНТУ, д-р техн. наук;

*Маларевич А. М.* – проректор по научной работе БНТУ, член-корреспондент НАН Беларуси, д-р физ.-мат. наук, профессор;

*Трепачко В. М.* – директор филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», канд. техн. наук, доцент;

*Ивашечкин В. В.* – декан факультета энергетического строительства БНТУ, д-р техн. наук, профессор;

*Линкевич Н. Н.* – доцент кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;

*Юркевич Н. П.* – доцент кафедры «Физика» БНТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

*Гуринович В. Ю.* – заведующий отделом научно-технической информации и маркетинга филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»;

*Хрусталеv Б. М.* – заведующий кафедрой «Теплогоснабжение и вентиляция» БНТУ, академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор;

*Качанов И. В.* – заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ, д-р техн. наук, профессор;

*Мартысюк Н. П.* – заведующая кафедрой «Английский язык № 2» БНТУ, канд. филол. наук, доцент;

*Есман А. К.* – заведующий кафедрой «Физика» БНТУ, д-р физ.-мат. наук, профессор;

*Ануфриев В. Н.* – заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;

*Дячек П. И.* – профессор кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция» БНТУ, д-р техн. наук, профессор

В сборнике представлены материалы республиканской научно-технической конференции «Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте», тематика которых посвящена актуальным проблемам использования инновационных технологий современной науки и техники в областях водоснабжения и водоотведения, теплогоснабжения, гидротехнического и энергетического строительства, естествознания и лингвистическом обеспечении образовательного процесса в техническом вузе.

**Требования к системе:**

IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM. Программа работает в среде Windows.

**Открытие электронного** издания проводится посредством запуска файла Конф\_2022-1. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 30.06.2022. Объем издания: 9,18 Мб. Заказ 378

Белорусский национальный технический университет

Пр-т. Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел (017) 292-40-81, факс (017) 292-91-3

**ISBN 978-985-583-772-6**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2022

**Теплоснабжение, газоснабжение,  
вентиляция и охрана воздушного бассейна**

**Термоаналитический анализ брикетированного  
многокомпонентного топлива**

Хрусталеv Б. М.<sup>1</sup>, Пехота А. Н.<sup>2</sup>, Филатов С. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>3</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

*Рассмотрена реализация алгоритма подбора многокомпонентных составов твердого топлива с использованием анализа и оптимизации различных факторов, при производстве брикетированного топлива на основе использования горючих отходов. Освещены результаты термоаналитических исследований многокомпонентных составов с использованием метода дифференциально-термического анализа (ДТА), выполненного на дериватографе.*

Промышленное производство различных стран мира реализует основные подходы в применении разнообразных технологий, обеспечивающих переработку образующихся объемов отходов от применения сырьевых и природных ресурсов. Эффективным методом их утилизации во многих технологиях является термическое переработка, которая позволяет не только уменьшать объемы образования, не загрязняя окружающую среду, но и получать различные энергоресурсы при их утилизации.

В последние годы среди «традиционных» альтернативных источников производства топлива, все больше находят распространение такие виды топлива как гранулированное, брикетированное, MSF-топливо (многокомпонентное), RDF-топливо и др. Эти виды альтернативного топлива, использование которых обеспечит производство тепловой и электрической энергии [1].

Наибольший интерес сегодня приобретает технология получения MSF-топлива, которое, как и RDF-топливо имеет многокомпонентный состав, но производится с использованием не только твердых коммунальных отходов.

На рис. 1 представлена принципиальная технологическая схема многокомпонентного брикетирования с использованием связующих компонентов или веществ.

В свою очередь, как показали ранее проведенные исследования [2–4] решением проблем с использованием отходов, не нашедших технологичес-

кого применения в других технологиях, является специализированный подбор оптимального многокомпонентного состава с учетом обязательного использования в брикетируемой смеси экологически чистых отходов в пропорции с загрязненными отходами. Такой подход, при формировании двух-трех и более компонентных смесей в пределах определенной влажности, обеспечивает оптимальное и сбалансированное соотношение химических элементов в конечном составе топлива, что при сжигании обеспечивает нормированные параметры содержания выбросов вредных веществ.

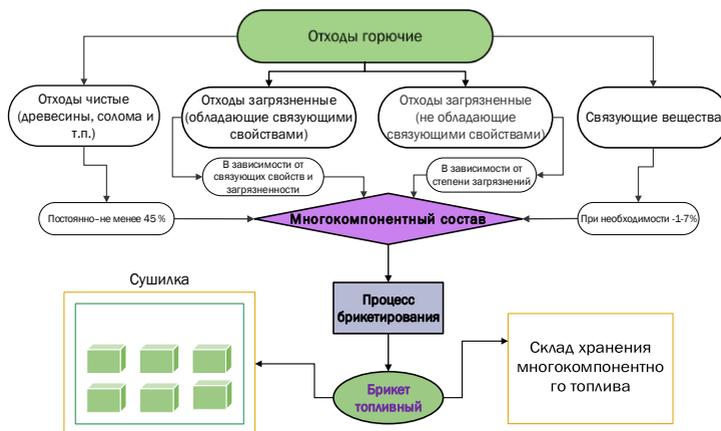


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема брикетирования MSF-топлива

Разработанная и смоделированная открытая система многокомпонентного брикетирования, также базируется и на таком обязательном факторе, как использование связующего в составе топливной смеси. Продолжительный опыт экспериментальных исследований, изучение моделей процесса и практика брикетирования, позволили определить широкую группу различных отходов производственной и коммунальной жизнедеятельности человека, которые успешно обеспечивают связующими свойствами процесс брикетирования. Среди них, гидролизный лигнин, отходы очистных сооружений предприятий деревообработки, целлюлозно-бумажных производств, городской коммунально-бытовой канализации (осадок сточных вод), а также широкий спектр углеводородсодержащих отходов, применение которых в составе топлива допускается разработанным Министерством природных ресурсов Республики Беларусь ТКП 17.11-01-2009 и многие другие отходы.

Научная новизна, разработанной инновационной технологии, состоит в использовании математических моделей, позволяющих, с учетом физико-химического состава используемых компонентов, рассчитать оптимальное с энергетической и экологической точек зрения, соотношение компонентного состава топлива в открытой системе многокомпонентного брикетирования. Для решения данной научной задачи использовался алгоритм, реализующий теорию планирования и математическое моделирование процессов получения составов топлива и распространения выбросов при его сжигании в слоевых топках. Реализация алгоритма осуществлена с применение системы компьютерной математики Mathcad, а также математического программного комплекса STATISTICA 7 (промышленная статистика, планы для смесей с ограничениями). Геометрическая интерпретация полного факторного эксперимента для трех компонентного топлива представлена на рис. 2, где входными параметрами являются:  $a$  осадок сточных вод,  $z$  древесные опилки,  $c$  углеводородсодержащие отходы. Выходными параметрами являются время получения брикета  $P$  и показатель плотности  $U$  брикета.

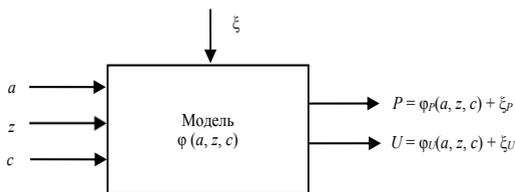


Рис. 2. Кибернетическое представление эксперимента и геометрическая интерпретация факторного эксперимента для трехкомпонентного топлива

Изучение физико-химических процессов, происходящих в сложных гетерогенных системах осуществлено, в соответствие с учением о фазовых равновесиях, представляющих собой общие закономерности, которым подчиняются равновесные системы, содержащие любое число фаз и компонентов и подчиняющиеся правилу фаз Гиббса. Проведенные экспериментальные исследования, показали, что для трехкомпонентных топливных систем, с учетом ее равновесия существенное влияние оказывают два основных внешних фактора – температура и давление.

Учитывая, что важной составляющей получения качественного твердого топлива, является его теплотехнические характеристики и фактические значения основных показателей, были выполнены традиционные лабораторные исследования в соответствии с ГОСТ 33515, 33513, 2408.3, 33511, 33108, а также дополненные исследования с применением методов термического

разложения веществ. Применение этих исследований позволило рассчитать кинетические константы соответствующих процессов, тепловые эффекты реакции, определить температуру начала разложения и другие характеристики [4–5].

Применение дифференциально-термического анализа (ДТА), выполненны на дериватографе MOM-1500 (Венгрия), позволило выявить фазовые превращения и химические реакции, протекающие в многокомпонентном топливе при нагревании по термическим эффектам, сопровождающим эти изменения. При помощи ДТА определено изменение энтальпии, связанное с химическими реакциями, происходящими в многокомпонентном брикете под влиянием тепла, а также изменение состояния и превращение фаз в топливе.

Результаты сравнительного анализа дериватограмм полученных от исследования различных марок многокомпонентного твердого топлива с использованием двух и трех компонентных составов (древесные отходы, осадки сточных вод, углеводородсодержащие отходы, лигнин) показал, что например, по зольности топливо с запасом, а в некоторых случаях и значительным, соответствуют требованиям ГОСТ 11022-95 и ГОСТ 33511[5].

### Литература

1. Хрусталеv, Б. М. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.
2. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, Минь Фап Ву, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, Тху Нга Нгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
3. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо: [монография] / А. Н. Пехота // М-во трансп. и коммуникац. Респ. Беларусь, Беларус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.
4. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 164–174.
5. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Известия высш. учеб. заведений и энергетич. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

**Особенности расчета ПДК загрязняющих веществ от сжигания  
многокомпонентного топлива**

Хрусталеv Б. М.<sup>1</sup>, Пехота А. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь

*Рассмотрены вопросы расчетов основных контролируемых веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании твердого топлива. Дана оценка, на основе математического моделирования безразмерной концентрации, формированию выбросов азота оксидов с различными параметрами дымовой трубы, при сжигании многокомпонентного топлива в промышленной котельной.*

Использование отходов производства, вторичного сырья и возобновляемых ресурсов для расширения гаммы местных видов топлива (МВТ) и повышение их удельного веса в энергобалансе является актуальной проблемой для многих стран, в том числе и нашей страны. При этом стоит учитывать, что не всегда получение, переработка и использование МВТ из отходов в виду различных причин экономически эффективны и экологически безопасны.

Осуществляя разработки перспективных технологий, по расширению гаммы использования различных горючих отходов, учитывались следующие основные направления: использование при производстве МВТ значительных объемов ранее накопленных углеводородсодержащих отходов и осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений; создание твердого топлива на основе многокомпонентных составов; применение разработанного топлива в топливосжигающих установках, не требует значительных капитальных затрат на переоборудование; соответствие многокомпонентного топлива требованиям действующей нормативно-технической документации в области экологических и энергетических нормативов (ТКП 17.11-01-2009 и ТКП 17.08-01-2006 и т. п.).

При сжигании любого вида альтернативного топлива образуются выбросы, в виде газопылевидных веществ, подлежащие выводу (выбросу в атмосферу) за пределы оборудования, обеспечивающего термический процесс. В процессе горения топлива, наряду с выделением тепловой энергии, с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Основные контролируемые вещества,

выбрасываемые в атмосферу объектами энергетического применения топлив и их характеристики представлены в табл. Воздействие на окружающую среду оказывают также и другие газы, поступающие в атмосферу вещества (пар, метан, хлор и т. п.), однако основное влияние оказывают соединения, представленные в табл.

Таблица

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Наименование	Характеристика
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	Оказывает воздействие на окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для получения ряда химикатов и для консервирования фруктов.
Оксид азота (NO <sub>x</sub> )	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя. Вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди».
Моноксид углерода (CO)	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ).
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	Образование CO <sub>2</sub> – необходимое условие процесса горения. Однако экологические законы и принятые международные соглашения ограничивают уровень выбросов CO <sub>2</sub> , так как считается, что он способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности.
Твердые частицы	Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Могут являться источником выбросов в атмосферу радионуклидов.

Методика расчета трех компонентного состава (древесные опилки, осадок сточных вод, донные отложения мазутных резервуаров) твердого топлива, предлагается осуществлять следующим образом [1–3]. Зная расчетную нагрузку котла, на котором планируется производить использование многокомпонентного топлива, КПД котла ( $\eta_k$ ), количество компонентов в топливе ( $k = 3$ ), а также их долевое соотношение ( $x_1 + x_2 + x_3$ ) и низшую рабочую теплоту сгорания каждого компонента ( $Q_1 + Q_2 + Q_3$ ), определяем следующим образом

$$Q(x_1, x_2) = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3,$$

$$Q_i = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3,$$

$$N = \frac{1}{100} \cdot (Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3) \cdot B \cdot \eta_k \cdot$$

Определяем расчетный расход ТТМ при максимальной нагрузке котла, кг/с:

$$B = \frac{100 \cdot N}{Q_t \cdot \eta_k},$$

$$\frac{1}{100} \cdot Q_1 \cdot x_1 \cdot B \cdot \eta_k + \frac{1}{100} \cdot Q_2 \cdot x_2 \cdot B \cdot \eta_k + \frac{1}{100} \cdot Q_3 \cdot x_3 \cdot B \cdot \eta_k,$$

$$B = \frac{100 \cdot N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \cdot \eta_k},$$

по формуле расчета максимального количества оксидов азота при сгорании опилок, г/с:

$$M_{1,NOx} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} x_1 Q_1 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(\frac{1 - q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} x_1 Q_1^3}\right] \beta_p,$$

по формуле расчета максимального количества азота оксидов при сгорании осадка сточных вод, г/с:

$$M_{2,NOx} = \left(1 - \frac{q_{42}}{100}\right) (1 - (x_1 + x_3)) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} Q_2 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} (1 - (x_1 + x_3)) Q_2^3}\right] \beta_p,$$

по формуле расчета максимального количества азота оксидов при сгорании донных отложений мазутных резервуаров, г/с:

$$M_{3,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{43}}{100}\right) (1 - (x_1 + x_2)) \frac{100N}{\left[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))\right] \eta_k} Q_3 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{3,T} K_{3,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{\left[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))\right] \eta_k} (1 - (x_1 + x_2)) Q_3^2}\right] \beta_p.$$

Получив значения максимального количества азота оксидов при сгорании, определяем безразмерную концентрацию  $q$  с учетом высоты трубы  $H$  по формуле

$$q_1 = \frac{AMFn^2\eta}{C_u H^2 \sqrt[3]{V\Delta T}}.$$

Произведя расчеты и моделирование безразмерной концентрации  $q$  только для  $NO_x$ , с различными параметрами высоты дымовой трубы, получен график представленный на рис. 1.

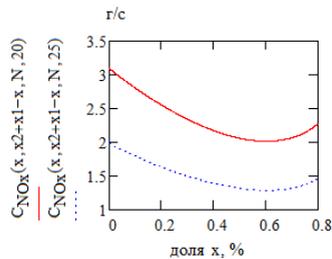


Рис. 1. Графические результаты моделирования безразмерной концентрацией  $q$  для выбросов  $NO_x$  с различной высотой дымовой трубы

Согласно моделирования компонентным составом и в соответствии с построенным графиком безразмерной концентрацией  $q$  для выбросов  $NO_x$ , определено, что при увеличении доли  $x$  в различных соотношениях между долями  $x_1$  древесных опилок и доли  $x_2$  осадка сточных вод, (с сохранением постоянной доли  $x_3$  донных отложений мазутных резервуаров) за счет увеличения высоты дымовой трубы можно в значительной степени снижать содержание  $NO_x$ .

Также моделирование позволило определить значение минимума относительной концентрации  $C_{NO_x}$ , которое достигается при следующем соотношении долей компонентного состава: доля древесных опилок  $x_1 = 0,3$ ,

доля осадка сточных вод  $x_2 = 0,6$ , доля донных отложений мазутных резервуаров  $x_3 = 0,1$  [4].

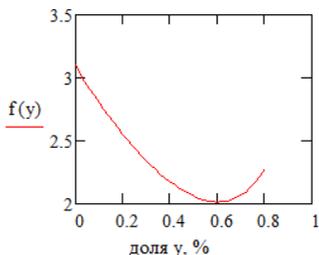


Рис. 2. Результаты определения минимума относительной концентрации  $C_{NOx}$  при соотношении  $x_1 = 30\%$ ,  $x_2 = 60\%$ ,  $x_3 = 10\%$

Значения минимума относительной концентрации  $C_{NOx}$ , с учетом представленных выше соотношений долей компонентного состава, в графическом виде представлено на рис. 2.

### Литература

1. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо: [монография] / А. Н. Пехота // М-во трансп. и коммуникац. Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.
2. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность сжигания двухкомпонентного твердого топлива / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничников // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / Гомельский обл. комитет природн. ресурсов и охраны окр. среды, М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 201–203.
3. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность утилизации нефтесодержащих отходов / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничников // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 240–241.
4. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталева, Минь Фап Ву, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, Тху Нга Нгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.

**Технологические аспекты получения твердого топлива на основе осадка сточных вод очистных сооружений**

Пехота А. Н., Пехота Е. А.  
Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь

*Рассмотрены технические аспекты реализации разработанной инновационной технологии производства твердого топлива на основе использования осадка сточных вод очистных сооружений. Проанализированы результаты исследований, полученные от применения разработанной циклической гидравлической установки брикетирования топлива, на основе многокомпонентных составов с использованием горючих отходов. Дана оценка с применением многофакторного анализа разработанной открытой системы позволяющей определить пределы функции желательности, обеспечивающие получение качественного топлива с максимальной плотностью брикета и оптимальной производительностью брикетирования.*

Разработка научного обоснования необходимых комплексных мер по использованию твердых коммунальных отходов в качестве альтернативного топлива было предусмотрено и выполнено в рамках Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски» в 2016–2020 годы.

Анализ национальных данных о деятельности предприятий и организаций, производящих отходы показал, что одним из наиболее приемлемых решений является термическая утилизация коммунальных отходов с применением их в качестве альтернативного топлива, что в целом позволяет решать ряд важных и злободневных задач.

При этом важность скорейшего внедрения и использования технологий получения альтернативного топлива, в значительной мере на предстоящую перспективу обеспечит снижения количества полигонов твердых коммунальных отходов, являющихся одними из крупнейших источников эмиссии метана в атмосферу. Проведенный анализ данных кадастра парниковых газов, показал, что общий объем выбросов парниковых газов в секторе «Отходы» в среднем ежегодно в эквиваленте CO<sub>2</sub> составляет не менее 7,4 % от общего объема выбросов парниковых газов в Республике Беларусь, в т. ч. 96,5 % этого объема выделяется от полигонов концентрирующих ТКО.

При этом следует отметить, что сегодня в странах ЕС существуют предприятия, в структуре которых применение альтернативных видов топлива различной природы, достигает 100 % от общего потребления топлива. А,

например, природный газ в промышленности некоторых стран ЕС используется только как резервное топливо, или как вспомогательное – для поддержки горения трудно сгораемого топлива, углеродсодержащих отходов и розжига. Для переработки и получения альтернативного топлива используются не все фракции твердых коммунальных отходов (ТКО), а только наиболее легко извлекаемые фракции, обеспечивающие минимальные затраты. Поэтому рассматривая среди этой группы отходов, осадки сточных вод (ОСВ) очистных сооружений можно отнести к наиболее легко извлекаемым и доступным фракциям отходов, имеющих значительный энергетический потенциал [1, 2].

Вместе с тем, важностью скорейшего применения технологий получения, на основе ОСВ альтернативного топлива, является растущие объемы его образования. По оценкам специалистов, уже в ближайшее время прогнозируется рост объемов ОСВ, вследствие строительства новых очистных сооружений, в т.ч. при выводе из эксплуатации полей фильтрации, а также при увеличении производительности и повышении степени очистки сточных вод на существующих сооружениях. В настоящее время ежегодно в Республике Беларусь образуется более 50 тыс. тонн осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество, т.е. без учета влажности. Соответственно масса и объемы образующегося влажного осадка намного выше, и в среднем составляют около 0,7 млн тонн в год [3]. Таким образом, все более актуальным для производственных и коммунальных предприятий становится вопрос выбора технологии его переработки, позволяющей сократить площади для размещения этого отхода или полностью гарантировать его переработку в процессе поступления, что обеспечит отсутствие необходимости его хранения.

В рамках проведенных исследований, была рассмотрена возможность использования ОСВ для получения твердого топлива с применением технологий брикетирования. Учитывая высокую остаточную влажность ОСВ 70–80 %, даже после механического обезвоживания, применение традиционных способов брикетирования для данного отхода нецелесообразно. В рамках проведения исследования теплоэнергетических и физико-химических свойств ОСВ, на КПУП «Гомельводоканал» была изготовлена опытная партия твердого топлива. Разработанные составы были произведены в следующих соотношениях: «Марка-1» – ОСВ 50 % и опилки древесные 50 %; «Марка-2» – ОСВ 75 % и опилки древесные 25 %; «Марка-3» – ОСВ 100 %; «Марка-4» – ОСВ 33 % и опилки древесные 67 % [4, 5]. С точки зрения теплотехнических и экологических характеристик, были приведены анализы, на основе которых определялись диапазоны и соотношения химического состава, соответствующего оптимальному качеству по энергетическим и экологическим показателям.

Проведенные исследования показали, что к основным параметрам брикетируемости представленных составов, как физико-механического процесса,

является способность подготовленной смеси к уплотнению, упрочнению и присутствия пластичности. В ходе предварительных экспериментов по брикетированию опытной партии установлено, что эти параметры зависят от температуры, влажности, давления брикетирования. Поэтому важно определить те их значения, которые соответствуют минимальным энергетическим затратам и максимальной производительности брикетирования при необходимом качестве.

Брикетирование осуществлялось с применением разработанной технологии влажного многокомпонентного брикетирования, на установках шнекового и гидравлического формования. На рис. 1 схематично представлено устройство разработанной гидравлической установки брикетирования топлива.

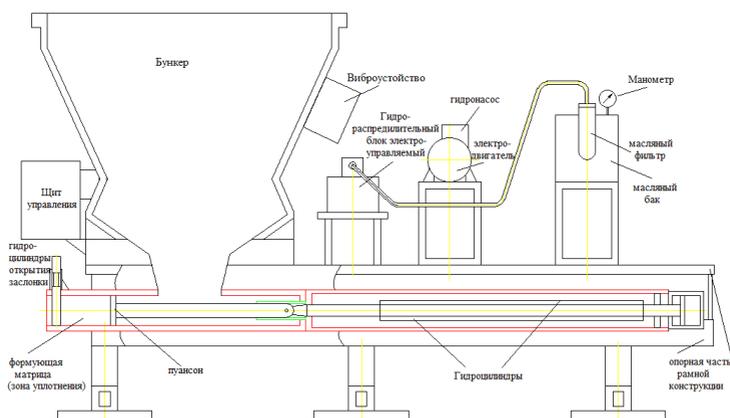


Рис. 1. Гидравлическая установка циклического брикетирования многокомпонентного твердого топлива

Особенностью ее работы и выгодным отличием от существующих установок, является высокий уровень автоматизации процесса брикетирования, не высокое энергопотребление (11 кВт/час), и повышенная производительность брикетирования (500–680 кг/час топлива по сухой массе).

Работа установки осуществляется следующим образом: из бункера подготовленная смесь с помощью виброустройства поступает в открытую зону уплотнения, в момент, когда левый горизонтально расположенный цилиндр вдоль рамной конструкции установки, полностью открыл загрузочное окно формующей матрицы, т. е. вернулся в исходное положения (в корпус цилиндра, стадия – начало брикетирования), а правый цилиндр в это время окончил цикл брикетирования (полное сжатие формующей смеси). Далее правый, вертикально

установленный гидравлический цилиндр, расположенный с передней торцевой стороны установки, поднимает упорную заслонку формирующей матрицы вверх, чем открывает матричный канал. При полном открытии заслонки, правый цилиндр выполняет операцию выталкивания сбрикетированного топлива из формирующей матрицы (т. е. продолжает движение после паузы связанной с открытием заслонки), при этом левый цилиндр в это время производит предварительное брикетирование (подпрессовку) смеси. Далее левый горизонтальный цилиндр начинает брикетирование за счет движения пуансона в сторону заслонки, а правый цилиндр совершает обратное движение, при котором открывается загрузочное окно в бункере и матричный канал за счет работы вибросита заполняется смесью для последующего предварительного брикетирования (подпрессовку) смеси и брикетирования.

Расчет и подбор оптимальных соотношений многокомпонентных составов производится с применением как общепринятой теории построения эксперимента, так и с применением тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов MathCAD и MatLab, а также с использованием современных математических инструментов в виде программы STATISTICA 7 (раздел «Промышленные смеси»).

Так в результате исследования составов топлива полученных с учетом четырехфакторного анализа (влажность смеси, осадок сточных вод, измельченные древесные отходы и углеводородсодержащих отходов), были получены адекватные уравнения регрессии, характеризующие степень влияния каждого компонента и их по парное сочетание на показатели производительности брикетирования и плотность получаемого топлива. С использованием полученных уравнений регрессии были построены поверхности отклика и определены оптимальные пределы желаемости для достижения качества с учетом плотности ( $U$ ), топлива и изменения производительности ( $P$ ) (рис. 2).

Так установлено, что при содержании в составе брикетируемой смеси ОСВ в пределах 32,8–48,6 % и углеродсодержащих отходов в пределах 3–7,9 %, остальное древесные опилки, обеспечивается функция желательности, которая удовлетворяет условиям эффективности по времени брикетирования в пределах 18 кг/мин, а по плотности получаемого высушенного брикета 0,86 кг/м<sup>3</sup> (рис. 3).

При этом рассматривался вопрос пригодности брикетов при сжигании в имеющихся на предприятии твердотопливных котлоагрегатах применяемых в технологическом цикле КПУП «Гомельводоканал». По результатам проведенных натурных исследований выбросов вредных веществ, на действующем водогрейном котле марки РВ-Р-1.0 (зав. № 403, 2007 г.в), установлено, что среднее значение NO<sub>2</sub> составило 170,99 мг/нм<sup>3</sup> при норме 200 мг/нм<sup>3</sup>; для SO<sub>2</sub> – 10,58 мг/нм<sup>3</sup> при норме 100 мг/нм<sup>3</sup>.

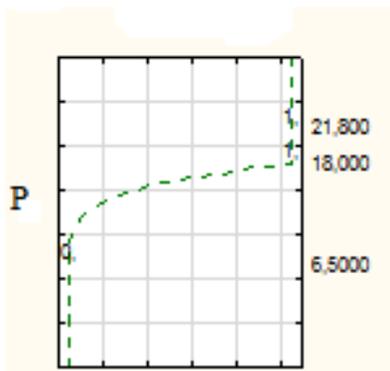


Рис. 2. Профиль функции желательности для производительности процесса брикетирования

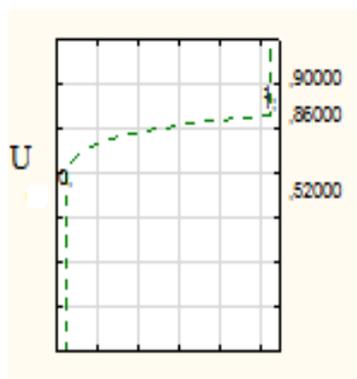


Рис. 3. Профиль функции желательности для получения брикета с оптимальной плотностью

Таким образом, полученное технологическое соотношение обеспечивает предельно-допустимую концентрацию вредных веществ в выбросах при сжигании многокомпонентной смеси.

### Литература

1. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, Минь Фан Ву, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, Тху Нга Нгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
2. Пехота, А. Н. Исследование теплотехнических свойств брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений/ А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова, В. Н. Грибанов // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы II-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. – Минск : Институт ЖКХ НАН Беларуси, 2020. – Т. 2. – С. 99–108.
3. Ануфриев, В. Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2017. – № 5. – С. 84–95.
4. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.
5. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо: [монография] / А. Н. Пехота // М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.

**Расчетные зависимости для проектирования энергоэффективной самодренируемой гелиоустановки с активным элементом**

Рашидов Ю. К.<sup>1,2</sup>, Суръатов Х. Т.<sup>1</sup>, Маматов М. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский архитектурно-строительный институт

<sup>2</sup>Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

Ташкент, Республика Узбекистан

*Получены расчетные зависимости для проектирования энергоэффективной самодренируемой гелиоустановки (СДГ) с активным элементом (АЭ). Проанализированы переходные режимы работы СДГ. Показано, что возможны два устойчивых режима работы СДГ: с разрывом и без разрыва струи. Установлено, что оба этих режима сливаются, при расходе теплоносителя равных критическому значению, для которого определена степень сужения потока в трубе Вентури, и различаются при его значениях больших критического.*

В последние годы возрастает интерес к применению самодренируемых гелиоустановок (СДГ) для защиты солнечного коллектора (СК) от разрушения из-за замерзания в нем теплоносителя зимой или его вскипания и чрезмерного повышения давления в режиме стагнации (при остановке циркуляционного насоса) летом.

Мировой и российский опыт разработки и сооружения СДГ рассмотрен в работе [1]. Вопросы повышения энергоэффективности СДГ путем сокращения затрат электроэнергии на циркуляцию теплоносителя, а также надежности и тепловой эффективности их работы за счет применения активного элемента (АЭ) в виде сужающего устройства – трубы Вентури – приведены в работах в [2–3].

Цель настоящей работы – выявить расчетные зависимости для проектирования энергоэффективных самодренируемых гелиоустановок с активными элементами.

Рассмотрим в сравнении особенности работы обычной СДГ (рис., а) и СДГ с АЭ в виде трубы Вентури (рис., б), которая выполняет в СДГ роль физического триггера [4].

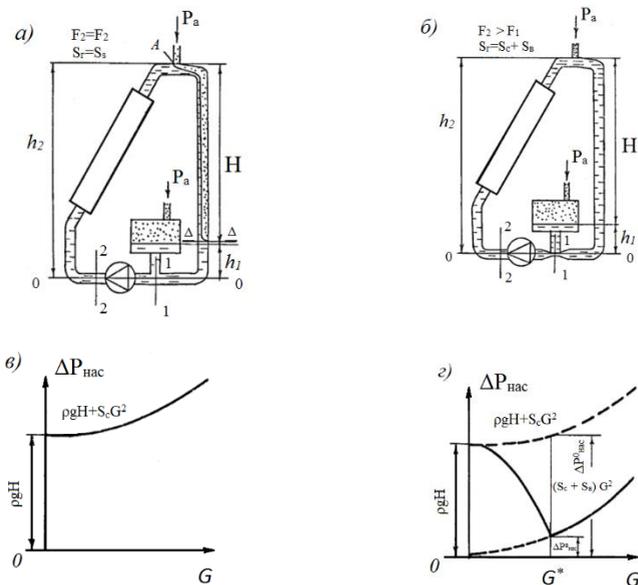


Рис. Расчетная схема и характеристики сети самодрипируемой гелиоустановки:  
*a, в* – обычной; *б, г* – с трубой Вентури

Полученная для этого случая система уравнений, описывающая переходные процессы в СДГ, имеет вид [2]

$$\Delta p_{\text{нас}}^B = \begin{cases} \rho g H - (\alpha_1 F_1^{-2} - \alpha_2 F_2^{-2}) G^2 (2\rho)^{-1} + (S_c + S_B) G^2 & G \leq G^* \\ (S_c + S_B) G^2 & G \geq G^* \end{cases} \quad (1)$$

где

$$G = \rho F_2 W_2 = \rho F_1 W_1; S_c = A_c \left( \frac{\lambda}{D} l + \sum \zeta_c \right) = A_c \zeta_{\text{прп}}; S_B = A_B \zeta_B;$$

$$A_c = \frac{16}{2\rho\pi^2 D^4}; A_B = \frac{16}{2\rho\pi^2 d^4}; F_1 = \frac{\pi d^2}{2}; F_2 = \frac{\pi D^2}{2};$$

$D, d$  – диаметр широкого и узкого сечения трубы Вентури, м;  $F_1, F_2$  – площади поперечного сечения широкого и узкого сечения трубы Вентури, м<sup>2</sup>;  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;  $G^*$  – критический массовый рас-

ход теплоносителя, кг/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – высота гелиоустановки, м;  $h$  – геометрическая высота, м;  $l$  – длина гелиоконтур, м;  $p$  – давление, Па;  $S_c, S_B$  – характеристики сопротивления сети гелиоконтур и трубы Вентури, соответственно, Па/(кг/с)<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления;  $B$  – Вентури;  $г$  – гелиоконтур;  $нас$  – насос;  $прг$  – приведенный гелиоконтур;  $с$  – сеть; 1, 2 – номера сечений; \* – критический.

Формула (1) позволяет рассчитать необходимый перепад давления, который должен развивать циркуляционный насос в СДГ с трубой Вентури.

Для обычной СДГ без сужающего устройства площади поперечного сечения широкого и узкого сечения трубы Вентури  $F_1 = F_2$  и  $S_B = 0$ , соответственно, поэтому уравнение (1) принимает вид

$$\Delta p_{нас}^0 = \rho g H + S_c G^2.$$

Характеристика сети такой СДГ показана на рис., *в*. Видно, что из-за разрыва струи в точке  $A$ , насос осуществляет в нем циркуляцию с подъемом жидкости на высоту  $H$ .

В СДГ с трубой Вентури, согласно уравнению (1), кривая характеристики сети (рис., *з*) после первоначального подъема жидкости на высоту  $H$  сначала монотонно убывает с ростом расхода  $G$ , а затем, достигнув минимума при расчетном (критическом) расходе  $G^*$ , для которого определена степень сужения потока в трубе Вентури  $D/d$ , монотонно возрастает.

Такая особенность характеристики сети СДГ с трубой Вентури объясняется тем, что при расходах  $G < G^*$  циркуляция воды в ней осуществляется также с разрывом струи в точке  $A$  (рис., *а*). Однако в отличие от обычной СДГ из-за увеличения динамического давления в горловине трубы Вентури уровень  $\Delta$ – $\Delta$  заполнения обратного трубопровода в ней непрерывно поднимается с увеличением расхода. При этом выигрыш в гидростатическом давлении опережает рост гидравлических потерь, обусловленных включением в контур трубы Вентури, благодаря чему кривая характеристики падает.

При  $G = G^*$  гелиоконтур полностью замыкается и увеличение расхода уже не сопровождается с выигрышем гидростатического давления. С этого момента кривая характеристики поднимается, так как гидравлические потери в контуре возрастают пропорционально расходу.

Требуемая степень сужения потока в трубе Вентури определяется из условия минимального перепада давления в СДГ

$$\rho g H - \left( \frac{\alpha_1}{F_1^2} - \frac{\alpha_2}{F_2^2} \right) \frac{G^{*2}}{2\rho} = 0,$$

откуда с учетом зависимостей (2), находим

$$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left( 1 + \frac{2gH}{\alpha_2 W_2^{*2}} \right)}$$

или, пренебрегая неравномерностью потока по сечению трубы Вентури ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ ), имеем

$$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{1 + \frac{2gH}{W_2^{*2}}}.$$

Соотношение диаметров трубы Вентури  $D/d$  при известной геометрической высоте СДГ  $H$  определяется при допустимых скоростях движения теплоносителя в трубопроводах систем теплоснабжения  $W^* = 1-1,5$  м/с [5]. Полученные зависимости могут быть использованы при проектировании и расчете энергоэффективных самодренируемых гелиоустановок с активными элементами.

Таким образом, получены расчетные зависимости для проектирования энергоэффективных СДГ с АЭ. Проанализированы переходные режимы работы СДГ. Показано, что возможны два устойчивых режима работы СДГ: с разрывом и без разрыва струи. Установлено, что оба этих режима сливаются при расходе теплоносителя равном критическому значению, для которого определена степень сужения потока в трубе Вентури, и различаются при его значениях больших критического.

### Литература

1. Бутузов, В. А. Самодренируемые гелиоустановки: мировой и российский опыт разработки и сооружения / В. А. Бутузов, В. В. Бутузов, Е. В. Брянцева, И. С. Гнатюк // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2017. – № 2. – С. 54–57.
2. Рашидов, Ю. К. Повышение надежности и эффективности самодренируемых водяных систем солнечного теплоснабжения / Ю. К. Рашидов,

Ш. Ю. Султанова, Х. Т. Суръатов // Гелиотехника. – 2017. – № 1. – С. 30–37.

3. Рашидов, Ю. К. Расчет гидродинамических характеристик активного элемента самодренлируемого гелиоконтра отопительной системы // Гелиотехника. – 2017. – № 2. – С. 24–29.

4. Рашидов, Ю. К. Саморегулирующиеся активные элементы для водяных систем солнечного теплоснабжения / Ю. К. Рашидов // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2013. – № 4. – С. 50–55.

5. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.

УДК 692.231.3

### **Особенности проектирования вентилируемых фасадных систем теплоизоляции в конструкциях наружных стен зданий**

Крутилин А. Б.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены результаты теплотехнических исследований наружных стен с вентилируемыми фасадными системами утепления. Предложены решения, позволяющие улучшить теплозащитные характеристики наружных стен с вентилируемыми фасадными системами утепления.*

Существующий нормативный уровень теплозащиты наружных стен в многоэтажном строительстве диктует использование эффективных теплоизоляционных материалов. Конструкции наружных стен в подавляющем большинстве – многослойные. Первоочередными требованиями к ним являются: долговечность, удовлетворительный влажностный режим и обеспечение нормируемого уровня теплозащиты в совокупности с уменьшением их толщины. Использование вентилируемых фасадных систем (ВФС) утепления в конструкциях наружных стен позволяет обеспечить удаление влаги в начальный период эксплуатации (в течение 1–3 лет, в зависимости от конструкции). Вентилируемая воздушная прослойка (ВВП) обеспечивает лучший влажностный режим наружных стен с ВФС в сравнении с легкими штукатурными системами утепления и др. конструкциями. В тоже время в у ВФС утепления есть свои минусы – это, как правило, низкие коэффициенты теплотехнической однородности вследствие значительного влияния кронштейнов крепления защитного экрана на величину приведенного сопротивления теплопередаче.

Снижение сопротивления теплопередаче наружных стен из-за влияния теплопроводных включений учитывали введением коэффициентов теплопроводности однородности:

$$r = \frac{R_T^{\text{Bк}}}{R_T},$$

где  $R_T$  – сопротивление теплопередаче наружной стены (в пределах от внутренней поверхности до воздуха ВВП) без учета влияния теплопроводных включений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;  $R_T^{\text{Bк}}$  – сопротивление теплопередаче расчетного фрагмента наружной стены с учетом влияния теплопроводных включений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Для определения тепловых потоков через фрагменты наружных стен, рассчитывали распределения температур для трехмерной области численным решением дифференциального уравнения теплопроводности.

Температура внутреннего воздуха принималась  $t_{\text{в}} = +18,0 \text{ °C}$ , наружного воздуха –  $t_{\text{н}} = -24,0 \text{ °C}$ . Коэффициенты теплопроводности материалов принимали как для условий эксплуатации «А».

Кронштейны в ВФС утепления значительно снижают величину сопротивления теплопередаче наружных стен. Снижение уровня теплозащиты зависит от вида материалов как стены, так и кронштейнов, а также от количества кронштейнов на  $1 \text{ м}^2$  площади стены. Снижение уровня теплозащиты может достигать до 50 % ( $r = 0,500$ ) от величины сопротивления теплопередаче, рассчитанной без влияния включений. Очевидно, что для современного строительства такие «энергозатратные» конструкции наружных стен зданий не пригодны для применения.

Для повышения теплотехнической однородности в конструкциях ВФС утепления в ряде публикаций рекомендуется установка паронитовых прокладок на стены из конструкционного материала в местах расположения кронштейнов крепления защитного экрана. Также одним из возможных решений предлагается замена оцинкованной стали кронштейнов на сталь аустенитную нержавеющей (например – на сталь № 1.4301 по [1]). Коэффициент теплопроводности данной стали в соответствии с [1] равен  $\lambda = 15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

По результатам расчетов определены сопротивления теплопередаче фрагментов наружных стен с учетом влияния кронштейнов при разной толщине теплоизоляционного слоя, а также коэффициенты теплотехнической однородности.

Установлено, что паронитовые прокладки, установленные за пятой кронштейнов, дают прирост в уровне теплозащиты наружных стен с ВФС утепления до 3 %. Наибольшее влияние на коэффициент теплотехнической

однородности оказывает установка кронштейнов из аустенитной нержавеющей стали, что позволяет повысить сопротивление теплопередаче стен независимо от вида ВФС утепления. При использовании обоих решений для ВФС утепления, коэффициенты теплотехнической однородности для наружной железобетонной стены получены в пределах  $r = 0,862-0,969$  при количестве кронштейнов от 1 до 4 на  $1 \text{ м}^2$  поверхности стены и толщине слоя теплоизоляции, в пределах 100–200 мм.

Дюбели с металлическими сердечниками крепления слоя теплоизоляции в количестве до 8 шт. на  $1 \text{ м}^2$  площади стены снижают величину сопротивления теплопередаче до 10 % в зависимости от конструкции наружных стен с ВФС.

Определены коэффициенты теплотехнической однородности четырех наиболее распространенных в Республике Беларусь стен с ВФС утепления с использованием предлагаемых конструктивных решений.

На примере наружной глухой железобетонной стены с ВФС утепления показано, что при количестве кронштейнов 3 шт. на  $1 \text{ м}^2$  и количестве дюбелей с металлическими сердечниками 6 шт. на  $1 \text{ м}^2$  площади стены использование предложенных конструктивных решений в сравнении с традиционными позволяет уменьшить толщину слоя теплоизоляции на 40 мм. При этом достигается экономия металла 0,14 кг на  $1 \text{ м}^2$  площади наружной стены.

Предложенные решения являются универсальными и не зависят от типа вентилируемой фасадной системы утепления, что позволяет обеспечить нормативное сопротивление теплопередаче наружных стен зданий.

### **Литература**

1. Стали нержавеющей. Часть 1. Перечень нержавеющей сталей. СТБ EN 10088-1-2009. – Минск: Государственный Стандарт Республики Беларусь, 2009. – 69 с.

УДК 697.3/4

#### **Анализ значений коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций в некоторых странах СНГ**

Сизов В. Д., Павловская А. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлен анализ значений термических сопротивлений нормативных документов различных лет некоторых стран СНГ. На основании полученной информации можно сделать вывод о том, что принци-*

*пальные подходы к расчету сопротивления теплопередаче одинаковы, как и в СССР, так и в современных Беларуси, России, Узбекистане и Казахстане.*

Важной задачей при проектировании систем отопления является расчет тепловых балансов помещений, для составления которых необходимы знания величин сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Неверный расчет значений сопротивления теплопередаче может привести к неправильному выбору отопительного оборудования, а также к нарушениям параметров микроклимата при эксплуатации помещений здания. Поскольку поддержание благоприятного микроклимата в помещениях влияет на нормальную жизнедеятельность человека, а также его здоровье, определение наиболее подходящих значений сопротивлений теплопередаче при эксплуатации зданий является приоритетной задачей.

Одним из этапов магистерской диссертации был анализ значений термических сопротивлений нормативных документов некоторых стран СНГ. В данной работе представлены и анализированы нормативные документы Беларуси, России, Узбекистана и Казахстана.

В настоящее время мы исследовали некоторые значения изменения величин сопротивлений теплопередаче, начиная с 1971 года.

Согласно СНиП II-A.7-71, действующего на территории Беларуси, России, Казахстана, Узбекистана и др., сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_0$  в  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$  должно быть не менее сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{тп}}$ , требуемого из санитарно-гигиенических условий, и  $R_0^{\text{эк}}$ , определяемого экономическим расчетом.

Для промышленных элементов ограждающих конструкций, изготавливаемых по действующим каталогам, а также для сплошных каменных стен из штучных материалов (кирпича, камней и т. д.) допускалось принимать  $R_0$  на 5 % меньше  $R_0^{\text{тп}}$ .

В вышеуказанном документе приводится информация о том, что требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_0^{\text{тп}}$  следует определять по формуле

$$R_0^{\text{тп}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{н}}} \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал} , \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ , принимаемая по нормам про-

ектирования зданий и сооружений соответствующего назначения;  $t_n$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С;  $\Delta t^H$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С;  $\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Указано, что величину сопротивления теплопередаче  $R_o^{TP}$  наружных стен жилых зданий, определенную по формуле (1), при однослойных панельных стенах следовало увеличивать на 10 %, при многослойных панельных стенах на 20 %.

В СНиП II-3-79\*\* впервые вводился термин приведенного сопротивления теплопередаче  $R_o$ . В нормативном документе уточняется, что приведенное сопротивление теплопередаче определяют только для неоднородных ограждающих конструкций. Согласно определениям, представленным в СН 2.04.02-2020, приведенным сопротивлением теплопередаче называется величина, характеризующая теплозащитные свойства ограждающей конструкции в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температуры воздуха с внутренней и наружной сторон конструкции к усредненной по расчетной площади конструкции плотности проходящего через нее теплового потока.

Можно так же отметить, что именно в СНиП II-3-79\*\* поменялась форма записи единиц измерения сопротивления теплопередаче с  $m^2 \cdot ch \cdot ^\circ C / kkal$  на  $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ .

Исходя из данных СНиП II-3-79\*, приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_o$  следовало принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений,  $R_o^{TP}$ , определяемых исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле и условий энергосбережения – по таблицам, в которых приведены минимальные значения сопротивления теплопередаче в зависимости от года строительства, этажности и материала.

Для зданий с влажным или мокрым режимом, зданий с избытками явного тепла более  $23 Bt/m^3$ , предназначенных для сезонной эксплуатации (осенью или весной), и зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха  $12^\circ C$  и ниже, а также для внутренних стен, перегородок и перекрытий между помещениями при разности расчетных температур воздуха в этих помещениях более  $6^\circ C$  приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (за исключением светопрозрачных) следовало принимать не ниже значений, определяемых по формуле (1).

Согласно СНБ 2.04.01-97, сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций,  $R_t$ , за исключением заполнений проемов и

ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты, следовало принимать равным экономически целесообразным  $R_{т.эк}$ , но не менее требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{т.тр}$ , и не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{т.норм}$ .

Приведенные в данном документе таблицы показывают, что нормативное сопротивление теплопередаче  $R_{т.норм}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , для наружных стен крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий равен  $2,5 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , что является самым большим значением из всех показателей сопротивления теплопередаче для наружных стен.

Данные, приведенные в ТКП 45-2.04-43-2006 по сопротивлению теплопередаче, аналогичны значениям и формулам расчета, приведенным в СНБ 2.04.01-97.

Новшества, касающиеся определения сопротивления теплопередаче, прослеживаются в действующих на данный момент в Беларуси нормативных документах. СП 2.04.01-2020 дает информацию о том, что приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_{пр}$  должно быть не менее нормативного приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{т.норм}$ , указанного в СН 2.04.02.

Как правило, ограждающие конструкции зданий и сооружений из-за наличия узлов сопряжения со смежными конструкциями, теплопроводных включений и изменения геометрии сечения являются теплотехнически неоднородными. К теплотехнически однородным могут быть отнесены отдельные участки вне указанных зон.

Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции рассчитывают одним из трех методов:

- упрощенным;
- с применением справочных значений удельных потерь теплоты через ТН;
- детальным.

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен упрощенным методом нормативное значение определяют умножением базового значения приведенного сопротивления теплопередаче, указанного в СН 2.04.02, на повышающий коэффициент. Например, повышающий коэффициент для утепленных снаружи стен с теплоизоляционным слоем по основанию из железобетона, ячеистобетонных и керамзитобетонных блоков, равен 1,90. Для стен, утепленных снаружи с теплоизоляционным слоем по основанию из полнотелого или пустотелого кирпичей, повышающий коэффициент равен 1,84. Для однослойных стен из кладочных изделий ячеистобетонных, керамзитобетонных, керамических поризованных пустотелых блоков повышающие коэффициенты будут равны соответственно 1,40; 1,25; 1,28.

Допускается снижать приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен до  $0,8R_{т.норм}$ , перекрытий – до  $0,9R_{т.норм}$  при одновременном выполнении следующих условий:

– достижении зданием нормативного значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период в соответствии с СН 2.04.02;

– использовании детального метода расчета согласно с расчетом удельных потерь теплоты через ТН конструкции.

Рассматривая российский опыт, можем сказать, что в обновленной версии СНиПа, а именно в СНиП 23-02-2003, впервые появились таблицы с фиксированными значениями нормируемых значений сопротивления теплопередаче  $R_{тес}$ , которые определялись в зависимости от градусо-суток района строительства.

В действующей в РФ версии свода правил [1] указывается, что в соответствии с поэтажными требованиями приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений.

Новым является информация о том, что нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_o^{норм}$ ,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , следует определять по формуле

$$R_o^{норм} = R_o^{тп} \cdot m_p, \quad (2)$$

где  $R_o^{тп}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП),  $^\circ C \cdot сут / год$ , региона строительства и определять по таблице;  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства.

По своду правил [2], действующему в Республике Казахстан, приведенное сопротивление теплопередаче также определяется по формуле (2). Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для стен жилых, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ, интернатов, гостиниц и общежитий при градусо-сутках, равных  $4000 \text{ } ^\circ C \cdot сут / год$ , равно  $2,8 \text{ } м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ .

Анализируя нормативные документы для Узбекистана [3], мы заметили отличительные особенности от определения сопротивления теплопередаче в Беларуси и России. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_o$  должно быть не менее значений  $R_o^{тп}$  в соответствии с заданным уровнем теплозащиты здания. В документе выделяется

III уровня теплозащиты. Первый уровень теплозащиты зданий отвечает санитарно-гигиеническим требованиям и является минимально допустимым. В зависимости от экономических возможностей заказчика выбирают II и III уровень теплозащиты, учитывая возрастающий дефицит и стоимость топливно-энергетических ресурсов.

Наибольшее значение нормативного значения приведенного сопротивления теплопередаче для жилых зданий является  $2,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  при расчетной температуре наружного воздуха, равной минус  $25 \text{ °C}$ .

В пособии к КМК [4] уточняется, что, выполняя теплотехнические расчеты, добиваются соблюдения условия, чтобы фактическое приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0^{\text{des}}$  находилось в диапазоне от  $0,95 R_0^{\text{тп}}$  до  $1,1 R_0^{\text{тп}}$ .

Таким образом, можно увидеть, что подходы в определении значений сопротивлений теплопередаче принципиально не отличаются в различных странах СНГ, однако имеют свою специфику. Окончательные результаты анализа будут приведены в магистерской диссертации.

### Литература

1. Тепловая защита зданий: СП 50.13330.2012. – актуализированная редакция СНиП 23-02-2003; введ. 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 71 с.
2. Строительная теплотехника: СП РК 2.04-107-2013. – введ. впервые; введ. 01.07.2015. – А.: Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015. – 80 с.
3. Строительная теплотехника: КМК 2.01.04-97. – введ. впервые (взамен СНиП 11-3-79\*\*); введ. 01.01.1997. – Т.: Госкомархитектстрой, 1997. – 48 с.
4. Пособие по проектированию новых энергосберегающих решений по строительной теплотехнике (к КМК 2.01.04-97\*) ОАО ToshuyjoyLITI. – Ташкент: ИВЦ AQATM, 2012. – 67 с.

Акельев В. Д., Сизов В. Д., Велесик О. И.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Целью работы является разработка формулировок терминологий и определений в области аэро-теплообменной устойчивости элементов строительных объектов.*

В процессе эксплуатации строительных объектов вместе с потоками воздуха в помещение поступают теплота, влага, пыль, газы, при этом струи перемещаются в различные зоны, конвективные потоки взаимодействуют с ограничивающим оборудованием, конструкциями и людьми. Теплота от теплоисточников выделяется в виде радиационной составляющей, которая, контактируя с ограждающими конструкциями и оборудованием, также преобразовывается в конвективную и поступает в помещение. У наружных стен в зимнее время присутствуют потоки холодного воздуха, проникающие в рабочую зону и охлаждая ее. Через наружные конструкции и стыковые сопряжения поступает инфильтрационный воздух, влияющий на температурно-влажностный и газовый режим помещений. Имеют место воздушные потоки, перетекающие из смежных помещений и направленные к жалюзийным вентиляционным решеткам. В результате взаимодействия этих факторов формируется микроклимат помещений [1].

Паропроницаемость строительных материалов не снижает эксплуатационных качеств ограждения, если его конструктивное решение способствует диффузии пара в атмосферу. Элементы конструкций являются барьерами между внешней средой и внутренним объемом строительного сооружения и способствуют возможности пассивного и активного его регулирования.

Цель исследований, связанных с ограждающими конструкциями отапливаемых помещений, их эколого- и аэро-теплообменными факторами определяется тем, что реальные физико-технические процессы нестационарны, а методики большинства расчетов выполнены для стационарных режимов [2].

Амплитуды колебаний термодинамических характеристик воздуха и внутренних поверхностей ограждающих конструкций отапливаемых помещений зависят от системы теплоснабжения, теплофизических свойств наружных и внутренних ограждений, внутренних тепло- и массоисточни-

ков. В нормативно-технических и других источниках отсутствует формулировка терминологий, понятий, определений этих характеристик в области строительства.

Аэро-теплообменная устойчивость строительных объектов – способность снижать колебания термодинамических характеристик воздуха в помещениях при флюктуациях тепловых потоков от внутренних источников теплоты. Устойчивость ограждающих конструкций определяется коэффициентами устойчивости потокам капельной жидкости  $\pi_0^{\text{III}}$ , пара и влажного воздуха  $\pi_0^{\text{II}}$  и воздухопроницаемости ограждения  $\pi_0^{\text{I}}$ , представляющими собой:

$$\pi_0^{\text{I}} = \frac{p_{\infty,1}^{\text{I}} - p_{\infty,2}^{\text{I}}}{p_{\infty,1}^{\text{I}} - p_{\infty,1,\text{min}}^{\text{I}}}, \pi_0^{\text{II}} = \frac{p_{\infty,1}^{\text{II}} - p_{\infty,2}^{\text{II}}}{p_{\infty,1}^{\text{II}} - p_{\infty,1,\text{min}}^{\text{II}}}, \pi_0^{\text{III}} = \frac{p_{\infty,1}^{\text{III}} - p_{\infty,2}^{\text{III}}}{p_{\infty,1}^{\text{III}} - p_{\infty,1,\text{min}}^{\text{III}}}, \quad (1)$$

Амплитуда колебаний потоков массы (воздуха, пара и т. д.), проходящих через единицу более нагретой поверхности, может быть представлена как

$$A^p = j_{\text{max}}^p - j^p. \quad (2)$$

После подстановки в уравнение (2) соответствующих величин, можно получить

$$A^p = \alpha_1^p (p_{\text{max}} - p_{0,\text{max}}) - \alpha_1^p (p_{\text{max}} - \bar{p}_0) = \alpha_1^p A_p^p - \alpha_1^p A_0^p, \quad (3)$$

Аэро-теплообменная диффузионная инерция – способность строительных объектов сопротивляться изменениям давлений, потенциалов массопереноса при переменных теплообменных воздействиях. При установившихся периодических воздействиях его массо- и аэродинамические свойства характеризуются показателями аэро- и теплообменной устойчивости помещений.

В ограждающих конструкциях имеется возможность возникновения волны массопереносных потенциалов, стремящейся к нулю с увеличением координаты  $x$ . Число волн в ограждении характеризует его показатель массопереносной инерции  $D^p$ , который можно представить как произведение его сопротивления массопереносу ( $R^p$ ) на коэффициент усвоения материала ограждения по отношению к массе ( $S^p$ ):

$$D^p = R^p S^p,$$

а для многослойных

$$D^p = \sum_{i=1}^n R_i^p S_i^p, \quad (4)$$

где  $D^p$  зависит от периода колебаний массопотоков.

При уменьшении колебания потока массы увеличивается показатель  $D^p$ , следовательно, в ограждении располагается большее число волн, уменьшается длина волны массопереноса и интенсивнее уменьшаются массообменные флуктуации в ограждении. Тепловая и массообменная инерции зависят от периода колебания массопотоков, при уменьшении которых увеличивается инерция ограждения относительно массопотоков, поэтому в нем вероятно также большее число волн, когда уменьшается длина волны в объеме помещения давления и колебаний давлений в ограждении.

Аэро-тепломассообменная инерция ограждений – их способность сопротивляться изменению давления, потенциалов теплопереноса при их переменных воздействиях [3]. В работе рассматриваются аэродинамические воздействия на плоскую конструкцию в замкнутом помещении, многократно повторяющиеся в одном направлении с тем же периодом, как квазистационарные, одномерные. Давление у поверхности стены (в пограничном слое) является функцией времени, а тепло- и массоперенос между воздухом и поверхностью можно представить в виде линейной зависимости. Ряд случаев периодических воздействий – гармонические (изменяющиеся во времени, соответствуют синусоиде, косинусоиде), и другие могут быть приведены к их сумме.

В работе установлено:

1. В настоящее время регламентируется только расчет теплоустойчивости строительных объектов в отопительный период года, когда амплитуда колебаний температур воздуха в помещении в течение суток не более  $\pm 3$  °C от расчетного значения, минимальная температура внутренней поверхности ограждающей конструкции больше температуры точки росы при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. Нормируется теплоусвоение поверхности полов, сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.

2. Затухание аэродинамических диффузионных волн в ограждениях минимально, если его слои не имеют аэро-тепломассообменной устойчивости, при этом в них вероятны волны, если воздействиям подвергаются поверхности ограждений потоками с различными температурами. Плотности массовоздухопотоков в венткоммуникациях, аэродинамическая устой-

чивость помещений зависят от пространственного распределения атмосферного давления.

3. Аэродинамическая устойчивость отапливаемых помещений зависит от функционирования вентиляционных каналов, шахт, аэродинамических потерь на трение и местные сопротивления, участков от поверхностей наружных ограждений до фронтальной плоскости жалюзийных решеток кухонных, ванных и туалетных комнат.

Предложены и обоснованы следующие термины и определения:

1. Аэро-теплообменная устойчивость помещений – способность снижать колебаний термодинамических характеристик воздуха в помещениях при флуктуациях тепловых потоков от внутренних источников теплоты;

2. Аэро-теплообменная диффузионная инерция – способность помещения сопротивляться изменениям давлений, потенциалов массопереноса при переменных массообменных воздействиях.

3. Аэро-теплообменная инерция ограждений – их способность сопротивляться изменению давления, потенциалов тепло-массопереноса при их переменных воздействиях.

### **Литература**

1. Вейник, А. И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи: учеб. пособие для металлург. вузов и фак. / А. И. Вейник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1965. – 375 с.

2. Гагарин, В. Г. Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада / В. Г. Гагарин // Строительная физика в XXI веке: науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию НИИСФ РААСН, Москва, 25–27 сент. 2006 г. / Рос. акад. архитектур.-строит. наук, Науч.-исслед. ин-т строит. Физики. – М., 2006. – С. 73–80.

3. Зимин, В. Д. Турбулентная конвекция в замкнутых объемах: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14 / В. Д. Зимин; Акад. наук СССР, Ин-т теплофизики. – Новосибирск, 1983. – 26 с.

**Процессы теплообмена при производстве цементобетонных дорожных покрытий с разогретыми заполнителями**

Акельев В. Д., Сизов В. Д., Золотарева И. М., Кононов Д. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены возможности применения разогретых заполнителей в производстве цементобетонных дорожных покрытиях. Рассмотрены технологии прогрева бетонных смесей и положительный эффект от этого метода.*

В настоящее время в качестве дорожного полотна стал широко использоваться цементобетон в виде однослойного монолитного покрытия толщиной 240 мм методом сращивания двух слоев тяжелого бетона высокопроизводительными бетоноукладочными комплексами с армированием шва и поперечных швов сжатия.

Толщина нижнего слоя бетона 0,18 м, а верхнего слоя – 0,06 м при морозостойкости F150 и F200 соответственно.

В соответствии с технологическим регламентом [1] в условиях производства работ при строительстве Минской кольцевой автодороги необходимо было укладывать монолитное покрытие из тяжелого бетона методом сращивания двух слоев – бетон нижнего слоя (толщиной 0,18 м) и бетон верхнего слоя (толщиной 0,06 м).

Таким образом в переходный период бетонное покрытие может охлаждаться от начальной температуры 20 °С до 0 °С, а в летнее время бетонное покрытие может разогреваться от температуры 20 °С до 30 °С в облачную погоду, а с учетом солнечной инсоляции температура поверхности может достигать и больших значений.

Для анализа температурных градиентов при указанных тепловых воздействиях необходимо в первую очередь определить время выравнивания температур, в массиве покрытия, учитывая заданные начальные и граничные условия, принимая массив покрытия, как полуограниченное тело или неограниченную пластину.

Для этой цели используем [2], применяя адекватное решение соответствующей задачи.

В первом случае при  $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{к}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  решение принимает следующий вид [2];

параметр температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi \cdot (1-\eta)}{Bi+1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin} \left[ v_n \cdot (1-\eta) \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo) \right], \quad (1)$$

параметр средней температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi}{2 \cdot (Bi+1)} - \sum_{n=1}^{\infty} Bn \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo). \quad (2)$$

Для расчета цементобетонного покрытия принимаем следующие теплофизические характеристики материала: коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоотдачи, плотность, теплоемкость, толщина слоя покрытия, температуропроводность:

$$a = \frac{\lambda}{\chi \times \rho} = \frac{1,69}{2500 \cdot 0,84} = 0,0029 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Исходные аргументы вычисляются на основании исходных данных и начальных условий.

Критерий  $Fo$ :

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{x^2} \quad \text{для} \quad \tau = 1 \text{ час},$$

$$Fo = \frac{0,0029 \cdot 1}{0,24^2} = 0,05, \quad Bi = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda} = \frac{25 \cdot 0,24}{1,69} = 3,55.$$

По полученным результатам вычислений можно построить графические зависимости  $t_n, t = f(\tau)$  (рис. 1):

Во втором случае при  $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{кон}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  решение аналогично задаче при охлаждении массива, т.е. можно использовать рассчитанные ранее значения аргументов  $Fo$  и  $Bi$ .

Средняя температура массива:  $\bar{t} = t_0 + \bar{\theta} \cdot (\vartheta - t_0)$ .

По результатам вычислений можно построить график  $t = f(\tau)$  (рис. 2).

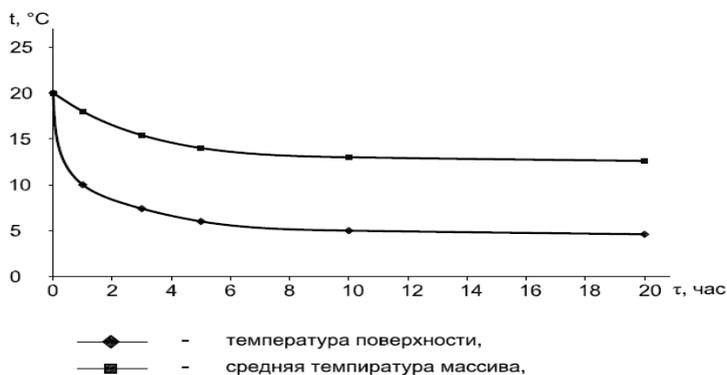


Рис. 1. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

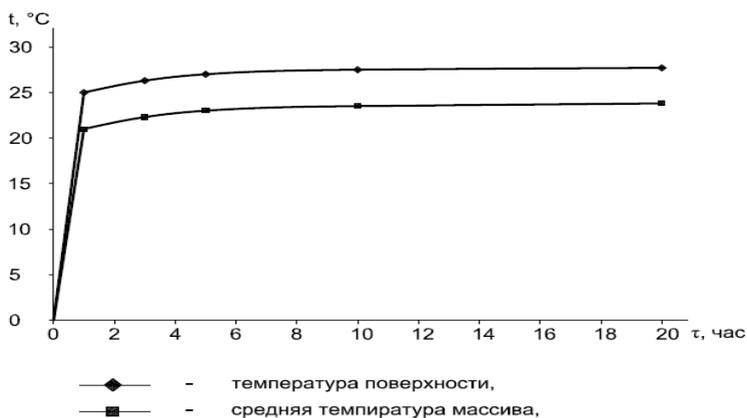


Рис. 2. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

В третьем случае при наличии солнечной радиации в летний период с максимальной интенсивностью для г. Минска в июле [3]  $q_r = 662 \text{ Вт/м}^2$  на горизонтальную поверхность расчетные формулы имеют вид: начальные и граничные условия, аргументы

$$t_{\tau=0} = t_0, \quad \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=\infty} = \theta - \lambda \cdot \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = S, \quad Fo = \frac{a \cdot \tau}{x^2}.$$

Расчетные формулы:

средняя температура:  $t = t_0 + \theta \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda}, \quad \bar{t} = t_0 + \bar{\theta} \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda},$

температура поверхности массива определяется по выражению [2]

$$t = t_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{S \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}}. \quad (3)$$

По полученным расчетным данным можно построить графические зависимости  $t = f(\tau)$  при максимальном  $q_{\text{рад}}$  (рис. 3).

Для анализа температурных градиентов при различных тепловых воздействиях на цементобетонное покрытие было определено время выравнивания температур в массиве при охлаждении и нагреве с использованием известных выражений по расчетным формулам и графикам [2].

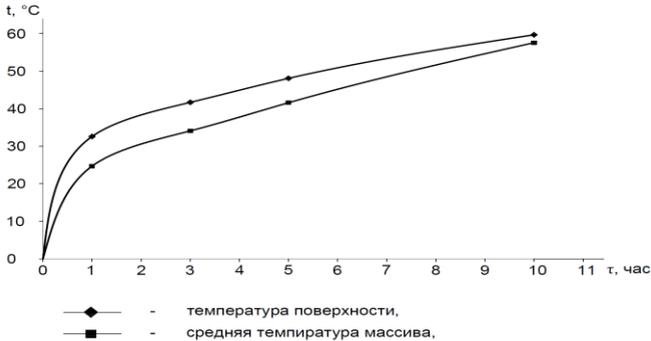


Рис. 3. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

Для уточнения полученных значений температур в определяющих точках в различные промежутки времени была разработана компьютерная программа решения указанной задачи охлаждения, уточнены полученные ранее результаты, а также учтено влияние солнечной радиации на температуру поверхности и окружающей среды, т. е. при усредненной наружной

температуре при наиболее неблагоприятных условиях, когда  $t_{нач}$  при охлаждении принимается равной + 40 °С, а при разогреве – 40 °С.

Таблица

Изменение температуры на поверхности массива, в центре массива и на тыльной поверхности массива, а также средней температуры массива

$\tau$ , час	$t_{ср}$ , °С	$t$ , °С		
		поверхность массива	центр массива	тыльная поверхность массива
0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,2	36,36	36	39,8	39,92
0,3	39,08	34,8	39,48	39,8
0,5	38,2	32,4	39,2	39,6
1,0	37,0	30	38,4	38,8
2,0	35,2	26,8	36,0	34,8
3,0	33,6	24,8	34,4	30,4
5,0	32,0	22,4	32,4	25,6

По данным приведенной таблицы на рис. 4 представлены графики зависимости соответствующих температур от времени охлаждения массива, изменения средней температуры массива в различных точках.

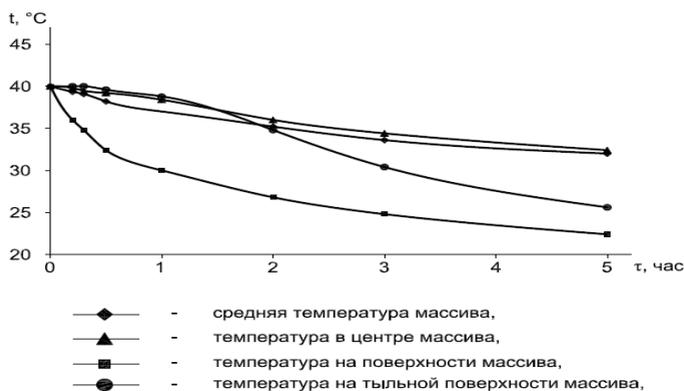


Рис. 4. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температур массива

Как известно, одним из видов деформаций цементобетонных покрытий при их эксплуатации является появление трещин при снижении температуры цементобетонных покрытий, т. е. трещиноустойчивость, которая про-

является при возникновении внутренних температурных напряжений в массиве при данных видах воздействий.

Основным критерием, определяющим трещиностойкость, является скорость охлаждения  $\Psi$  – критическая величина которой, например для асфальтобетона, составляет  $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ , и при ее превышении асфальт начинает разрушаться [4].

Проведенные аналитические исследования и полученные графические зависимости показали, что максимальная скорость охлаждения цементобетонного покрытия (рис. 4) составляет  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{час}$  и осредненные значения по массиву в целом около  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{час}$ , что несколько превышает критическую скорость охлаждения асфальтобетонного покрытия, но вполне удовлетворяет критическим нормам при нагреве монолитных железобетонных конструкций.

Кроме этого, следует отметить, что наибольшая скорость охлаждения действует только в пределах 1–2 часов, когда бетон еще не схватился и не подвержен трещинообразованию.

### Литература

1. Технологический регламент №20/00.14.11 Устройство цементобетонного покрытия автомобильной дороги методом сращивания двух слоев бетона В35В04.4 комплексом SP 850 Wirtgen. – Минск, 2015.

2. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Л.: Энергия, 1968. – 304 с.

3. Строительная климатология (Справ. Пособие к СНиП)/ НИИ Строит. Физики. – М.: Стройиздат, 1990. – 86 с.

4. Солдаткин, М. Т. О скорости охлаждения дорожных асфальтобетонных покрытий / М. Т. Солдаткин, Я. И. Ковалев, В. Д. Акельев // Отопление, вентиляция и строительная теплофизика. – Минск, 1971. – Вып.1. – С. 52–56.

УДК 697.7

### **Особенности проектирования, монтажа и эксплуатации солнечных коллекторов с целью получения теплоты для нужд ГВС**

Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены основные этапы проектирования и режимы работы солнечных коллекторов.*

Переход от не возобновляемых источников энергии к возобновляемым в разных формах хозяйствования, не может произойти одновременно. Последние 200 лет история промышленности развивалась неравномерно, динамическими скачками, каждый из которых стимулировался революционными инновациями [1].

Начало 21 века является очередным этапом технологического прорыва, основанным на рациональном использовании ресурсов Земли. Возобновляемые источники энергии заменяют ископаемые и становятся основой общественного обмена. Целью энергоэффективности является понижение количества потребляемой энергии, а возобновляемые источники могут покрывать потребности в электричестве и теплоте.

Применение солнечных коллекторов, в которых происходит преобразование энергии солнечного излучения в тепловую энергию, является одним из способов получения теплоты из возобновляемых источников.

Принципиальные схемы для проектирования солнечных коллекторов включают в себя сами коллекторы, накопительные емкости для сглаживания неравномерностей генерации и потребления теплоты, системы автоматизации, теплообменники, насосное оборудование и расширительные баки.

*Первым этапом* проектирования солнечных коллекторов является сбор исходных данных, анализ технических условий и оценка целесообразности применения данной технологии в качестве источника для получения теплоты.

Например, устанавливать солнечные коллекторы на продовольственных магазинах, с большим количеством холодильного оборудования и большим расходом теплоты для нужд ГВС не совсем целесообразно с точки зрения капитальных затрат. На объектах данного типа более целесообразно использовать технологии рекуперации теплоты, перемещаемой холодильным оборудованием от продуктов питания. Это обеспечит стабильную и круглогодичную потребность в ГВС, а также в теплоснабжении систем отопления в переходном и холодном периоде.

Другим примером являются объекты с достаточным расходом теплоты, но не имеющие централизованного теплоснабжения от тепловых сетей, которые отапливаются газом или электричеством. Тарифная ставка на газ в летний период, начиная с переходного периода в +8 °С, в 4–6 раз больше, чем в зимний. На таких объектах экономически целесообразно применение солнечных коллекторов в качестве альтернативного источника, которые смогут на 60–100 % удовлетворить потребность в теплоте для нужд ГВС в летнее время.

*Вторым этапом* является подбор мощности солнечного коллектора. На данном этапе необходимо анализировать уровень солнечной инсоляции в местах установки оборудования, определять оптимальный угол наклона относительно плоскости, анализировать выработку тепловой энергии при отклоне-

нии от азимута в 180 градусов. А также анализировать *затенение солнечного коллектора в течении дня* от рядом расположенных зданий и деревьев. Для этих целей рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение, которое учитывает изменение уровня солнечной инсоляции в течении дня на протяжении года.

*На третьем этапе*, после анализа места установки солнечного коллектора и определения его производительности в расчетный период времени, необходимо подобрать накопительную емкость и определить схему подключения. Подбор накопительной емкости проводится на основании суточной потребности в ГВС и осуществляется исходя из запаса на одни, двое или трое суток. Размеры буферного бака должны соответствовать технологическим проемам для его транспортировки до места установки. Схема подключения солнечного коллектора зависит от взаимного расположения оборудования, протяженности трубопровода и гидравлических потерь. Принципиальные схемы с естественной циркуляцией могут применяться только в том случае, если солнечный коллектор расположен ниже накопительной емкости и теплоноситель сможет циркулировать за счет естественной разности плотности холодного и нагретого теплоносителя, преодолевая сопротивление трубопровода и косвенного теплообменника [2, 3].

*На четвертом этапе* проектирования солнечных коллекторов необходимо подобрать расширительный бак, материалы для монтажа, теплоноситель и систему автоматического управления.

В схемах с принудительной циркуляцией теплоносителя управление осуществляется с помощью *теплового контроллера*. Принцип его работы основан на считывании температуры в трех точках (рис. 1) и в управлении циркуляционным насосом:

- TE1 – температура теплоносителя на выходе из коллектора;
- TE2 – температура теплоносителя в нижней части буферного бака;
- TE3 – температура воды в верхней части бака или на выходе в систему ГВС.

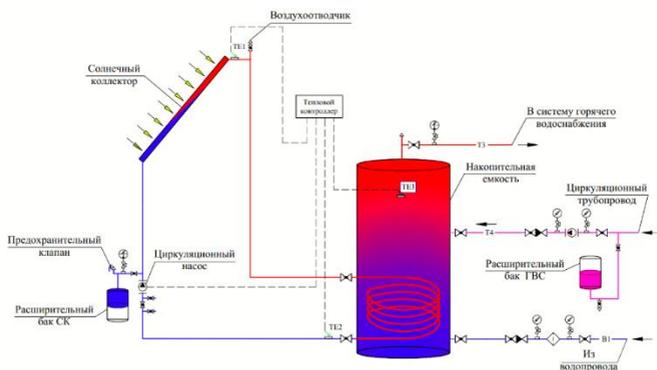


Рис. 1. Принципиальная схема обвязки солнечного коллектора для ГВС

При выполнении условия, когда  $TE1 - TE2 \geq 6 \text{ }^\circ\text{C}$ , циркуляционный насос включается. И наоборот, если  $TE1 - TE2 \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ , насос выключается. Данные условия позволяют оптимизировать энергопотребление циркуляционного насоса в ночное время и при низком уровне освещенности солнечного коллектора.

Если в качестве теплоносителя вместо незамерзающего раствора используется вода, то тепловой контроллер подает питание на циркуляционный насос при снижении температуры ниже заданной уставки во избежание замерзания теплоносителя.

В работе солнечного коллектора можно выделить следующие основные режимы:

1. *Предварительный нагрев холодной воды.* При повышении температуры на датчике TE1 и при выполнении условия  $TE1 - TE2 \geq 6 \text{ }^\circ\text{C}$ , тепловой контроллер активизирует работу циркуляционного насоса. Следовательно, в нижней части буферной емкости холодная вода с температуры  $8-10 \text{ }^\circ\text{C}$  будет предварительно нагреваться до температуры, до которой позволяют нагреть погодные условия.

2. *Поддержание заданной температуры ГВС по датчику TE3.* Например, TE3 задано  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Циркуляционный насос в режиме 1 будет работать до тех пор, пока температура ГВС не достигнет  $TE3 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Когда температура достигнута, тепловой контроллер останавливает циркуляционный насос.

3. *Перегрев накопительной емкости.* Если, в режиме 2, солнечный коллектор продолжает нагреваться, и его температура на датчике TE1 достигает  $95-130 \text{ }^\circ\text{C}$  (данный параметр выбирается в зависимости от давления в контуре солнечного коллектора), то тепловой контроллер снова активизи-

рует работу циркуляционного насоса чтобы охладить коллектор и исключить возможность закипания теплоносителя. В данном режиме происходит нагрев накопительной емкости до температуры перегрева, заданной по датчику ТЕЗ. Например, до  $ТЕЗ^n = 80\text{ }^\circ\text{C}$ .

Но поскольку накопительная емкость не может постоянно перегреваться, то при достижении температуры перегрева (по датчику ТЕЗ), тепловой контроллер опять останавливает работу циркуляционного насоса.

4. *Режим стагнации.* При перегреве солнечного коллектора до температуры  $130\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$  (в зависимости от давления в системе) или при аварийном отключении электричества, происходит закипание теплоносителя и образования пара в контуре, соединяющем солнечный коллектор и накопительную емкость. Поэтому, при проектировании солнечных коллекторов особое внимание нужно уделить типу расширительного бака, его объему и способу установки. На рис. 2 показано, как при режиме стагнации весь объем теплоносителя должен помещаться в расширительный бак.

При неправильном расположении, в режиме стагнации, верхний объем расширительного бака заполнится паром, который будет препятствовать поступлению в него теплоносителя. Соответственно, после нескольких режимов стагнации расширительный бак перестанет выполнять свою функцию, давление теплоносителя в системе превысит пороговое значение, и начнет срабатывать предохранительный клапан.

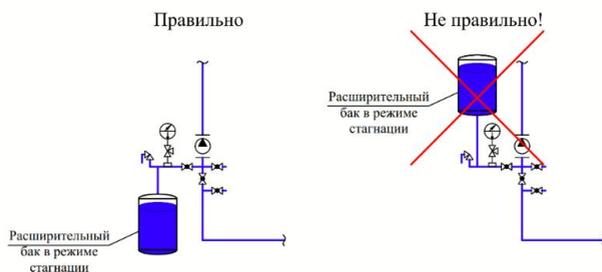


Рис. 2. Схема расположения расширительного бака

При использовании незамерзающего теплоносителя отвод от предохранительного клапана должен осуществляться в отдельную емкость.

**Выводы.** Техничко-экономическое обоснование (ТЭО) применения солнечных коллекторов должно строиться исходя из технических условий (ТУ), на основании сбора и анализа исходных данных. Проектирование и выбор принципиальной схемы являются залогом последующего правильного монтажа и корректной эксплуатации.

1. Материалы для монтажа (трубопроводы, воздухоотводчик, расширительный бак, циркуляционный насос, КИП, сбросной клапан и т. д.) необходимо подбирать из расчета на температуру 180–200 °С и соответствующий теплоноситель.

2. Выбранный незамерзающий теплоноситель должен обеспечивать многократные циклы вскипания в режиме стагнации и сохранять свои свойства при обратной конденсации.

3. После завершения монтажных работ необходимо проводить тепловизионное обследование для выявления дефектов целостности солнечных коллекторов и теплоизоляции. Особое внимание необходимо уделять мерам безопасности при эксплуатации.

### Литература

1. Рифкин, Д. Третья промышленная революция: как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Д. Рифкин; пер. с англ. В. Иванова. – 3-е изд. – М.: АНФ, 2016. – 409 с.

2. Покотилев, В. В. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию / Белорусский национальный технический университет, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь; сост. Покотилев В. В., Рутковский М. А. – Минск: БНТУ, 2017. – 60 с.

3. Покотилев, В. В. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / В. В. Покотилев, М. А. Рутковский. – Минск, 2015. – 64 с.

УДК 692.23

### **Некоторые результаты исследования теплопроводности пенополистирола при высоких значениях влажности**

Лешкевич В. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследований теплопроводности образцов пенополистирола, имеющих влажность выше максимальной сорбционной, при температуре около минус 10 °С.*

Традиционно в строительной науке исследуются свойства строительных материалов в сорбционной зоне увлажнения. Однако в практике встречаются случаи, когда в процессе многолетней эксплуатации ограждающей конструкции происходит накопление влаги внутри материалов.

Такая ситуация является еще более сложной при постоянной эксплуатации материала с высоким содержанием влаги в области отрицательных температур, что характерно для зданий промышленных холодильников.

Здания современных промышленных холодильников чаще всего проектируются и возводятся в виде несущего каркаса из металлоконструкций с самонесущими или навесными стенами из многослойных сэндвич-панелей с наружным и внутренним слоями из паронепроницаемых материалов (металла). Это позволяет предотвратить поступление влаги внутрь теплоизоляции и не допустить снижения теплозащитных качеств. Однако на практике часто возникает необходимость ремонта и модернизации ранее построенных находящихся в эксплуатации зданий промышленных холодильников, наружные конструкции которых представляют собой стены из паропроницаемых материалов с дополнительными слоями теплоизоляции. Разработка мероприятий для повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций таких объектов требует глубокого анализа, учитывающего тепловлажностное состояние.

В [1, 2] показано, что влажность пенополистирола теплоизоляционного слоя, расположенного со стороны холодной камеры под штукатурным слоем, может достигать значений, значительно превышающих максимальное сорбционное влагосодержание. Наличие существенного количества влаги может значительно изменить теплофизические характеристики материалов (в частности – их теплопроводности), что следует учитывать при выполнении проектных и строительных работ.

Получение информации о значениях коэффициентов теплопроводности при высокой влажности пенополистирола в лабораторных условиях связано с рядом трудностей, одной из которых является сложность доведения образца до требуемых значений влажности, так как ее фактические значения в условиях эксплуатации значительно превышают не только максимальное сорбционное влагосодержание данного материала, но и его водопоглощение.

В рамках данной работы образцы изъяты в условиях объекта из стены холодной камеры промышленного холодильника, рассмотренного в [1, 2] и упакованы непосредственно там же при температуре минус 20 °С. Транспортировка образцов осуществлялась в термоизолированной емкости в открытом кузове автомобиля при температуре наружного воздуха от минус 12 до минус 15 °С в течение одного часа. После доставки упакованные образцы были помещены на хранение в холодильную камеру с температурой минус 20 °С.

Определение коэффициентов теплопроводности выполнялось с помощью установки NETSCH HFM 436 Lambda при стационарном тепловом режиме. Перед началом измерений установка предварительно выводилась

на температурный режим – разность температуры между плитами 15 °С, средняя температура образца минус 10 °С. Таким образом температурный режим образцов был максимально приближен к их режиму эксплуатации в условиях объекта.

Полученные результаты представлены на рис.

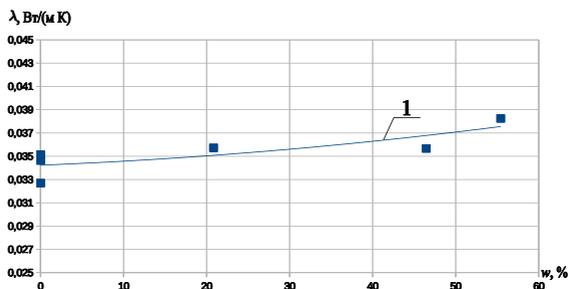


Рис. Теплопроводность пенополистирола при различных значениях влажности (по массе) при температуре минус  $10 \pm 0,5$  °С:

$$I - \text{аппроксимирующая кривая } \lambda = 5,555 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 2,928 \cdot 10^{-5} \cdot w + 0,0342, \\ R^2 = 0,662; \blacksquare - \text{экспериментальные значения}$$

До и после определения теплопроводности контролировалась масса образца. Изменение влажности составило не более 0,4 % по массе. Средняя температура образца в процессе испытаний находилась в диапазоне от  $-9,5$  до  $-10,5$  °С.

Плотность исследуемых образцов находилась в пределах от 17,9 до 23,2 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует марке ПСБ-С-25 [3].

Представленные результаты показывают, что не наблюдается существенного увеличения коэффициента теплопроводности пенополистирола при значительном увеличении влажности. Связано это с тем, что отдельные зерна полистирола после вспенивания представляют собой ячейки с закрытой пористостью. Кроме того, ввиду особенностей процесса накопления влаги при низкой температуре, пространство между ячейками заполняется рыхлым льдом, что влияет на увеличение коэффициента теплопроводности в меньшей степени, чем заполнение сообщающихся пор жидкой влагой или сплошным льдом.

## Литература

1. Тепловая защита и тепловлажностное состояние ограждающих конструкций зданий промышленных холодильников / А. М. Протасевич,

С. В. Сомова, А. Б. Крутилин, В. В. Лешкевич // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6(39). – С. 42–45.

2. Особенности тепловлажностного режима ограждающих конструкций промышленного холодильника / А. М. Протасевич, С. В. Сомова, А. Б. Крутилин, В. В. Лешкевич // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 216–221.

3. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия: ГОСТ 15588-86. – Введ. 1986-07-01. – Москва: Госстрой СССР, 1986. – 10 с.

УДК 697.3+697.9

### **Анализ возможностей применения аддитивных технологий в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции**

Борухова Л. В., Летун Е. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследования возможностей аддитивного производства. Приведены результаты исследований в области применения аддитивного производства в элементах систем отопления и вентиляции*

Аддитивное производство (additive manufacturing) – это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки).

В настоящее время распространены различные технологии аддитивного производства имеющие свои достоинства и недостатки. Классификация и сравнение аддитивных технологий подробно рассмотрены в [1]. Далее приведены наиболее известные и развитые из них.

Нанесение термопластов (fused deposition modelling) – технология производства изделия путем выдавливания термопластичного материала и его послойной укладки. В технологии FDM используют различные пластики: ABS, PLA, поликарбонат, полиамид, полистирол, лигнин, а также композитные материалы на их основе. Достоинствами технологии является доступность и низкая стоимость, как и материалов, так и оборудования. Технология послойной фотополимеризации в ванной (Vat Photopolymerization) заключается в последователь-

ном затвердевании фотополимерного материала под действием света. Метод позволяет добиться высокой точности.

Селективное лазерное спекание, плавление (Selective Laser Melting/Sintering) основано на том, что материал наносят в виде порошка на основание. Порошкообразный материал переплавляется с помощью лазерного излучения и образует твердый слой после затвердевания. Затем основание опускают, наносят порошок и цикл повторяется. В качестве материалов используются порошки различных сплавов нержавеющей стали, алюминия, титана, кобальта, хрома.

Кроме перечисленных, доступны другие технологии: моделирование при помощи склейки, литье порошкового металла под давлением, коаксиальное лазерное плавление. Технологии аддитивного производства, благодаря своим особенностям, позволяют реализовывать принципиально новые и недоступные для традиционных технологий конструкции. В связи с этим анализ возможностей применения данной технологии в системах отопления и вентиляции является актуальной задачей. Анализ литературных источников позволил выделить наиболее распространенные и перспективные направления использования аддитивных технологий в системах отопления и вентиляции. Некоторые из них приведены ниже.

Одним из самых перспективных и разработанных направлений является использование аддитивных технологий в теплообменных аппаратах. По результатам исследований в данном направлении опубликован ряд работ, в которых представлены конструкции теплообменных аппаратов, произведенные методом аддитивного производства. В части из них в традиционные конструкции вносятся изменения. Модернизация теплообменных аппаратов осуществляется путем изменения схемы организации течения теплоносителей [2] (рис., *a*); вносятся изменения в форму проточных частей [3] (рис., *б*); изменения в конструкцию «оребрения» теплообменного аппарата [4] (рис., *в*).

Кроме того, при модернизации теплообменных аппаратов осуществляют интенсификацию теплообмена за счет микроканалов, увеличения шероховатости поверхности [5].

Существуют работы по исследованию клапанов и проточных частей агрегатов. Целесообразным является изменение проточной части различных гидравлических устройств с целью оптимизации потоков и снижения потерь давления.

Проводятся исследования в направлении увеличения конвективных поверхностей за счет возможностей аддитивного производства новых конструкций с нестандартными формами.



*a*



*б*



*в*

Рис. Модернизации конструкций теплообменных аппаратов:  
*a* – схема организации течения теплоносителей; *б* – форма проточных частей;  
*в* – конструкция «оробрения» теплообменного аппарата

Перспективным является исследование воздухораспределительных и воздухозаборных элементов систем вентиляции и кондиционирования. Возможности аддитивного производства позволяют создавать различные конструкции и организовать необходимый вариант подачи либо удаления воздуха, увеличивать эффективность воздухообмена в помещениях различных зданий. Также подобный подход позволит интегрировать элементы систем вентиляции в дизайн-проект помещения.

### Литература

1. Fino, P. Overview on additive manufacturing technologies / F. Calignano, D. Manfredi, E. P. Ambrosio, S. Biamino, M. Lombardi, E. Atzeni, A. Salmi, P. Minetola, L. Iuliano, P. Fino // Proc. IEEE – 2017. – Т. 105, № 4. – С. 593–612.
2. Ljungman, J. 3D-Printed Heat Exchanger / J. Ljungman. – Lund University, 2019. – 56 с.
3. Klett, J. W. Design, additive manufacturing, and performance of heat exchanger with a novel flow-path architecture / A. S. Sabau, A. Bejan, D. Brownell, K. Gluesenkamp, B. Murphy, F. List, K. Carver, C. R. Schaich, J. W. Klett // Appl. Therm. Eng. – Elsevier, 2020. – Т. 180, № July. – P. 115775.

4. Michaelis, A. Additive Manufacturing of Ceramic Heat Exchanger: Opportunities and Limits of the Lithography-Based Ceramic Manufacturing (LCM) / U. Scheithauer, E. Schwarzer, T. Moritz, A. Michaelis // J. Mater. Eng. Perform. – Springer US, 2018. – Т. 27, № 1. – С. 14–20.

5. Singh, P. State-of-the-art in heat exchanger additive manufacturing / I. Kaur, P. Singh // Int. J. Heat Mass Transf. – Elsevier Ltd, 2021. – Т. 178. – С. 121600.

УДК 620.97

### **Возможность утилизации низкотемпературных потоков теплоты на энергогенерирующих источниках**

Янчук В. В., Романюк В. Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Различные низкотемпературные тепловые потоки процессов конденсации пара, глубокого охлаждения дымовых газов, а также систем охлаждения технологических потоков на ТЭС, сегодня возможно и энергетически рационально использовать, например, для нагрева сетевой воды, вспомогательных потоков, а также для частичного регенеративного подогрева конденсата. Для реализации указанных решений утилизации низкотемпературных тепловых потоков предполагается применение тепловых насосов, как абсорбционных, так и парокомпрессионных. Простой срок окупаемости подобных мероприятий отвечает требованиям, которые сегодня предъявляются к энергосберегающим проектам, не превышает 4-х лет.*

С ростом общего уровня жизни и количества населения планеты опережающими темпами также растет и энергопотребление. Так, за 10 лет в 2020 г. по сравнению с 2010 годом производство электроэнергии в мире выросло на 24 % (рис.).

В последние десятилетия в мире значительно возрастает доля электроэнергии (ЭЭ), вырабатываемой за счет возобновляемых источников энергии, однако до настоящего времени в качестве первичного энергоресурса при генерации ЭЭ преобладает органическое топливо – 61 % в общем балансе производства электроэнергии в 2020 г. На рис. приведено изменение роли различных источников энергии в мире при производстве ЭЭ с 1985 по 2020 гг.

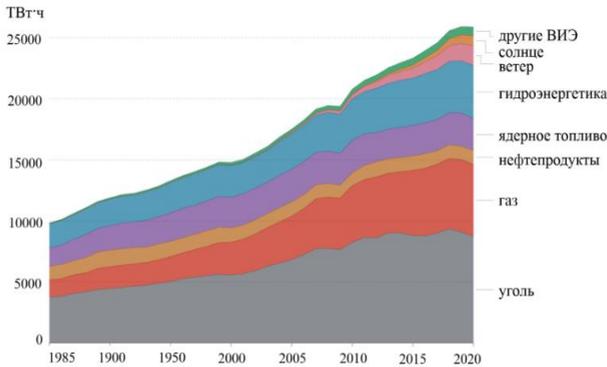


Рис. Производство электроэнергии в мире с разбивкой по источникам

По сравнению с миром, в Беларуси при производстве ЭЭ в основном используется органическое топливо. В 2020 г. на ТЭС энергосистемы за счет природного газа (ПГ) выработано 97 % всей произведенной электроэнергии. После ввода в эксплуатацию Бел АЭС, баланс изменится, однако за счет ПГ будет производиться до 57 %, т. е. более половины, выработки ЭЭ.

Удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч отпущенной ОЭС РБ электроэнергии в 2020 году составил 238,5 г., что соответствует среднему значению КПД отпуска ЭЭ по республике в 51,6 %. То есть половина первичной энергии в процессе преобразования сбрасывается в окружающую среду в виде потоков низкотемпературной тепловой энергии. Основные источники этих потоков на ТЭС известны: контуры охлаждения технологических систем, конденсаторы паровых турбин, теплота охлаждения которых отводится с оборотной водой и посредством градирен рассеивается в ОС, а также отходящие продукты сгорания. В случае сжигания некоторых твердых топлив можно рассматривать и утилизацию теплоты охлаждения золы, которая также имеет достаточную температуру.

Потенциал энергосбережения за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков значителен для достижения требуемых значений снижения потребления, прежде всего, природного газа. Обращаясь к циклам паротурбинных установок (ПТУ), в соответствии с положениями 2-го закона термодинамики часть энергии следует передать тем или иным потребителям теплоты, и если для генерации на паре отборов ТЭЦ, потребители теплоты полезные, генерация на потоке пара в конденсатор связана с рассеиванием энергии конденсации пара в окружающей среде. Очевидно, что на

КЭС часть этих потоков, а на ТЭЦ полностью, можно использовать. Эти потоки имеют низкую температуру, что препятствует их прямому использованию для нагрева других сред с более высокой температурой. В этой связи, надо обратиться к тепловым машинам обратного цикла, которые позволяют передачу теплоты от более холодных к более горячим средам при соответствующей компенсации такой передачи тепловой энергии в виде дополнительных затратах энергии.

В нашей стране, а также за рубежом, имеются примеры подобной утилизации низкотемпературных потоков теплоты на ТЭЦ, КЭС и в технологических схемах промышленных предприятий. Рассмотрим некоторые из них.

Многими авторами предлагается внедрение тепловых насосов (ТН) в теплофикационный контур ТЭЦ. В качестве источника низкопотенциальной энергии используется циркуляционная вода соответствующих систем охлаждения ТЭЦ, а также сопряженных промузлов.

В работе [1] за счет применения парокомпрессионных тепловых насосов (ПКТН) на ТЭЦ рассматривается обеспечение части пиковой отопительной нагрузки, что позволяет в резерв вывести пиковые водогрейные котлы.

В исследовании [2] показано, что внедрение абсорбционных бромистолитиевых тепловых насосов (АБТН) в теплофикационный контур угольной ТЭЦ позволяет повысить эффективность станции на 1,39–2,27 % в зависимости от нагрузки, так как часть пара, ранее направляемого на подогрев сетевой воды, после модернизации не отбирается, а продолжает расширение в турбине. Другая часть потока пара служит приводом АБТН, а в качестве низкопотенциального источника потока утилизации используется теплота конденсации отработавшего пара. Опыт использования ТН на угольной ТЭЦ в Китае для подогрева сетевой воды в первой ступени также показывает простой срок окупаемости менее двух лет.

В БНТУ приведено сравнение эффективности применения двух типов тепловых насосов для утилизации низкотемпературной тепловой энергии охлаждения конденсатора и генератора ПТ-60 для нагрева сетевой воды – абсорбционного (АБТН) и парокомпрессионного (ПКТН). Отопительные коэффициенты для принятых условий для указанных ТН соответственно равны 1,7 и 2,8. Авторами получено, что положительный эффект внедрения достигается только в варианте с АБТН. При этом простой срок окупаемости составляет от 2,3 до 4,9 лет в зависимости от режима работы.

Для турбоустановки Т-180/210-130 рассматривалось включение АБТН тепловой мощностью 25 МВт в схему с целью снижения температуры обратной циркуляционной воды охлаждения конденсатора и подогрева сетевой воды [3]. В результате получено относительное повышение электрического КПД станции на 2,5–12,3 %.

При работе ТН на нагрев сетевой воды в системе теплофикации, положительный эффект проявляется не только в уменьшении расхода топлива на подогрев сетевой воды, а также в увеличении вакуума в конденсаторе турбины, что несколько повышает выработку ЭЭ при сохранении прочих параметров [4].

При сохранении количества отпускаемой тепловой энергии станции за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков посредством использования АБТН, также возрастает ее электрический КПД на 6–10 %, КПД использования топлива на 5,7–7,7 % в зависимости от тепловой нагрузки ТЭЦ. Согласно [5], эксергетическая эффективность подобной схемы в 1,5–2,5 раза выше по сравнению с традиционными схемами ТЭЦ. Эксергетическая эффективность классических ТЭС с ТН с турбинами номинальной мощностью 50–250 МВт оценивается 0,12–0,15, для станций с турбинами 250–500 МВт – 0,18–0,20.

Интерес представляет возможное использование низкотемпературных тепловых потоков для регенеративного подогрева потока основного конденсата КЭС. Например, Янченко И. В. в диссертационной работе по специальности 05.14.14 показал, что для конденсационного блока ТЭС с ПТУ К-300-240-2 включение АБТН в схему позволяет повысить эффективность станции на 0,1–0,9 %, в зависимости от коэффициента недовыработки электрической энергии, режима работы электростанции и эффективности преобразования АБТН. Простой срок окупаемости модернизации составляет порядка 3 лет. В то же время, как показано в работе Курнаковой Н. Ю. из ИрГТУ альтернативное использование ПКТН в схеме ТЭС неэффективно.

В работе Р. Н. Валиева и др. показано повышение абсолютного электрического КПД цикла ПТУ К-325-23,5 при включении ПКТН в систему регенеративного подогрева на 0,7 %, тогда как в варианте с АБТН повышение составляет 2,6 %.

Также возможно включение АБТН в схему ТЭЦ с ПГУ. В таком варианте в качестве высокопотенциального источника теплоты используется горячая вода, получаемая на дополнительной поверхности нагрева в котле утилизаторе. Полученный поток энергии используется для нагрева конденсата перед его последующим нагревом в газовом подогревателе конденсата перед подачей в деаэратор. При этом возникает дополнительный положительный эффект: увеличение тепловой мощности газового подогревателя сетевой воды, который является последней поверхностью нагрева по ходу дымовых газов, на 12–14 % в зависимости от режима.

Многие исследователи также указывают условия, при которых внедрение ТН показывает свою эффективность.

Шаталов И.К. рассматривает добавочной цикловой воды в ПКТН вместо традиционно принятого подогрева паром отбора будет эффективным при усло-

вии, что количество выработанной энергии на паре отбора превышает потребление электрической энергии ПКТН. В расчетах получено, что в зимний период данное соотношение составляет 1,8, а в летний 3,5. При подборе ПКТН следует обращать внимание на соотношение стоимости тепловой и электрической энергии, и исходя из этого задавать минимально оправданные экономически коэффициенты преобразования ПКТН.

Проведенное в БНТУ исследование параметров АБТН для внедрения в тепловую схему ТЭЦ с турбинами ПТ-60-130 для получения дополнительного потока на подогрев сетевой воды показало, что экономически эффективна установка машины с отопительным коэффициентом не ниже 1,7, при условии обеспечения простого срока окупаемости не более 4 лет. Очевидно, что срок окупаемости инвестиций зависит и от числа часов работы оборудования с номинальной мощностью. Капитальные вложения в абсорбционные тепловые насосы окупаются в обоснованные сроки при их работе не менее 3,0 тысяч часов в год для промышленных потребителей. Парокомпрессорные – для всех типов потребителей при их работе более 4,0 тысяч часов в год и только при величине отопительного коэффициента превышающим значение 5.

Основная масса исследований возможности утилизации низкотемпературных тепловых потоков на ТЭС – их использование для нагрева сетевой воды, а также подпиточной воды. Применительно к регенеративному их использованию, подробно изучены и внедрены только частные случаи – для паровых турбин К-300.

Внедрение ТН в схему ТЭС позволяет повышать эффективность использования топлива, т. е. снижать расход топлива на выработку единицы энергии по сравнению с традиционными схемами производства, и, соответственно, снижать стоимость тепловой и электрической энергии. Данный вопрос для Беларуси остается актуальным ввиду зависимости от импорта первичных энергоресурсов.

Не менее важным положительным эффектом применения ТН является снижение нагрузки на окружающую среду.

Все вышелечисленное показывает, что следует уделить больше внимания данной тематике, рассмотреть конкретные примеры паровых турбин ТЭС для определения конкретных возможностей утилизации низкопотенциальных тепловых потоков в условиях ОЭС Беларуси.

В работах БНТУ показано снижение расхода топлива на котельных до 15 % при охлаждении дымовых газов до 40 °С с последующим применением АБТН для нагрева сетевой воды.

## Литература

1. Орлов, М. Е. Повышение эффективности ТЭЦ и подключенных к ним городских теплофикационных систем за счет структурно-технологической модернизации: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.14 / М. Е. Орлов. – Ульяновск, 2017. – 337 с.
2. Alimgazin, Altai Sh. Heat pump in a new modular configuration to recover low-grade heat emissions at enterprises / Altai Sh. Alimgazin, Saule G. Alimgazina, Mikhail G. Zhumagulov // Web of Conferences. – 2020. – № 178. – P. 1–5.
3. Шидловская, Д. К. Применение абсорбционных тепловых насосов в тепловой схеме турбоустановки Т-180/210-130 / Д. К. Шидловская, Г. Д. Седельников // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3. – С. 270–271.
4. Bruckner, S. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies / S. Bruckner, S. Liu, L. Miro, M. Radspieler, L. F. Cabeza, E. Lavemann // Applied Energy. – 2015. – № 151. – P. 157–167.
5. Шаталов, И. К. Подогрев добавочной цикловой воды с помощью ТНУ / И. К. Шаталов, Ю. А. Антипов // Вестник РУДН. – 2004. – № 1. – С. 60–65.

УДК 697.343

### Утилизация тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплограа

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Повышение эффективности эксплуатации теплопроводов тепловых сетей, размещенных в непроходных каналах, предлагается с помощью организации системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования, путем применения принудительной вентиляции этих каналов наружным воздухом и использование тепловых насосов для трансформации теплоты нагретого воздуха до температурного уровня, достаточного для использования в целях теплоснабжения. Определены условия, при которых данная система может быть энергоэффективна, задачи и методы исследования процессов теплопереноса в условиях принудительной вентиляции непроходных каналов. Получены уравнения регрессии для расчета интенсивности теплоотдачи от ограждающих конструкций канала и теплопроводов к продуваемому воздуху. Проведена предварительная технико-экономическая оценка предлагаемых решений.*

Решение проблемы минимизации тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения всегда была важной и экономически оправданной. Одним из основных подходов решения этой проблемы в настоящее время является применение предизолированных теплопроводов заводской готовности [1]. Однако, несмотря на современную тенденцию применения бесканальной прокладки предизолированных теплопроводов, в существующих системах централизованного теплоснабжения теплотрассы, проложенные в непроходных каналах, имеют достаточно большой удельный вес.

Предлагаемая регенеративно-утилизационная система теплоиспользования в тепловых сетях в непроходных каналах предполагает установку на центральном тепловом пункте (ЦТП) вентиляционной теплонасосной воздушной установки, представляющую собой комбинацию газодувки (вентилятора) и компрессионного теплового насоса типа «воздух-вода» (ВТНУ) [2]. Воздух через специально устроенные воздухозаборники направляется в каналы тепловых сетей, проходя через которые нагревается, и далее поступает в теплообменный аппарат ВТНУ (испаритель или промежуточный теплообменник), и далее охлажденный воздух возвращается в атмосферу.

В предложенной схеме особо следует отметить использование теплоты грунта. В типовых решениях утилизации теплоты грунта требуется обустройство поля скважин горизонтальных или вертикальных, что и затратно, и достаточно требовательно в эксплуатации [2]. В условиях городской застройки, с учетом стоимости участков земли использование грунтовых ТНУ практически невозможно. В то же время, непроходные каналы можно рассматривать как готовую систему горизонтально-расположенную канальную систему для утилизации теплоты грунта, что расширяет положительные стороны полезности применения непроходных каналов для прокладки теплопроводов.

Теплопритоки к воздуху, проходящему по каналу, определяются комплексом факторов, среди которых наиболее значимыми являются длина канала, скорость воздуха в нем, характерный размер канала, температурный напор теплопередачи от сетевой воды к воздуху канала, характеристики тепловой изоляции. При этом, требуется выполнять очевидное ограничение: для исключения рассеяния тепловой энергии в грунт, температура воздуха в канале не должна превысить температуру грунта вокруг канала. Здесь же следует указать и другое ограничение: необходимо, чтобы последующее охлаждение прокачиваемого воздуха происходило до значения температуры не превышающего температуру наружного воздуха, который поступает в канал из окружающей среды в данный период времени. Что обеспечивает полное использование теплоты, затраченной на нагрев

наружного воздуха при его нахождении в канале.

Для решения задачи нагрева воздушного потока в канале теплотрассы использовались численные методы моделирования с использованием стандартных прикладных пакетов, в частности, программный комплекс ANSYS [3, 4]. Рассматривалось использование теплоты охлаждения воздуха, в течение как отопительного, так и межотопительного периодов времени с определением минимальной температуры охлаждения такой, чтобы мощность ВТНУ в течение года практически не изменялась. В межотопительный период воздух в ВТНУ поступает из окружающей среды непосредственно за счет вентилятора ВТНУ и охлаждается с тем, чтобы максимально использовать номинальную мощность ВТНУ.

В работе [5] приведены значения отопительного коэффициента ВТНУ для минимальных температур до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые позволили провести их аппроксимацию зависимостью второго порядка с погрешностью не более 1,4 % (рис. 1) и на ее основе проводить дальнейшие расчеты.

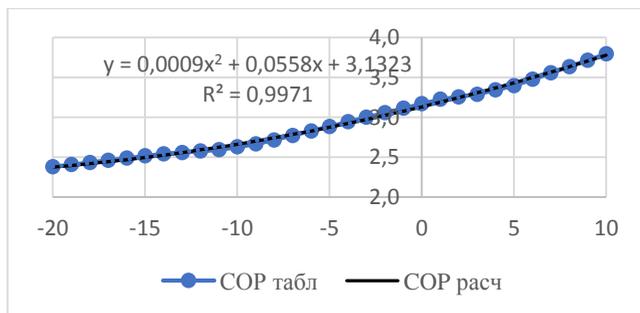


Рис. 1. Отопительный коэффициент ТНУ

В качестве критерия эффективности на первом этапе исследования можно принять экономию первичного энергоресурса (топлива) в системе централизованного теплоснабжения или отдельном сетевом районе.

#### Макроэкономическое окружение

При расчете технико-экономических показателей проекта были учтены тарифы, курсы валют и процентные ставки, представленные в табл.

Удельная стоимость ВТНУ данной категории мощности (до 300 кВт) на рынке составляет 180 долларов *USD* за киловатт установленной мощности.

На рис. 2 приведены результаты расчета годовой системной экономии топлива и сроки окупаемости проекта в зависимости от устанавливаемой мощности ВТНУ на тепловом пункте для участка длиной 200 м с диаметром трубопроводов 200 мм.

Тарифы, курсы валют и процентные ставки для расчета технико-экономических показателей

Тариф на покупку природного газа	руб./тыс. м <sup>3</sup>	400
Ставка рефинансирования НБ РБ	%	9,25
Средневзвешенная ставка дисконтирования	%	7,75
Теплота сгорания газа	ккал/м <sup>3</sup>	8050
Теплота сгорания условного топлива	ккал/кг	7000
курс доллара НБ РБ на 26.07.2021	руб./долл.	2,5136
УРТ на замещающем источнике	г/кВт·ч	240
УРТ на котельной	кг/Ткал	166,9

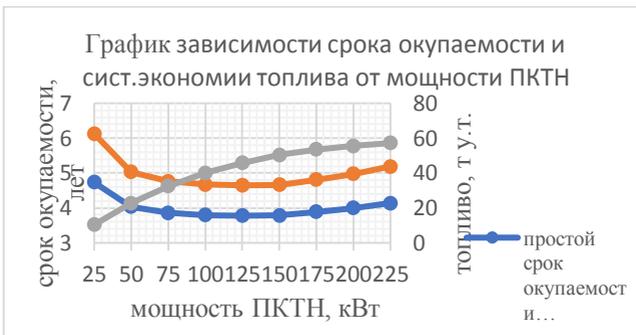


Рис. 2. Зависимость системной экономии топлива и сроков возврата инвестиций от мощности ВТНУ для канала теплотрассы диаметром 200 мм и длиной 200 м

Прослеживается наличие оптимальной мощности для рассматриваемой длины участка – 125 кВт. Для других длин были проведены аналогичные расчеты и результаты показаны на рис. 3.

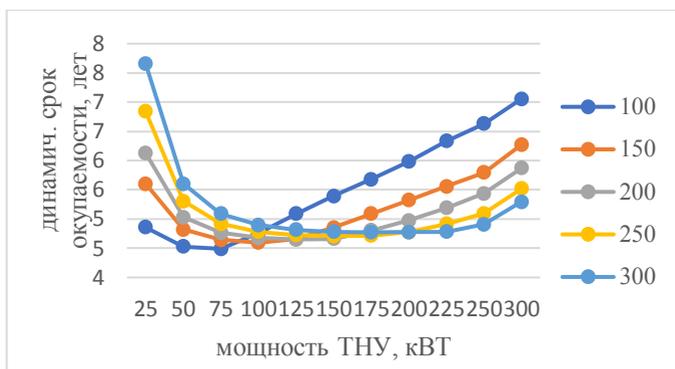


Рис. 3. Зависимость сроков возврата инвестиций от мощности ВТНУ и длины участка канала для теплотрассы диаметром 200 мм

На данном графике также прослеживаются оптимальные мощности ВТНУ для получения минимального срока окупаемости при каждой длине участка теплотрассы.

Выводы. Искусственная вентиляция непроходных каналов теплотрасс обеспечивает повышение энергоэффективности систем теплоснабжения путем регенерации и утилизации низкотемпературных тепловых потоков от теплопроводов, грунта и наружного воздуха с последующей трансформацией их потенциала до уровня, допустимого к использованию в системах теплоснабжения. Для организации регенеративно-утилизационной схемы теплоиспользования в непроходных каналах тепловых сетей предлагается использовать в тепловых пунктах вентиляционные компрессионные теплонасосные установки.

Найдены оптимальные мощности теплонасосных установок для участков различных длин на разных диаметрах трубопроводов теплотрасс при минимальных сроках окупаемости.

### Литература

1. Копко, В. М. Теплоснабжение / В. М. Копко. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.
2. Амерханов, Р. А. Тепловые насосы / Р. А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.
3. Бруяко, В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В. А. Бруяко, В. Г. Фокин, Е. А. Соядусов [и др.] – Самара: Самар. госуд. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Федорова, Н. Н. Основы работы в ANSYS / Н. Н. Федорова, С. А. Валь-

гер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

5. Брух, С. В. Особенности применения воздушных тепловых насосов для северных территорий [Электронный ресурс] / С. В. Брух // С.О.К. – 2017. – № 4. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozdushnyh-teplovyyh-nasosov-dlya-severnyh-territoriy>. – Дата доступа: 22.01.2022.

УДК 725.86:624.01-025.14(083.13)

**Новое в рекомендациях по проектированию конструкций основания ледовых площадок (Р 3.02.178-2019)**

Ливанский Д. Г.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Разработанные рекомендации дополняют и усовершенствуют метод проектирования конструкции основания ледовых полей крытых катков.*

Рекомендации по проектированию конструкций основания ледовых площадок многофункциональных сооружений (далее рекомендации) [1–3] разработаны в Белорусском национальном техническом университете и утверждены Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь и Министерством спорта и туризма Республики Беларусь. Рекомендации предназначены для применения при проектировании конструкций основания ледовых площадок для крытых ледовых катков, а также многофункциональных зданий, использующих искусственный лед.

Крытые ледовые катки – дорогостоящие сооружения, в связи с чем, для снижения их стоимости и расширения функциональных возможностей строятся учебно-тренировочные (без мест для коммерческого зрителя) и демонстрационные, предназначенные для проведения соревнований и зрелищных платных мероприятий. Микроклимат ледовых катков очень специфичен и по многим параметрам отличается от обычных зданий. В помещении с ледовым полем формируется особый микроклимат, характеризующийся в первую очередь широким температурным диапазоном, так, например, температура воздуха на уровне груди спортсмена на ледовом поле обычно составляет в среднем  $+(6-10)^\circ\text{C}$ , температура воздуха в зоне расположения мест для зрителей должна быть на уровне  $+(10-18)^\circ\text{C}$ , а температура льда в зависимости от вида проводимых соревнований может быть от  $-3$  до  $-8^\circ\text{C}$  [2–3].

В рекомендациях уделяется внимание такому понятию, как «качественный спортивный лед». Качество льда подразумевает под собой набор физико-механических параметров, оптимально соответствующих тому или иному виду спорта. Наиболее важные свойства спортивного льда – это деформативная прочность, прозрачность, отсутствие грязевых включений и неоднородностей, температурный режим и т. п. Факторы, определяющие перечисленные показатели, условно могут быть разделены на следующие группы: химические, режимные и конструктивные. Под химическими факторами подразумевается использование разного рода добавок и присадок, целенаправленно изменяющих условия скольжения по ледовой поверхности. Режимные параметры определяют скорость намораживания льда, дисперсность факела распыла и толщину наносимого слоя воды. Под конструктивными факторами подразумевается конструкция плиты охлаждения, обеспечивающая поддержание требуемого температурного режима ледового поля в зависимости от конкретного вида спорта.

Физические и механические характеристики льда имеют выраженную зависимость от температуры, поэтому изменение температуры льда более чем на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  приводит к ощутимым изменениям его свойств, что недопустимо для проведения соревнований международного уровня. Характерный минимальный размер возможного «температурного пятна» определяется шагом раскладки в бетонной плите труб системы охлаждения, которое составляет  $\approx 10$  см. Тем не менее, даже такая незначительная по размеру локальная неоднородность может реально спровоцировать сбой при прохождении дистанции спортсменом. Максимальный размер температурного пятна определяется влиянием системы климатизации ледового катка и может достигать до 5 м и более.

В рекомендациях приводится разработанная методика расчета основных элементов конструкции основания ледовых площадок, систем холодообеспечения и защиты грунта от промерзания, обеспечивающая требуемый температурный режим в соответствии с требованиями, предъявляемыми к спортивному льду.

Главной особенностью данных рекомендаций являются приведенные данные о рекомендуемых сочетаниях материала и условного диаметра труб, а также возможного диапазона разности температур холодоносителя, которые соответствуют минимальным капитальным и эксплуатационным затратам и обеспечивают требуемую температурную неравномерность на поверхности льда менее  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В рекомендациях проведен анализ и определены численные значения составляющих теплового баланса поверхности ледовой пластины в процессе эксплуатации (в режимах намораживание и восстановление льда,

соревнования, тренировка, массовое катание), который включает в себя следующие составляющие:

- радиационную (излучение осветительных приборов и лучистый теплообмен с внутренними поверхностями элементов строительных конструкций и инженерных коммуникаций);
- конвективный тепловой поток от воздушных масс;
- теплоту фазового перехода (за счет конденсации и кристаллизации водяных паров из воздушного пространства);
- теплоту, поступающую в режиме восстановления льда.

В рекомендациях впервые приведены численные значения величины теплового потока к поверхности льда в процессах намораживания и восстановления льда.

Приведенные в рекомендациях параметры плиты охлаждения, которые соответствуют минимальным капитальным и эксплуатационным затратам, были использованы при проектировании систем холодоснабжения объекта «Культурно-развлекательный спортивный комплекс в жилом районе Чижовка в г. Минске. Малая арена». Экономический эффект от внедрения рекомендаций составил 48 600 \$.

### **Литература**

1. Рекомендации по проектированию конструкций основания ледовых площадок многофункциональных сооружений. – Минск: БНТУ, 2019. – 89 с.
2. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений: автореферат диссертации ... канд. техн. наук: специальность 05.23.03 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение / Ливанский Дмитрий Геннадьевич; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 27 с.
3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс]: диссертация ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Д. Г. Ливанский; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020.

## Влияние наружной окружающей среды на энергетические показатели высотных зданий

Чигилейчик И. М., Ливанский Д. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье было рассмотрено влияние наружной окружающей среды на энергетические показатели высотных зданий, исследование зависимости удельного расхода тепловой энергии от различных показателей.*

Определение энергоэффективности здания является важной задачей при проектировании здания [1]. Однако достижение высокой энергоэффективности высотного здания достигнуть сложно, так как возникает негативное влияние окружающей среды с изменением высоты. Так же сказывается использование материалов для ограждающих конструкций здания, так как у разных материалов сопротивление теплопередачи отличается.

Одним из главных показателей в энергетическом паспорте здания, является удельный тепловой расход тепловой энергии на отопление здания [2]. Данный параметр находится по формулам 1 и 2:

$$q_h^{des} = 1000 \cdot \frac{Q_h^v}{A_f D_d}, \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \text{ сут}), \quad (1)$$

$$q_h^{des} = 1000 \cdot \frac{Q_h^v}{V_h D_d}, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C} \text{ сут}), \quad (2)$$

где:  $Q_h^v$  – потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период, мДж;  $A_f$  – сумма площадей пола квартир, м<sup>2</sup>;  $V_h$  – отапливаемый объем, м<sup>3</sup>;  $D_d$  – градо-сутки отопительного периода, °C сут.

В свою очередь,  $Q_h^v$  зависит от температуры наружного воздуха, скорости ветра и приведенного сопротивления теплопередачи.

Установим зависимость удельного расхода тепловой энергии от температуры и скорости ветра на разных высотах. Для этого примем высотное здание, высотой 400 м в г. Минске. Фасад состоит из светопрозрачных витражей. Измерения будут проводиться на высоте технических этажей, кровле и уровне земли: 0, 100 м, 200 м, 300 м, 400 м. Полученные данные сведем в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от температуры, скорости ветра и высоты

	$H, м$	0	100	200	300	400
	$t, °C$	-24	-24,6	-25,2	-25,8	-26,4
	$v, м/с$	3,6	12,7	12,7	15,18	17,23
	$R$ витражей	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_h^{des}$					
	$\frac{кДж}{(м^2 \cdot °C \text{ сут})}$	94,85	94,99	95,12	95,26	95,40
	$\frac{кДж}{(м^3 \cdot °C \text{ сут})}$	18,97	19,00	19,02	19,05	19,08

Согласно полученным результатам, можно увидеть, что параметр  $q_h^{des}$  будет увеличиваться с уменьшением температуры и увеличения скорости ветра.  $q_h^{des}$  на высоте 400 м будет в 1,1 % больше, чем на высоте 0 м.

Установим зависимость удельного расхода тепловой энергии от приведенного сопротивления теплопередачи витражей. При этом установим температуру и скорость метра на 0 м. Полученные данные занесем в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от приведенного сопротивления теплопередачи витражей

	$H, м$	0	0	0	0	0	0
	$t, °C$	-24	-24	-24	-24	-24	-24
	$v, м/с$	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	$R$ витражей	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_h^{des}$						
	$\frac{кДж}{(м^2 \cdot °C \text{ сут})}$	94,85	92,54	90,58	88,90	87,45	86,18
	$\frac{кДж}{(м^3 \cdot °C \text{ сут})}$	18,97	18,51	18,12	17,78	17,49	17,24

Из полученных результатов можно увидеть, что расчетный удельный расход тепловой энергии уменьшается с увеличением приведенного со-

противления витражей. Так  $q_h^{des}$  при  $R = 1,6$  на 10 % меньше, чем при  $R = 1,1$ .

Исходя из полученных результатов можно увидеть, что энергоэффективность здания напрямую связана с наружными параметрами микроклимата и коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций.

Для повышения энергоэффективности здания необходимо увеличить сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций, применяя новые современные решения.

Также вырастает потребность в новых методах расчета теплотерь, воздухопроницания конструкций.

### Литература

1. Ливанский, Д. Г. Особенности современного проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий / Д. Г. Ливанский, И. М. Чигилейчик // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс]: материалы республиканской научно-технической конференции, 20–21 мая 2021 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 18–22.

2. СП 2.04.02-2020 Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели.

УДК 69.001.76:699

### **Децентрализованные системы теплоснабжения в строительстве жилых домов в Республике Беларусь**

Ливанский Д. Г., Перминова О. И  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье рассматривается тема по результатам эксплуатации экспериментальных энергоэффективных жилых домов с использованием современного газового оборудования. Так как здания являются активными потребителями энергии, а их количество несоизмеримо растет с каждым годом, то в Республике Беларусь определены основные пути решения повышения энергоэффективности жилых домов. По результатам мониторинга экспериментальных объектов сделаны предложения по повышению эффективности их применения.*

С ростом цен на энергоносители актуальной задачей в Республике Беларусь стала разработка комплекса мер по энергосбережению. Жилой сектор не остался в стороне, поскольку он потребляет более 35 % суммарных энергоресурсов страны – это более 12,5 млн тонн условного топлива. Принят целый ряд нормативно-правовых актов, а также технических нормативных правовых актов, направленных на решение задач в области энергосбережения.

Одним из них – постановление Совета Министров Республики Беларусь № 336 от 25 апреля 2016 г. Рассмотрим отдельные результаты реализации в части выполнения мероприятий по проектированию и строительству многоэтажных энергоэффективных жилых домов с применением современных технологий по использованию газового оборудования [1, 2].

1. Применение индивидуальных крышных котельных. С появлением технологичного газового оборудования, позволяющего с учетом систем безопасности и контроля минимизировать риски чрезвычайных ситуаций, был реализован проект экспериментального жилого дома по ул. Кропоткина в г. Минске с крышной котельной. Результаты эксплуатации показали ряд преимуществ и недостатков.

Несомненными плюсами проектирования и строительства крышных котельных для теплоснабжения жилого дома является снижение потерь теплоты при транспортировке теплоносителя к потребителю, отсутствие регламентных работ по отключению горячего водоснабжения, возможность индивидуального регулирования температуры теплоносителя в зависимости от температуры окружающего воздуха, а также отсутствие затрат на прокладку теплосетей (особенно в плотной городской застройке).

К отрицательным моментам можно отнести:

- стоимость оборудования и монтажа (при наличии рядом теплотрасс);
- высокие эксплуатационные затраты для жильцов (техническое обслуживание и т. д.);
- срок эксплуатации газовой котельной ниже срока эксплуатации здания и его основных инженерных систем.

Эффективнее всего применять крышных котельных при отсутствии (низкая пропускная способность) централизованных тепловых сетей, невозможности (высокая стоимость) подключения к тепловым сетям в условиях плотных коммуникаций и застройки.

2. Применение систем индивидуального поквартирного теплоснабжения. В данном случае в каждой квартире устанавливается индивидуальный газовый котел для обеспечения отопления и горячего водоснабжения.

Эксплуатация жилых домов показала эффективность данного решения. К основным плюсам данной схемы можно отнести возможность поквартирного регулирования температуры теплоносителя, полное отсутствие

магистральных трубопроводов, круглогодичное обеспечение горячего водоснабжения.

Вместе с тем применение поквартирного теплоснабжения имеет ряд существенных недостатков, а именно:

- высокие эксплуатационные затраты для владельцев квартир (низкий срок службы оборудования, зависимость от электроэнергии и увеличение количества ее потребления, а также необходимость ежегодной проверке дымовых каналов);

- из-за неподконтрольности оборудования Госпромнадзору возрастают риски чрезвычайных ситуаций;

- из-за низкого коэффициента сопротивления теплопередачи внутренних стен и межквартирных перегородок возможно создание некомфортных условий в смежных квартирах.

Наиболее целесообразное применение – проектирование и строительство жилых домов при отсутствии центрального теплоснабжения.

Таким образом, экспериментальная эксплуатация жилых домов с применением современного газового оборудования показало свою эффективность в снижении энергоемкости и экономичности. Использование конкретных решений следует принимать на основании технико-экономических расчетов.

По результатам экспериментов проведено:

1. Совершенствование технических нормативных правовых актов.
2. Научно-исследовательские и проектные работы, обеспечивающие строительство и реконструкцию энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь.
3. Строительство (реконструкция) энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь.
4. Освоение выпуска комплектующих изделий и материалов, инженерного оборудования для энергоэффективных жилых домов.

### **Литература**

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 апреля 2016 г. № 336.
2. Отчет НИР «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.», инв. № 447. – Минск, 2012.

## Энергоэффективные здания

Ган В. О.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Данная статья содержит в себе информацию о видах энергоэффективных домов, принципах их работы и энергосбережения, способах энергосбережения.*

В наши дни мы наблюдаем ситуацию уменьшения и ослабления природных ресурсов нашей земли. Стоимость и сложность добычи энергоресурсов становится все выше, поэтому эффективное применение этих ресурсов за счет использования различных инновационных решений является ключом к решению данной ситуации. Проектирование и строительство энергосберегающих зданий является очень важным вопросом в энергетической политике любого развитого государства. Проблема строительства и эксплуатации современного здания с минимальным количеством потребления энергоресурсов остается актуальной на сегодняшний день. Новые энергосберегающие технологии в строительстве и эксплуатации кроме экономии финансовых ресурсов открывают возможности для снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду. Энергосберегающие технологии представляют собой более выгодный и грамотный способ компенсации увеличивающегося с каждым годом спроса на энергоносители.

Здания и сооружения, которые имеют наибольшую защиту от потерь теплоты, являются экологически чистыми и экономят финансовые ресурсы человека, называются энергосберегающими [1]. К основным видам этих зданий можно отнести следующие:

1. Пассивный дом (экодом) – сооружение, которое имеет достаточно низкое потребление энергии по сравнению со стандартным зданием. Отличительные черты: использование энергии солнца, внутренних источников тепла и рекуперации тепла. В теплые месяцы в пассивных домах используются методы пассивного охлаждения, такие как конструктивные элементы затенения, чтобы сохранять комфортную прохладу. Основная идея использования пассивного дома в первую очередь опирается на активное использование пассивных источников энергии и эффективную теплоизоляцию с отсутствием мостиков холода в материалах и узлах примыканий. Также дополнительно применяются принципы зонирования, правильной геометрии здания и правильной ориентации здания по сторонам

света. Из активных методов в пассивном доме обязательным является использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией.

2. Активный дом – это здание с положительным энергобалансом, самостоятельно производящее энергию для собственных нужд более чем в достаточном количестве. Он совмещает черты пассивного дома, который не нужно отапливать или который требует мало энергии, и «умного дома», оборудованного высокотехнологичными устройствами. Для сравнения: обычный дом потребляет 200–240 кВт·ч/м<sup>2</sup>, активный дом 10–12 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Энергосбережение достигается за счет использования особых инновационных технологий, а именно: природная энергия, благодаря которой дом накапливает энергию за счет работы солнечных панелей; теплоизоляция (использование элементов конструкции, уменьшающих передачу тепла, благодаря чему снижается расход энергии на отопление и кондиционирование); современные системы климат-контроля, позволяющие сохранять в доме до 90 % тепла; система контроля отопления, предназначенная для использования отопления только в момент его необходимости (система отключает обогрев комнат, когда никого нет дома); тепловые насосы добывают 75 % энергии для обогрева из окружающей среды, за счет чего снижаются расходы на отопление; система «умный дом» (интеллектуальная система, обеспечивающая управление инженерными системами дома).

3. Дом с нулевым потреблением энергии – здание, обладающее высокой энергоэффективностью, способное на месте вырабатывать энергию из возобновляемых источников и потреблять ее в равном количестве в течение года. При выработке энергии меньшей, чем необходимо для потребления, здание называется домом с почти нулевым потреблением.

Жилище будет максимально энергосберегающим [2, 3], если учтены такие нюансы:

1. Правильное расположение. От этого параметра зависит насколько много или мало дом будет получать солнечной радиации. Вход в дом по сторонам света ориентируют с южной привязкой. Это хорошо для того, чтобы уменьшить затраты на уборку снега зимой, ведь южная сторона существенно быстрее прогревается, а более теплый южный ветер способствует таянию снега. Обычно южная сторона и является подветренной стороной (за исключением местных особенностей), то есть наиболее защищенной от остывания. Планировать здание с северной стороны лучше без окон. Это желательно по многим причинам, в том числе и потому, что сплошная стена лучше будет сохранять тепло. Северная часть имеет и свой плюс – если есть помещения, где солнечное освещение нежелательно или в нем нет необходимости, именно с северной стороны такие комнаты лучше и размещать. Речь идет о технических комнатах, складских помещениях, гаражах, котельных. Восточная сторона одна из самых ценных. Здесь

можно разместить комнаты и для отдыха, и спальни, и столов так как именно на этой стороне с восходом солнца будет самый яркий, приятный свет. Однако стоит помнить, что зимой эта сторона света сильнее охлаждается, потому устраивать с востока большое количество окон не рекомендуется. Западная сторона, как правило, наиболее влажная. Она требует постоянного ухода и тоже прохладная. Потому с этой стороны лучше не размещать спальни и гостиные, хотя эта сторона света подойдет для размещения кладовых, коридоров, прочих хозпомещений.

2. Компактность. Под этим термином обычно имеют в виду соотношение внутренней и внешней площади дома. Оно должно быть минимальным, а достигается это за счет отказа от выпирающих помещений и архитектурных украшений.

3. Строительство дополнительных пристроек к дому, которые обеспечат дополнительную тепловую защиту здания.

4. Правильное естественное освещение. Суть этого способа сбережения энергии очень связана с нашим первым пунктом – правильным расположением дома. Все просто: естественное освещение преобладает на определенных сторонах света, поэтому комнаты, которые нуждаются в большем тепле, нужно располагать с южной стороны, так как там будет задействована большая площадь распространения солнечных лучей, расположение спален – восточная сторона, по причине умеренного солнечного света.

5. Кровля. Многие архитекторы рекомендуют делать максимально простые крыши для энергосберегающего дома. Часто останавливаются на двухскатном варианте, причем чем более пологим он будет, тем более экономным окажется дом. На пологой крыше будет задерживаться снег, а это дополнительное утепление зимой.

6. Теплоизоляция различных частей здания подразумевает собой использование эффективных утеплителей, теплоизоляционных материалов и т. д., производители которых стараются создавать эти материалы с наименьшим коэффициентом теплопроводности.

7. Рекуперация тепла в вентиляционных системах. Нагретый воздух через вентиляционные каналы выходит из комнаты, отдает свое тепло рекуператору (теплообменнику), соприкасаясь с ним. Холодный свежий воздух с улицы, проходя сквозь рекуператор, нагревается, и поступает в дом уже комнатной температуры. В результате жильцы получают чистый свежий воздух, но не теряют тепло.

8. Использование систем умного дома, благодаря которым можно: задавать температуру в каждой комнате; автоматически понижать температуру в комнате, если в ней никого нет; включать и выключать свет в зависимости от присутствия человека в помещении; настраивать уровень освещенности; автоматически включать и выключать вентиляцию в зави-

симости от состояния воздуха; автоматически открывать и закрывать окна для поступления в дом холодного или теплого воздуха; автоматически открывать и закрывать жалюзи для создания необходимого уровня освещения в помещении.

Активный поиск и исследования альтернативных видов топлива, новых систем получения и выработки энергии идет во многих странах. Стоимость энергоресурсов становится дороже с каждым годом. Вопрос строительства энергоэффективных и энергосберегающих сооружений и зданий получает большую значимость и внимание. Вышерассмотренные виды зданий позволяют совместить благоприятные условия для комфортной и экономичной жизни населения, а также оказывают огромную помощь в укреплении экономического положения государства, так как стандартные жилые дома, производственные сооружения и т. д., потребляют достаточно огромную часть бюджета и энергоресурсов страны, что в свою очередь несет неблагоприятные последствия в целом для государства.

Работа выполнена при научном руководстве кандидата технических наук, доцента кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция» БНТУ Ливанского Д. Г.

### Литература

1. Протасевич, А. М. Энергоэффективные здания и технологии / А. М. Протасевич // Мастерская. Современное строительство. – 2013. – № 1. – С. 158–162.
2. Змачинский, А. Э. Основы энергосбережения в строительстве: курс лекций / А. Э. Змачинский, О. Г. Галузо; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Технология бетона и строительные материалы». – Минск: БНТУ, 2007. – 226 с.
3. Голубова, О. С. Экономические аспекты повышения энергоэффективности жилых зданий / О. С. Голубова, Н. А. Григорьева. – Минск: БНТУ, 2018. – 175 с.

УДК 62-69

**Анализ зданий с нулевым энергопотреблением в Республике Беларусь**

Космович Д. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Развитие инженерных наук происходит непрерывно. Каждый год проектировщики представляют новый тип зданий и сооружений. Каждый разработанный проект подвергается анализу на вредоносное воздействие*



Наибольшие значения преобладают в осенне-зимний период. Средняя продолжительность светового дня в стране характеризуется небольшими значениями на фоне других стран Европы. Для г. Минска это составляет до 96. Преобладают пасмурные дни. Поэтому предпочтения стоит отдавать Минской области (возможно в пригороде Минска).

Перейдем к следующему этапу строительства – выбору утепляющих материалов для экономии на системе отопления. Воспользоваться можно уже успешно использующимися сегодня – минеральной ватой, полистиролом. Расчет толщины утепляющих слоев ведется на холодный период года, когда температура наружного воздуха будет наименьшей.

Утеплению подвергается плита перекрытия (с двух сторон) и крыша (утепляющий слой между стропил по расчету с учетом утеплителя под стропилами). Утепляющий слой располагаем так, чтобы избежать тепловых мостов. Этап утепления – наиболее сложный, поэтому тут возможны ошибки, которые приведут к некомфортным условиям для проживания.

Для того чтобы уменьшить потери теплоты через заполнения световых проемов применим энергосберегающие окна (тройное остекление, заполнение аргоном). При проектировании дома требуется обеспечить выход окон на южную сторону, чтобы в летний период теплопоступления были больше, затрачивая меньше ресурсов на систему отопления, повышенная нагрузка на которую может иметь последствия в виде температуры воздуха в помещении ниже расчетной.

Следующий этап – это выбор системы вентиляции и отопления. Процесс выбора заключается в предварительном расчете на требуемое количество удаляемого воздуха. Наиболее выгодный с точки зрения экономии на систему вентиляции в целом – это применить систему вентиляции с рекуперацией тепла – удаляемый воздух имеет температуру выше температуры приточного воздуха, поэтому, смешиваясь с приточным воздухом, требуется меньше энергии на его нагрев. Предварительно очищенный воздух снова поступает в помещении с определенными параметрами, рассчитанными на этапе проектирования системы вентиляции и отопления.

Система отопления – сложный физико-технический процесс получения теплоносителя и на реализацию потребуется наибольшие капиталовложения. Любой расчет системы отопления основан на расчете теплопотерь помещениями, которые требуется компенсировать отопительными приборами (подбором которых занимаются на стадии проектирования). Поэтому предварительная задача - вычислить теплопотери. Далее разберемся с процессом получения теплоносителя для системы отопления. В данном случае геологами и геодезистами подробно изучается местность. Наиболее сложный прибор в данном случае – тепловой насос (нужен для получения теплоты от природных источников) с системой работы «вода-вода» (в случае

для Беларуси применение других не будет рассмотрено в силу сложности получения). В зависимости от местности, которую предварительно выбрали, это может быть как водоем, так и подземный источник.

Для наглядности на рис. 2 представлена общая схема получения теплоносителя для системы отопления.

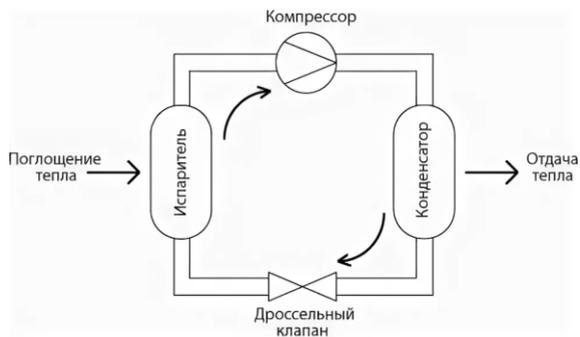


Рис. 2. Общая схема получения теплоносителя для системы отопления

Рассмотрим случай, например, для поверхностного источника: насос подает воду с определенными параметрами (температура среды не ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и не выше  $7^{\circ}\text{C}$ ) к испарителю (элемент теплового насоса), где хладагент закипает (при температуре выше  $0^{\circ}\text{C}$ ), становясь газообразным. Попадая далее в компрессор, газообразное вещество увеличивает давление и, как следствие, свою температуру. Далее требуется это разогретое вещество использовать для передачи теплоты системе отопления. Для этого в конструкции теплового насоса имеется конденсатор. Остывшее вещество требуется вернуть в исходное состояние. Для этого предусмотрен в конструкции теплового насоса расширительный клапан. Давление понижается и затем цикл повторяется. Далее проектировщику получают данные по температуре отданной теплоты после конденсатора, на основании которой подбирается отопительный прибор, рассчитывается число секций, предварительно выбрав схему системы отопления. Далее производится гидравлический расчет системы отопления. Конечный этап – монтаж. На этом этапе система отопления готова к пуску. Основное требование к ней – надежность и равномерный обогрев помещений здания, а также стабильный поток теплоносителя с заданными параметрами. Рекомендуется использовать «теплый пол» для равномерного обогрева помещений за счет малого расстояния между трубами (от 10 см). Требование к теплому насосу по классу энергопотребления – A++ до A+++ (это означает, соответственно,

экономия в примерно 50 % электроэнергии и самый экономный). По заявлениям производителей этот прибор безопасен, однако, регулярные проверки и при необходимости замена – гарант работы системы отопления.

Следующим этапом является использование солнечной и ветровой энергии. Предварительно изучив карту ветров в Беларуси, приходим к выбору соответствующего оборудования. Для этого потребуются приобрести солнечные панели, размещенные на крыше здания, а также ветрогенераторы. Использование солнечной энергии должно хватать на все электроприборы помещений. Стоит отметить, что рекомендуется использовать бытовую технику низкого энергопотребления (A++ или A+++ по классу энергопотребления). Особое внимание уделяется выбору холодильника и морозильника – A++ или A+++ по классу энергопотребления. Также энергоресурс от солнечных панелей должен обеспечивать работу теплового насоса. Возможно использование накопителей.

Таким образом, системы отопления и вентиляции будут исправно работать исключительно на природных ресурсах. Разобравшись с особенностями работы системы отопления и вентиляции для зданий с нулевым потреблением энергии, стоит обратить внимание на окупаемость данного объекта. Самый дорогой объект – тепловой насос системы «вода-вода». Его стоимость зависит от мощности системы отопления и в среднем составляет свыше 4000 \$ в зависимости от конкретного производителя. Стоит помнить, что срок службы его различный и составляет больше 15 лет. Что касается солнечных панелей, то их цена так же зависит от мощности, класса защиты и срока службы. В зависимости от производителя цена может превышать 1000 \$. Цена оборудования для системы вентиляции и приборов системы отопления значительна и зависит от конкретного проекта и пожеланий заказчика. Анализ карты ветров и данных по количеству продолжительности светового дня говорит о том, что реализация проекта трудна и возможна лишь в отдельных частях Республики Беларусь. Наилучшим и самым благоприятным местом строительства является Минская область или пригород Минска.

Работа выполнена при научном руководстве кандидата технических наук, доцента кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция» БНТУ Ливанского Д. Г.

### **Литература**

1. Инженерная экология: учебное пособие / И. С. Бракович [и др.]; под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 223 с.

Данькова Я. С., Красникова Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются преимущества энергоактивных зданий, вопросы использования альтернативных источников энергии для избыточной генерации энергии превышающей потребности зданий, проблемы проектирования и их эксплуатации.*

В настоящее время одной из главных задач строительной науки и практики стали задачи энергоэффективности проектирования архитектурных объектов, из-за преобладающего значения финансовых и общих экономических факторов.

Энергоактивное здание ориентировано на использование энергии окружающей среды (ее природных и климатических факторов) с максимальной эффективностью, для частичного или автономного энергообеспечения за счет использования комплекса пространственно-планировочных, ландшафтно-градостроительных, инженерных и конструктивных средств, основанных на ориентации пространства, форм здания и технических систем на энергию окружающей среды (солнца, ветра, почвы и т. д) [1].

Идея энергоактивных зданий является результатом поиска минимизации затрат на энергоснабжение строительных объектов, обеспечивающих возможность получения энергии во время строительства на необходимом месте, с перспективой полного отказа от строительства дорогих и ненадежных внешних инженерных систем (сетей тепло-, водо- и электроснабжения) [2].

Упразднение фидерных сетей означает, что можно избежать значительных потерь энергии при транспортировке. Сумма потенциальных экономических выгод и стоимости мер и ресурсов, необходимых для их достижения, определяет соответствующую энергоэффективность проекта здания. На практике видно, что в современных условиях, полная замена традиционных источников энергии на возобновляемые, не является абсолютным решением проблемы минимизации затрат; это связано с неэффективностью имеющихся в настоящее время технических средств и очень высокой стоимостью преобразования энергии из природной среды.

Поэтому наиболее разумными считаются различные варианты комплексного энергоснабжения, включающие традиционные и один (или несколько) альтернативных способов.

Одной из важных проблем при проектировании зданий, использующих природную энергию, является проблема качественного управления распределением энергии для поддержания необходимых климатических параметров внутри помещений, с учетом постоянных циклических и временных периодических изменений характеристик внешней среды. Необходимо решить 3 основные задачи: способ получения энергии (как обеспечить нужное количество энергии, учитывая ее рассеянность во внешней среде, компенсировать недостаточную мощность естественных энергетических потоков); аккумулярование собранной энергии (как решить проблему неравномерного поступления энергии в зависимости от времени суток/года); распределение энергии (как обеспечить распространение энергии по сему зданию и своевременное поступление ее в необходимые технические узлы) [2].

Активные и пассивные системы сбора энергии имеют существенные отличия, которые можно обозначить несколькими примерами основных средств для сбора и аккумулярования (хранения) энергии различными энергоактивными зданиями.

В гелиоэнергоактивных зданиях основными активными средствами являются такие технические устройства [3] как:

- гелиостаты – зеркальные отражатели, перераспределяющие потоки солнечной энергии в пространстве (позволяют сократить площадь коллекторов в 2–4 раза;

- гелиоприемники – в виде особо сконструированных панелей из фотоэлектрических элементов, обеспечивающих получение электроэнергии, или плоских гелиоколлекторов теплообменного типа, обеспечивающих получение тепла;

- концентраторы – криволинейные (обычно, зеркальные) отражатели, обеспечивающие сведение энергетического потока к точечному приемнику, на котором за счет повышения плотности излучения можно получать температуры до 650 °С.

С другой стороны, основными пассивными средствами будут служить:

- «солнечные трубы» – вертикальные пространства на всю высоту здания, через которые осуществляется внутреннее воздушное отопление (зимой) и качественное проветривание (летом) всех основных помещений за счет эффекта естественной вертикальной тяги;

- энергоактивные буферные пространства, в отличие от изолирующих энергоэкономичных, собирают тепло, отдаваемое термическими емкостями во внешнюю среду, посредством естественного «парникового эффекта», который имеет место в пространствах со светопрозрачными наруж-

ными ограждениями (теплицы, оранжереи, веранды) и позволяют обеспечить до 25 % энергопотребления.

К альтернативным источникам энергии относятся:

- солнечная (основным источником здесь является солнечная радиация, а именно выделяемые свет и тепло);
- аэро-гидротермальная (тепло воздушных масс и потоков, тепло горячих подземных источников, грунтовых вод и водоемов);
- геотермальная (тепло почвы из верхних слоев коры и горных образований);
- ветровая;
- кинетическая водная (речные течения, водопады, приливы);
- биомасса (результат переработки отходов жизнедеятельности и промышленности).

По оценкам ученых, максимально возможное количество ветровой энергии, получаемой на континентах, может составлять 40 ТВт, при этом, все человечество, на сегодняшний день, потребляет около 10 ТВт. Биомасса покрывает 13 % потребляемой сегодня энергии. Природные ресурсы распределены неравномерно, из-за разных климатических условий, отличий рельефа, расстояния до побережья и высотой на уровень моря. Следовательно, выбор используемого источника альтернативной природной энергии должен осуществлять в каждом регионе отдельно и определяется местными условиями: наличием источника в районе строительства, его мощностью (величиной возможных энергопоступлений) и размерами затрат, необходимых для технического обеспечения эксплуатации источника в заданном регионе. Системы энергоснабжения зданий и населенных мест, которые используют энергию природной среды, в большинстве случаев оказываются экономически эффективнее традиционных не только вследствие значительного снижения потребления обычных дорогостоящих топливных ресурсов, но и как более дешевые в строительстве (монтаже и эксплуатации, например, в условиях вечномерзлых грунтов, слабо развитой или недостаточно мощной имеющейся инженерной инфраструктуры (что особенно характерно для реконструируемых густонаселенных, а также вновь осваиваемых малонаселенных мест).

Наличие и мощность различных энергетических ресурсов (как природных, так и традиционных) на объекте, производительность, характер и стоимость средств их использования определяют соответствующую степень энергоэффективности здания. Здания различаются по этому критерию:

- низкая энергоэффективность (замена до 10 % энергопоступлений);
- средняя энергоэффективность (замена 10–60 %)

- высокая энергоэффективность (коэффициент замены более 60 %);
- с избыточной энергетической активностью (вклад энергии из природных источников, превышающий потребности зданий и допускающий избыточное потребление энергии сторонними потребителями).

Энергоактивные здания – это одно из самых перспективных направлений современного строительства. Замена традиционных источников на альтернативные требует создания технологий, которые могли бы увеличивать энергоактивность зданий, модернизировать способы получения энергии и способы ее хранения, распределения и использования. Также эти здания должны быть рассчитаны на длительные сроки эксплуатации и на возможность приспособления к новым источникам энергии.

Работа выполнена при научном руководстве кандидата технических наук, доцента кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ Ливанского Д. Г.

### Литература

1. Маркус, Т. А. Здания, климат, энергия / Т. А. Маркус, Э. Н. Моррис. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. — 544 с.
2. Селиванов, Н. П. Энергоактивные здания / Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 376 с.
3. Бекман, У. А. Расчет солнечного теплоснабжения / У. А. Бекман, С. А. Клейн, Дж. А. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 79 с.

УДК 504.06 (476)

### **Международные соглашения по продлению Киотского протокола**

Бракович И. С., Шабан З. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Статья посвящена основным положениям Киотского протокола, попыткам его продления и согласования, Марракешским договоренностям, Парижскому соглашению, климатическому пакту Глазго и основным целям данных документов.*

На 45-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН (1990 г.) мировое сообщество одобрило резолюцию «Сохранение глобального климата для нынешнего и будущих поколений», в которой рассматривалась разработка Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК). Рамочная Конвенция ООН подписана практически всеми государствами-членами ООН (более 190 государств, включая все промышленно развитые страны, все

страны с переходной экономикой, а также подавляющее большинство развивающихся), которые именуются в ней Сторонами, и вступила в силу 21 марта 1994 г. [1].

Главная цель Конвенции разработка стратегии сохранения климатической системы, достижения стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере «на таком уровне, который бы не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему». Первая Конференция Сторон РКИК прошла в Германии в марте-апреле 1995 г., международное сообщество приняло решение начать поэтапные действия по ограничению роста поступления парниковых газов в атмосферу и создать соответствующую систему эколого-экономических отношений.

В 1996 г. была проведена вторая Конференция Сторон в Женеве. Проводимая деятельность оказалась плодотворной, и в декабре 1997 г. в Японии (Киото), на 3-й Конференции Сторон РКИК было принято первое дополнительное соглашение, или Киотский протокол.

Киотский протокол – международное соглашение о сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу для сдерживания глобального потепления. Киотский протокол является одним из проявлений глобализации современной экономики, когда регулирование экономической деятельности перестает быть исключительной прерогативой национальных правительств и становится объектом межправительственных соглашений.

Согласно протоколу, ведущие индустриально развитые страны взяли на себя обязательства в 2008–2012 гг. уменьшить выбросы углекислого газа в среднем на 5 % от уровня 1990 г. Каждой стране выделялась квота на эмиссию углекислого газа. Те страны, которые выбрасывают углекислый газ меньше запланированной квоты, могут продать излишки другой стране, которая тем самым приобретала право производить углекислый газ больше исходной квоты. Таким образом, Киотский протокол закреплял за национальными правительствами права на определенное количество вредных выбросов и предлагал развивать рынок по торговле этими правами.

Основные положения Киотского протокола:

- определение допустимого объема выбросов парниковых газов в 2008–2012 гг. для всех участвующих в этом соглашении промышленно развитых стран-участниц;

- разработка механизмов корректировки квот для отдельных стран – «механизмы гибкости» (торговля квотами, проекты совместного осуществления, механизмы чистого развития);

- разработка механизмов контроля над уровнями выбросов.

На 7-й Конференции Сторон РКИК, состоявшейся 29 октября – 9 ноября 2001 г. в г. Марракеш, Марокко, был одобрен пакет документов, кон-

кретизирующих реализацию ряда положений Киотского протокола и единогогласно приняты соглашения – подзаконные акты Киотского протокола.

Марракешские договоренности состоят из 15 документов, регламентирующих технические детали выполнения Киотского протокола по направлениям:

- образование и расходование фондов – для финансирования проектов и программ по адаптации к изменениям климата в развивающихся странах;
- выполнение международных проектов по снижению выбросов;
- передача и продажа квот, ведение регистра;
- учет, мониторинг и отчетность по выбросам парниковых газов;
- учет поглощения углекислого газа лесами и зачет результатов выполнения лесохозяйственных проектов;
- режим контроля за соблюдением обязательств.

Специальный документ посвящен поглощению углекислого газа лесами, стокам. В правилах торговли и передачи квот было принято решение ввести специальные единицы учета стоков, чтобы отделить их от единиц снижения выбросов. Это очень важный шаг против подрыва рынка с помощью дешевых лесных квот.

Приняты четкие организационные и временные рамки подачи заявлений о нарушениях, принятия решений и рассмотрения апелляций. Принятие пакета Марракешских документов означало новый этап: страны должны были принять решения по вопросу о ратификации Киотского Протокола.

США подписали, но не ратифицировали Киотский протокол. Афганистан, Андорра, Ватикан, Западная Сахара не подписали протокол. В декабре 2011 г. Канада инициировала процедуру выхода из состава Протокола и окончательно покинула список стран-участников год спустя, незадолго до окончания первого периода обязательств, так как не смогла бы достичь показателя 6 %-го снижения уровня выбросов парниковых газов по сравнению с уровнем 1990 г., как того требовал Киотский протокол. Канада избежала ответственности за невыполнение принятых международных обязательств в рамках Протокола, исключила возможность стать объектом санкций со стороны надзорного органа Комитета по надзору и контролю, созданного Марракешскими соглашениями.

В 2006 году на 12-ой Конференции Сторон в Найроби, Вспомогательному органу для консультирования по научным и техническим аспектам было поручено разработать 5-ти летний проект по решению вопросов воздействия, уязвимости и адаптации в связи с изменением климата, который получил название Найробийской рабочей программы.

Найробийская рабочая программа РКИК ООН по воздействиям, уязвимости и адаптации к изменению климата нацелена на помощь всем странам в улучшении их понимания воздействия изменения климата и принятии решений по практическим действиям и мерам адаптации с использованием всей имеющейся информации.

11 декабря в Канкуне, Мексика, в 2010 году на 16-й Конференции сторон были достигнут комплекс решения проблем – Канкунские соглашения. Соглашения направлены на реализацию коллективных и всесторонних усилий по устранению долгосрочных проблем изменения климата.

Решения, содержащиеся в Канкунских соглашениях, закладывают основу для реализации на длительную перспективу коллективных усилий по решению проблемы изменения климата. Результаты, достигнутые на Канкунской конференции, создали базу для построения всеобъемлющей оперативной архитектуры для реализации мер в области адаптации, смягчения последствий, финансирования, использования технологий и наращивания потенциала.

17-я Конференция Сторон и 7-я встреча стран-участниц Киотского протокола завершились 10 декабря 2010 года в Дурбане (ЮАР) подписанием представителями 120 стран базового соглашения – «Дурбанская платформа».

Итоговый документ конференции в Дурбане включает положение о том, что, по завершении первого этапа реализации Киотского протокола (2008–2012), начнется второй ее этап – с 2013 по 2017 год. В его рамках – уже к 2015 году – участники процесса намерены на смену Киотскому протоколу подготовить новое международное соглашение, которое вступит в силу не позднее 2020 года.

Дурбанская платформа заложила основу для нового, юридически обязательного для всех соглашения, предписала правительствам соблюдать обязательства второго этапа Киотского протокола и положила начало работе Зеленого климатического фонда.

Парижское соглашение – первый юридически обязательный международный договор, относящийся к изменению климата. Он был принят 196 Сторонами на 21-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (КС-21 РКИК ООН) 12 декабря 2015 года в Париже. Соглашение окончательно сформировалось в период с 2011 по 2015 г. в ходе работы нескольких последовательных Конференций Сторон на базе Дурбанской платформы действий [2].

Цели соглашения:

– удержание прироста глобальной средней температуры в пределах 1,5–2 °С сверх доиндустриальных уровней;

– повышение способности адаптироваться к неблагоприятным воздействиям изменения климата, содействие сопротивляемости к нему и развитие при низком уровне выбросов парниковых газов таким образом, который не ставит под угрозу производство продовольствия;

– приведение финансовых потоков в соответствие с траекторией развития, характеризующийся низким уровнем выбросов и сопротивляемостью к изменению климата.

Вступление Соглашения в силу состоялось 4 ноября 2016 года. Для начала практического взаимодействия соглашения, начиная с 2020 года, необходимо было согласовать «набор правил» для углеродных рынков и решить ряд других вопросов. Собравшиеся в декабре 2019 года в Мадриде делегаты не смогли решить эту задачу.

С 1 октября 2021 года по 12 ноября 2021 года в Глазго состоялась 26-я Конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, на которой была завершена работа над Сводом правил Парижского соглашения, был принят Климатический пакт Глазго. В Своде правил Парижского соглашения представлены «расширенные рамки для обеспечения транспарентности», новый механизм и стандарты международных углеродных рынков и общие сроки представления информации о целевых показателях снижения выбросов.

Основные цели Климатического пакта Глазго:

– переход к производству энергии с низким уровнем выбросов парниковых газов;

– обязательства по выделению рекордных объемов финансирования на цели адаптации, в том числе по увеличению к 2025 году объемов такого финансирования в два раза по сравнению с 2019 годом;

– увеличение финансовой помощи бедным и развивающимся странам для борьбы с изменением климата;

– достижение чистого нулевого уровня выбросов.

Климатический пакт Глазго ускорит темпы борьбы с изменением климата при исполнении Сторонами обязательств.

Международные соглашения действуют для сдерживания глобального изменения климата, но принятых мер недостаточно и повышение всемирной средней температуры повлечет за собой неотвратимые последствия.

### **Литература**

1. Тулохонов, А. К. Киотский протокол: проблемы и решения / А. К. Тулохонов, С. Д. Пунцукова, Э. М. Зомонова // Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Байкал. ин-т природопользования СО РАН. – Новосибирск, 2006. – 117 с.

2. Вирт, Д. А. Парижское соглашение: новый компонент климатического режима ООН / Д. А. Вирт // Вестник международных организаций. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 185–214.

**Водоснабжение, водоотведение, очистка  
природных и сточных вод**

**Водопользование, качественный состав сточных вод  
предприятий молочной промышленности**

Захарко П. Н.<sup>1</sup>, Дубенок С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие

«Центральный научно-исследовательский институт комплексного  
использования водных ресурсов»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Проведенные исследования показали, что водопользование и качественный состав сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов достаточно нестабильны в течение суток, что обусловлено спецификой осуществления производственных процессов при выпуске разных видов молочной продукции. В статье отдельно рассмотрено водопользование на предприятиях по производству сыров, так как оно позволяет в целом охарактеризовать специфику водопотребления и водоотведения в молочной промышленности.*

Республика Беларусь в последнее десятилетие активно развивает молочную промышленность: наблюдается стабильная динамика увеличения производственных мощностей за счет модернизаций существующих производств, строительства новых технологических линий, что также повлияло на характер водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов.

Согласно данным государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) проведен сравнительный анализ водопользования подсекции СА «Производства продуктов питания, напитков и табачных изделий» и группы 105 «Производство молочных продуктов», который показал, что доля добычи воды предприятиями по производству молочных продуктов последние 3 года превышает 50 % от общей добычи воды подсекцией СА, объем сброса сточных вод в водный объект предприятиями по производству молочных продуктов последние 4 года постоянно увеличивается и на 2020 год составил 48,2 % от общего объема сброса сточных вод подсекцией СА в водные объекты (табл. 1) [1].

Динамика добычи воды, производства продукции предприятиями молочной промышленности за период 2016–2020 гг. показала, что при близких объемах годового выпуска продукции, объем водопотребления имеет постоянную тенденцию к росту (рис. 1).

Таблица 1

Сводные данные водопользования подсекцией СА и группой 105 за период  
2016-2020 гг.

Год	Добыча, тыс. м <sup>3</sup> /год			Изъятие, тыс. м <sup>3</sup> /год			Сброс сточных вод в водные объекты, тыс. м <sup>3</sup> /год		
	СА	105	%	СА	105	%	СА	105	%
2016	43 500	20 970	<b>48,2</b>	6300	427,45	<b>6,8</b>	4300	1355	<b>31,5</b>
2017	45 600	22 022	<b>48,3</b>	6700	385,07	<b>5,7</b>	6700	950	<b>14,2</b>
2018	44 800	22 614	<b>50,5</b>	5700	327,33	<b>5,7</b>	7900	1799	<b>22,8</b>
2018	45 000	23 719	<b>52,7</b>	4400	343,33	<b>7,8</b>	8100	2486	<b>30,7</b>
2020	47 100	24 279	<b>51,5</b>	3600	318,117	<b>8,8</b>	7900	3812	<b>48,2</b>

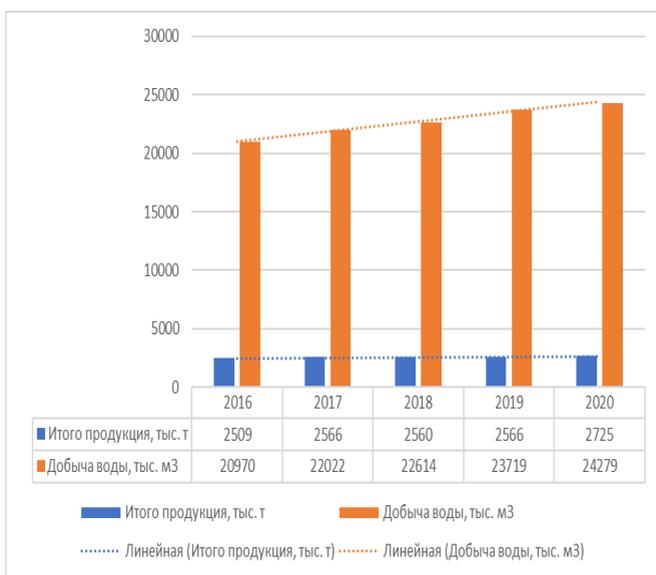


Рис. 1. Добыча воды, производство продукции предприятиями молочной промышленности

Приведенная на рис. 2 динамика развития оборотных и повторно-последовательных систем водоснабжения предприятиями молочной промышленности за период 2016–2020 гг., указывает о незначительном увеличении объемов использования воды в оборотных системах и снижении объемов воды в повторно-последовательных системах водоснабжения.

Проведенный детальный анализ водопользования с привязкой к видам производимой продукции показал, что наибольший скачок в объемах производимой продукции (на 40 % за период 2016–2022 гг.) и объемах водопользования наблюдается на предприятиях по производству сыров. При этом предприятия по производству сыров зачастую специализируются на производстве сухой или концентрированной сыворотки, цельномолочной продукции (ЦМП), масла, казеина, а также мороженого, т. е. имеют широкий ассортимент производимой продукции помимо производства сыров.

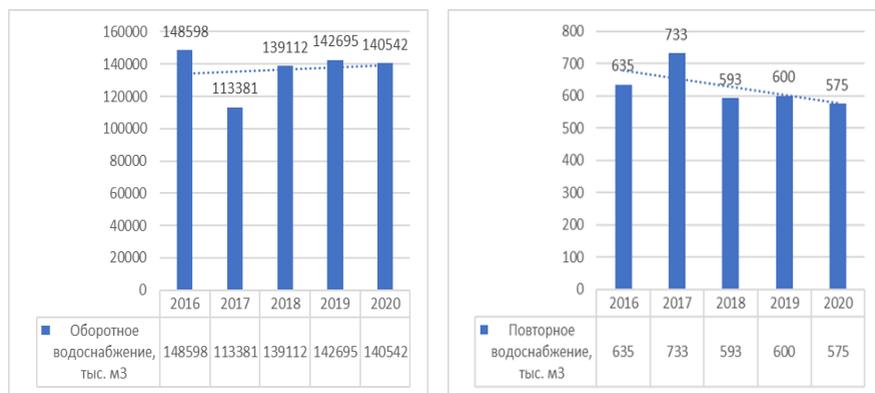


Рис. 2. Развитие оборотных и повторно-последовательных систем водоснабжения

Учитывая тот факт, что на предприятиях по производству сыра наибольшее количество технологических процессов, повторяющихся на более узких производствах, задействовано от начала до завершения процесса наибольшее количество оборудования, детальное изучение водопотребления и водоотведения в увязке с видами производимой продукции, проведено именно на данных предприятиях.

Выявленные пространственно-временные зависимости между видами производимой продукции и объемами водопользования, показали следующее:

1. При производстве сыров и переработке сыворотки индивидуальный технологический норматив водоотведения (далее – норматив водоотведения) всегда будет превышать индивидуальный технологический норматив водопотребления (далее – норматив водопотребления). Разница между нормативом водоотведения и нормативом водопотребления зависит от содержания сухого вещества в концентрированной сыворотке: с увеличе-

нием доли сухого вещества возрастает объем пермеата (при использовании мембранных установок), вторичного пара (при использовании вакуум-выпарных установок), отводимых в сети канализации предприятия.

2. При производстве сыров и отсутствии переработки сыворотки норматив водопотребления всегда будет превышать норматив водоотведения за счет отсутствия сброса пермеата и вторичного пара в сети канализации предприятия. Разница между нормативом водопотребления и нормативом водоотведения будет зависеть от величины потерь воды в технологических процессах.

3. При производстве сыров, переработке сыворотки и производстве ЦМП нормативы водопользования напрямую зависят от производимых видов молочных продуктов: при производстве только ЦМП норматив водоотведения будет меньше норматива водопотребления; при одновременном производстве сыров, ЦМП и переработке сыворотки норматив водоотведения будет всегда превышать норматив водопотребления, разница между нормативом водоотведения и нормативом водопотребления будет зависеть от количества варок сыра в сутки.

За счет выпуска на предприятиях по производству сыров нескольких видов продукции, качественный состав производственных сточных вод на данных предприятиях формируется за счет поступления в сети канализации нескольких потоков сточных вод от различных производственных цехов. Соответственно, для прогнозирования качественного состава производственных сточных вод в целом по предприятию, необходимо располагать данными о содержании загрязняющих веществ в сточных водах в зависимости от видов производимой продукции. В связи с чем, при изучении характеристик производственных сточных вод использовались усредненные данные всей имеющейся информации о качественных показателях, что позволило получить наиболее достоверные результаты.

Концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод значительно изменяются в зависимости от осуществляемых технологических процессов и уровня оптимизации водопользования.

По результатам проведенных РУП «ЦНИИКИВР» лабораторных испытаний среднесуточных проб сточных вод, а также на основании данных, предоставленных предприятиями, сформирован диапазон возможных концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод, образующихся при производстве различных видов молочной продукции. Сводные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрации загрязняющих веществ в производственных  
сточных водах (среднесуточные)

Наименование производ. продукции	Наименование загрязняющего вещества (показателя)					
	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Хлорид-ион, мг/дм <sup>3</sup>	pH
сухие молочные продукты (без сыворотки)	1700–2700	23–65	18–24	1076–1150	45–61	9,1–10,5
сухие молочные продукты и концентрат сыворотки	3800–7600	–	–	–	750–870	4,7–6,5
сыр <sup>1)</sup>	3500–12 700	500–2000	150–540	–	10 300–17 200	5,1–5,6
сыр <sup>2)</sup>	3300–3900	150–230	26–30	1900–4100	140–250	7,4–7,7
казеин	9800–11 500	245–350	–	–	–	9,9–11,5
ЦМП, включая творог	1300–5200	33–105	9–31	200–1500	35–695	4,6–9,7
масло	2800–5800	39–56	–	–	13–40	10–13,0
творог	1400–2300	76–100	–	–	15–19	–

Примечание: 1) качество с учетом сброса излишек сыворотки в канализацию;  
2) качество с учетом переработки сыворотки.

Проведенный анализ водопользования, качественного состава сточных вод показал, что предприятия по производству молочных продуктов характеризуются нестабильными объемами водопотребления и водоотведения, концентрациями загрязняющих веществ в составе сточных вод, что еще раз подтверждает важность проведения научных исследований в данных направлениях в условиях постоянного развития молочной промышленности.

## Литература

1. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс]: Информационные ресурсы на сайте РУП «ЦНИИКИВР». – Электрон. дан. (5 файлов). – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/> – Загл. с экрана.

УДК 502.51:006

### **Учет качественных характеристик питьевой воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения, при нормировании сбросов сточных вод в сети водоотведения (канализации) населенных пунктов**

Голод Ю. В.<sup>1</sup>, Дубенок С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский институт  
комплексного использования водных ресурсов»,  
<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Организациями водопроводно-канализационного хозяйства и жилищно-коммунального хозяйства осуществляется водоснабжение потребителей и абонентов питьевой водой. Качественный состав хозяйственно-бытовых сточных вод, отводимых потребителями и абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, формируется, в том числе, и с учетом качественных характеристик питьевой воды, поступающей в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь.*

Водоснабжение населенных пунктов Республики Беларусь преимущественно осуществляется от централизованных систем водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь, находящихся на балансе (в хозяйственном ведении) организаций водопроводно-канализационного хозяйства (далее – ВКХ) и жилищно-коммунального хозяйства (далее – ЖКХ).

Требования к качеству питьевой воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь регламентированы СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [1].

Лабораториями организаций ВКХ и ЖКХ осуществляется регулярный контроль качества питьевой воды, подаваемой в системы водоснабжения и поступающей далее потребителям и абонентам. По результатам анализа

данных по качественным характеристикам питьевой воды, подаваемой организациями ВКХ и ЖКХ в централизованные сети водоснабжения в ряде населенных пунктов, проведен сравнительный анализ фактических концентраций с предельно допустимыми концентрациями, установленными в [1] (табл. 1).

Таблица 1

Качественные характеристики питьевой воды, подаваемой организациями ВКХ и ЖКХ в централизованные сети водоснабжения населенных пунктов для потребителей и абонентов

№ п/п	Наименование	Предельно допустимая концентрация в питьевой воде [1]	Фактическая концентрация в питьевой воде
1	Аммиак (по азоту), мгN/дм <sup>3</sup>	2	не обнаружен – 1,05
2	Нитрат-ион (по NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	3	не обнаружен – 0,04
3	Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>	45	не обнаружен – 10,1
4	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	не обнаружен – 0,3
5	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	1	не обнаружен – 0,07
6	Хлорид-ион, мг/дм <sup>3</sup>	350	1,5–67,5
7	Сульфат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	500	1,8–34
8	Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм <sup>3</sup>	1000 (1500)	133–355
9	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	5	не обнаружен – 0,069
10	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,002–0,005
11	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,002
12	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,0002
13	Хром (Cr <sup>6+</sup> ), мг/дм	0,05	не обнаружен – 0,005
14	Кобальт, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	не обнаружен – 0,003
15	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,005–0,036
16	ПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,025

В соответствии с данными, представленными в табл. 1, качество питьевой воды, подаваемой в сеть потребителям и абонентам, соответствует установленным требованиям [1], при этом фактические концентрации всех рассматриваемых веществ значительно ниже предельно допустимых концентраций, установленных для питьевой воды [1].

После использования воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды, потребителями и абонентами осуществляется отведение хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод в централизованные системы водоотведения населенных пунктов Республики Беларусь.

Основной объем сточных вод, поступающих через сети канализации на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов, приходится на хозяйственно-бытовые сточные воды, их объем варьирует в широких диапазонах от 25 до 100 % от общего объема сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Хозяйственно-бытовые сточные воды образуются в жилых помещениях, а также в бытовых помещениях объектов промышленности, административных зданий и других объектов в результате удовлетворения личных (бытовых) нужд работников.

В соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» [2], основными загрязняющими веществами и показателями, характерными для хозяйственно-бытовых сточных вод, являются: взвешенные вещества, легко и трудно окисляемые органические загрязняющие вещества по БПК<sub>5</sub> и ХПК, аммоний-ион, азот общий, фосфор общий, минерализация, хлорид-ион, сульфат-ион, СПАВ (анион).

С учетом совместного поступления на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов, производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод, для ряда организаций ВКХ и ЖКХ на выпуске сточных вод в водный объект после очистных сооружений сточных вод населенных пунктов установлены специфические загрязняющие вещества, такие как нефтепродукты, тяжелые металлы (железо общее, медь, цинк, никель, хром и т. д.), формальдегид, фенол.

Наличие специфических загрязняющих веществ в смеси сточных вод в приемной камере очистных сооружений сточных вод населенных пунктов, определяет необходимость, при нормировании производственных сточных вод, отводимых абонентами организаций ВКХ и ЖКХ в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, учитывать содержание специфических загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых сточных вод.

В табл. 2 представлен сравнительный анализ предельно допустимых концентраций веществ и показателей в питьевой воде, предельно допустимых концентраций веществ и показателей в поверхностных водных объектах, установленных в постановлении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов» [3], а также расчетные допустимые концентрации загрязняющих веществ и показателей в составе сточных вод, поступающих в приемную камеру очистных сооружений, с учетом эффективности удаления загрязняющих веществ и показателей в составе сточных вод в процессе биологической очистки, представленные в приложении 3 к [2].

В соответствии с данными табл. 2, предельно допустимые концентрации веществ и показателей в питьевой воде [1] по меди, хлорид-иону, сульфат-иону, цинку, свинцу, никелю, хрому ( $\text{Cr}^{6+}$ ), кобальту, ПАВ, выше расчетных допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе сточных вод в приемной камере очистных сооружений населенных пунктов. Подача в централизованные системы водоснабжения питьевой воды с качеством на уровне предельно допустимых концентраций [1], с учетом требований действующего законодательства в области нормирования сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, может привести к нарушению условий сброса сточных вод в поверхностные водные объекты.

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации вещества и показателей в питьевой воде, в поверхностном водном объекте и расчетные допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод в приемной камере очистных сооружений

№ п/п	Наименование	Предельно допустимая концентрация в питьевой воде [1]	Расчетная допустимая концентрация в составе сточных вод на входе очистных сооружений с учетом эффективности удаления [2]	Предельно допустимая концентрация в поверхностном водном объекте [3]
1	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,5–1,39	0,175–0,485
2	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	1	0,012–0,013	0,0038–0,0045
3	Хлорид-ион, мг/дм <sup>3</sup>	350	300	300
4	Сульфат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	500	100	100
5	Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм <sup>3</sup>	1000 (1500)	1000	1000
6	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	5	0,03–0,075	0,012–0,030
7	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,023	0,014
8	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,057	0,034
9	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,01	0,005
10	Хром ( $\text{Cr}^{6+}$ ), мг/дм	0,05	0,002	0,001
11	Кобальт, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,017	0,01
12	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,17	0,05
13	ПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,29	0,1

Также в сложившихся условиях не допустимо дополнительное поступление данных загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод абонентов организаций ВКХ и ЖКХ в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов.

Учитывая, что качественный состав хозяйственно-бытовых сточных вод, отводимых потребителями и абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, формируется, в том числе, с учетом качественного состава питьевой воды, подаваемой в централизованную систему водоснабжения населенных пунктов, при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов, необходимо учитывать качество питьевой воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения организациями ВКХ и ЖКХ.

Данный подход к нормированию производственных сточных вод абонентов организаций ВКХ и ЖКХ, осуществляющих их отведение в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов Республики Беларусь, предложен автором в рамках диссертационного исследования в разработанной Методике нормирования производственных сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов Республики Беларусь.

### **Литература**

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Утверждены главным государственным врачом Республики Беларусь: в ред. постановлений Главгоссанврача от 09.10.2006 N 119, Минздрава от 14.12.2007 N 164.
2. О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод / Постановление Минприроды № 16 от 26 мая 2017 г. с изменениями от 5 сентября 2019 г.
3. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов / Постановление Минприроды № 13 от 30 марта 2015 г. с изменениями от 30 июня 2021 г.

**Методы водоподготовки с использованием озонирования и сорбции**

Ануфриев В. Н.<sup>1</sup>, Волкова Г. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены методы подготовки воды, забираемой из поверхностных источников водоснабжения, с использованием озонирования и сорбции. При наличии в поверхностной воде, поступающей на сооружения водоподготовки, запахов 3 балла и выше для снижения их интенсивности рекомендуется применять окислительно-сорбционный метод обработки воды.*

Методы обработки воды, состав и расчетные параметры сооружений водоподготовки, расчетные дозы реагентов устанавливаются в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, производительности станции, местных условий, результатов инженерных изысканий, данных эксплуатации объектов-аналогов [1].

В период вегетации диатомового планктона преобладают сине-зеленые водоросли как планктонные, так и бентосные формы, которые выделяют в воду вещества, придающие ей привкусы и запахи. Высокое содержание органических веществ в поверхностных водах фиксируется в период гниения водорослей (июль–сентябрь). Значение показателя перманганатной окисляемости по данным наблюдений в исходной воде поверхностных водоисточников, в том числе, в водохранилищах, в июле–октябре составляет от 7,15 до 12,48 мг/дм<sup>3</sup>. Интенсивность запаха при этом в поверхностных источниках водоснабжения достигает 3–5 баллов. Повышенная окисляемость и цветность воды из поверхностных источников свидетельствуют о наличии в воде гуминовых и фульвокислот.

Слабое цветение водохранилища наблюдается, когда биомасса водорослей находится в пределах от 0,5 до 0,9 мг/л, умеренное, если биомасса – от 1,0 до 9,9 мг/л, интенсивное – от 10,0 до 99,9 мг/л, гиперцветение – больше 100 мг/л. Результатом цветения водохранилища является ухудшение кислородного режима водоема. Вкус и запах воды обусловлены наличием в воде органических веществ растительного происхождения.

Обеспечение требуемого качества питьевой воды определяется правильностью выбранных методов очистки и технологическими режимами работы системы водоснабжения в целом и ее отдельных сооружений.

Озонирование является высокотехнологичным и эффективным способом обеззараживания воды. К преимуществам озонирования относятся [4]:

- уничтожение бактерий, спор и вирусов;
- одновременно с обеззараживанием вода обесцвечивается, устраняются запахи и привкусы, улучшаются органолептические свойства;
- озон не изменяет натуральные свойства воды (его избыток через несколько минут превращается в кислород), и поэтому остаточный озон не вызывает отрицательного действия на организм человека;
- озон неспособен к реакциям замещения (не образуются тригалогенметаны);
- быстрое разложение, даже при некоторой передозировке остаточные количества его не могут быть велики и не требуют устранения;
- при озонировании в воду не вносятся посторонние вредно действующие вещества и не происходит заметных изменений минерального состава воды и ее pH;
- не требуется приобретение сырья, поскольку кислород, необходимый для получения озона, забирается из окружающего воздуха;
- отсутствие возможности чрезвычайные ситуации техногенного характера [4];
- при озонировании для осветления и обесцвечивания природных вод, содержащих естественные органические вещества, в основном неизвестной структуры, а также растворенные желто-коричневые гуминовые вещества, происходит снижение УФ поглощения воды [3].

К недостаткам применения озонирования относятся следующие:

- озонирование не обладает длительным эффектом «последствия» (после введения озон сохраняется в воде всего 30–40 мин);
- озон как сильный окислитель способен переводить трудно окисляемые органические соединения в разряд легко окисляемых, чем создает благоприятные условия для развития микроорганизмов;
- при окислении озоном органических соединений в результате могут образовываться такие вещества, как альдегиды, кетоны и др. [4];
- реакция озона с растворенными органическими веществами в воде не приводит к конечному окислению веществ до углерода, а приводит только к химическому изменению этих веществ путем частичного окисления на более полярные продукты реакции, часто с меньшими молекулярными массами. С другой стороны, окисляемость снижается больше, чем уменьшение растворенного органического углерода, которое несущественно. Таким образом, кислородсодержащие органические соединения во многих

случаях хуже адсорбируются при последующей обработке активированным углем. При этом содержание растворенного органического углерода уменьшается за счет адсорбции и биологического разложения [2].

Для удаления органических веществ, а также снижения интенсивности привкусов и запахов, согласно [1], применяют окисление и последующую сорбцию веществ, осуществляемую путем фильтрования воды через гранулированные активные угли или дозированием их в виде порошка с последующим его задержанием при фильтровании.

При обработке воды активированным древесным порошкообразным углем (ОУ-Б, ТН-90 «Экстра», АУ-ТБ) при подаче его в смесители наблюдается низкая эффективность. В процессе углевания обнаруживаются следующие недостатки:

- при перемешивании угольной пульпы на дне баков формируется слой осадка плотной консистенции (время образования осадка – 7–8 суток толщиной слоя около 1 м);

- происходит засорение трубопровода подачи угольной пульпы от бака приготовления угольной пульпы к насосам-дозаторам;

- требуются расходомеры угольной пульпы;

- присутствие ручного труда для загрузки сухого угля из мешков в бак;

- требуется регулируемая подача пульпы насосом-дозатором;

- угольная пульпа является абразивным веществом, что приводит к частому выходу из строя насоса-дозатора угольной пульпы;

- при снижении уровня пульпы в баке более чем на 1,0–1,5 м на поверхности образуется вихревая воронка, лопасти мешалки захватывают воздух, за счет кавитации возникает повышенная вибрация мешалки, что может привести к ее разрушению;

- задержка угольной пульпы в баке приводит к агломерации частиц угля и ускоренному их оседанию на дне бака и в всасывающем трубопроводе насосов-дозаторов, чему способствует низкая скорость движения пульпы.

Выявленные в процессе работы недостатки способа подачи угольной пульпы в смесители, низкая эффективность применения угольной пульпы для снижения интенсивности и характера запахов исходной воды требуют замены способа сорбционной очистки.

Дозирование угольной пульпы осуществляется на многих объектах водоподготовки в России. С момента начала использования данного способа сорбционной очистки участки углевания претерпели неоднократную модернизацию. Изменено принципиальное решение в части разгрузки, хранения ПАУ и приготовления рабочего раствора угольной пульпы. Применяются специализированные технологические модули контейнерного типа, приготовление угольной суспензии с использованием горячей воды, ис-

пользуется «мокрое» хранение концентрированного раствора угольной пульпы.

Негативные стороны при применении угольной пульпы связаны со сложностями, возникающими при ее последующем отделении. Из-за низкой скорости осаждения в отстойниках порошкового активированного угля, требуется дополнительно увеличивать дозу коагулянта при подаче в смесители, так как в обрабатываемой воде увеличивается содержание взвешенных веществ за счет добавления угольной пульпы. При дальнейшем фильтровании воды на скорых фильтрах происходит кольматация однослойной загрузки фильтров, уменьшается скорость фильтрования. Угольная пыль откладывается на стенках РЧВ и на внутренних поверхностях трубопроводов.

На известных станциях водоподготовки с применением углевания применяются более сложные по конструкции сооружения (например, контактные осветлители), позволяющие задерживать образующиеся хлопья – продукт взаимодействия угля, коагулянта и загрязнений из воды и не допускать их попадания на другие сооружения водоподготовки. Требуемое качество отделения порошкообразного угля достигается за счет вторичного дозирования коагулянта (примерно 0,01 моль/м<sup>3</sup> в расчете на железо или алюминий). Также для эффективного задержания порошкообразного активированного угля могут использоваться многослойные фильтры или мембранные фильтры.

Альтернативным способом сорбционной очистки воды является фильтрование через активированные гранулированные угли, которое применяется при наличии в питьевой воде, согласно требованиям [1], запаха и привкуса более 2 баллов.

Фильтры, изготовленные с применением адсорбционных материалов (активированный уголь в виде гранул, углеграфитовых волокон или углеграфитовых тканей) характеризуются эффективной очисткой воды от свободного хлора, большинства видов органических соединений, коллоидных частиц (гидроксид железа, гуминовые кислоты и др.); практически не удаляют из воды катионы и анионы неорганических веществ; наиболее проверенные, простые, надежные и эффективные устройства для очистки воды от указанных загрязнений при своевременной замене и очистке фильтра [4].

Для снижения привкусов и запахов гранулированной активной уголь применяется в качестве загрузки сорбционных фильтров, размещаемых после осветлительных фильтров или других сооружений, обеспечивающих очистку воды от взвешенных веществ до 1,5 мг/дм<sup>3</sup> согласно [2], [5]. Также возможен вариант применения совмещенных осветлительно-сорбционных фильтров. Высота угольной загрузки определяется, исходя из скорости

фильтрации, м/ч, принимаемой в пределах от 10 до 20 м/ч, и продолжительности фильтрации воды через слой угля. Продолжительность фильтрации воды принимается в пределах от 10 до 15 мин в зависимости от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязняющих веществ в воде и других факторов.

Рекомендуемая интенсивность промывки водой сорбционной загрузки фильтра – 10–15 л/(с·м<sup>2</sup>), ее продолжительность и относительное расширение зависят от типа угля и принимаются на основании результатов технологических исследований. Промывка угольной загрузки производится через 2–3 суток. Расчет сорбционных фильтров производят согласно [5]. Недостаток угольных фильтров – необходимость замены или регенерация активного угля.

Загрузка таких фильтров имеет два варианта исполнения: полностью состоит из активного угля или состоит из угля и материала механической очистки (двухслойная загрузка).

При наличии в исходной воде запахов 3 балла и выше, появляющихся при повышенных концентрациях фитопланктона, при наличии запахов в осветленной воде (кроме хлорного запаха) 3 балла и выше, при наличии в питьевой воде, согласно [2], запаха и привкуса более 2 баллов, следует включить в технологическую схему ступени доочистки воды озонированием и сорбцией путем фильтрации через активированный гранулированный уголь.

Рекомендуется применение озонирования, как резервной системы обеззараживания в виде озонаторов с оборудованием дозирования, камерами реакций, а также фильтров для удаления привкусов и запахов. Подобная типовая технологическая схема реализована на ОАО Мосводоканала, основанная на включении в технологическую схему ступени доочистки озонированием и сорбцией.

### Литература

1. СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», Минск, 2020. – 68 с

2. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества // Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99: утверждены главным государственным врачом Республики Беларусь: в ред. постановлений Главгоссанврача от 09.10.2006 N 119, Минздрава № 164 от 14.12.2007.

3. DVGW Technische Regel Merkblatt W 225 / Juni 2015 Ozon in der Trinkwasseraufbereitung. DVGW, Bonn. –16 s.

4. Метод гигиенической оценки способов обеззараживания воды // Инструкция по применению, утвержденная Заместителем Министра здраво-

охранения – Главным государственным санитарным врачом Жуковой Н.П., 19 декабря 2018 г. – Рег. № 015-1118, Минск.

5. Проектирование сооружений водоподготовки П1-2019 к ТКП 45-4.01– 320– 2018 (33020). – Минск, 2020.–133 с

УДК 504.062 + 628.29

### **Учет погрешности исходных данных при определении размера вреда за сверхнормативное загрязнение водных объектов**

Колобаев А. Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основании проведенных исследований показано, что недостатком действующей системы взимания платы за сверхнормативное загрязнение, т.е. размера возмещения вреда (ущерба), причиненного природным водам сбросом загрязняющих веществ в составе сточных вод, является то, что даже при незначительном превышении нормированной концентрации загрязняющего вещества методикой определения величины вреда не предусматривается учет погрешности регистрируемых исходных данных о концентрациях загрязняющих веществ. Для устранения этого недостатка предлагаются дифференцированные таксы возмещения вреда в зависимости от степени превышения фактической концентрации загрязняющих веществ по отношению к допустимой, с учетом погрешностей измерения фактических концентраций.*

В Республике Беларусь исчисление размера вреда (ущерба)  $D$ , причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ, производится при превышении установленных в разрешении на специальное водопользование допустимых концентраций в сбрасываемых сточных водах. Размер вреда определяется по формуле:

$$D = (\text{ФК} - \text{ДК})Wtb,$$

где  $D$  – размер вреда, бел. руб.;  $\text{ФК}$  – фактическая концентрация  $i$ -го вещества, мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{ДК}$  – допустимая концентрация  $i$ -го вещества, мг/дм<sup>3</sup>;  $W$  – фактический объем сброса сточных вод за время превышения допустимой концентрации, млн м<sup>3</sup>;  $t$  – такса (ставка, тариф) за 1 тонну загрязняющего вещества, сброшенного в водный объект сверх установленных норм сброса, в базовых величинах (от 78 до 2742 за 1 тонну);  $b$  – базовая величина,

действующая в Республике Беларусь во время нарушения водного законодательства (в течение которого имело место превышение допустимых концентраций). В настоящее время базовая величина равна 32 руб.

Общая величина вреда определяется суммированием значений  $D$  по всем загрязняющим веществам, по которым имело место превышение допустимых концентраций. При определении размера вреда таксы и допустимые концентрации заданы, и оценивать их погрешность не имеет смысла. Величина  $t$  утверждается Президентом Республики Беларусь и при расчете принимается согласно приложениям к его указам, например [1]. ДК устанавливаются согласно [2, 3], утверждаются органами Минприроды и включаются в разрешения на специальное водопользование. Величина  $W$  определяется на основании данных о расходах сточных вод, измеряемых со сравнительно высокой достоверностью (максимальная ошибка измерения не превышает 5 %). И лишь при определении величины ФК возможны ошибки, причем существенные. Согласно действующему нормативу [4] погрешность измерения концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод может достигать 30 и более процентов (табл. 1), в результате чего предприятие вынуждено возмещать завышенный ущерб, причиненный окружающей среде сверхнормативным сбросом загрязняющих веществ, а в действительности этого ущерба нет или же он есть, но в меньшем размере. Наличие больших погрешностей, а следовательно, и завышенный размер вреда может существенным образом отразиться на доходах и расходах предприятия. В связи с этим, целесообразно уточнение действующей методики исчисления размера вреда, направленное на учет возможных ошибок в определении фактических концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

Таблица 1

Погрешности методов измерения концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод по приоритетным загрязняющим веществам

Наименование загрязняющего вещества	Допустимая погрешность, %	
	минимальная	максимальная
1	2	3
БПК	1	13
ХПК	7,85	25
Взвешенные вещества	5	20
Нефть и нефтепродукты	25	50
Аммоний-ион	10	30
Медь	25	39
Цинк	15	25

Предлагаемые уточнения к методике расчета вреда (ущерба):

– если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую (установленную в разрешении на специальное водопользование) не больше, чем на минимальную допустимую ошибку определения, то нет оснований считать, что в действительности имело место нарушение водного законодательства; ущерб не определяется, и величина коэффициента принимается равной нулю;

– если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую не больше, чем на среднюю допустимую ошибку определения, то вероятность того, что имело место нарушение водного законодательства, близка к 50 %, и величина понижающего коэффициента принимается равной 0,5;

– если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую не больше, чем на максимальную допустимую ошибку определения, то вероятность того, что имело место нарушение водного законодательства, находится в пределах от 50 % до 100 %, и величина понижающего коэффициента принимается равной 0,75.

Определенные, согласно вышеприведенным положениям, поправочные коэффициенты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты к таксам для определения размера возмещения вреда

Коэффициент	Вероятность погрешности	Значение коэффициента
К <sub>1</sub>	Не превышает минимальной погрешности	0
К <sub>2</sub>	Не превышает средней погрешности, превышая минимальную	0,5
К <sub>3</sub>	Не превышает максимальной, превышая среднюю	0,75
К <sub>4</sub>	Превышает максимальную погрешность	1

При превышении допустимых концентраций более, чем в 100 раз, предлагается увеличение такс на 30 %.

## Литература

1. Указ Президента Республики Беларусь от 24.06.2008 № 348 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 03.12.2010 № 618) «Таксы для определения размера возмещения вреда, причиненного водам сбросом загрязняющего вещества с нарушением требований в области охраны окружающей среды, иного законодательства».
2. Экологические нормы и правила. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. – ЭкоНИП 17.01.06-001.-2017. – Минск, 2017. – 184 с.
3. О порядке установления допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод // Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 16 от 26 мая 2017 г.
4. Реестр методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды: в 3-х частях. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2009.

УДК 628.311:543.31

### **Обеспечение нормативов сброса сточных вод в водные объекты**

Ковалева О. В.<sup>1</sup>, Грузинова В. Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Филиал Белорусского национального технического университета  
«Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки  
кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ»  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены условия обеспечения нормативов сброса сточных вод в водные объекты. Приведен пример работы авторской программы по расчету экономического ущерба от загрязнения поверхностных водных объектов.*

В настоящее время в Республике Беларусь действует Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы, при разработке которой в целях повышения качества предоставляемых населению жилищно-коммунальных услуг, в том числе, была поставлена задача обеспечить очистку сбрасываемых в водные объекты сточных вод в соответствии с требованиями нормативных правовых актов. Механизмами реализации поставленной задачи являются:

– развитие систем централизованного водоснабжения и водоотведения;

- строительство в регионах с учетом экономической эффективности очистных сооружений вместо полей фильтрации;
- замена сетей водоснабжения и водоотведения со сверхнормативными сроками службы.

По данным водного кадастра за предыдущий пятилетний период (2015–2019 годы) сброс сточных вод в водные объекты увеличился с 870 млн м<sup>3</sup> до 1019 млн м<sup>3</sup> [1]. При этом, из видов экономической деятельности по объему сбрасываемых сточных вод преобладают следующие:

- сбор, обработка и удаление отходов;
- сельское, лесное и рыбное хозяйство;
- снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой;
- горнодобывающая и обрабатывающая промышленность.

Доля сточных вод данных видов экономической деятельности составляет 92 % [1].

Наибольшее негативное воздействие на состояние поверхностных водных объектов оказывают недостаточно очищенные сточные воды. Основной объем недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты поступает от предприятий ВКХ, занимающихся сбором, транспортировкой и очисткой сточных вод населенных пунктов.

Сброс недостаточно очищенных сточных вод за данный период снизился с 5,7 млн м<sup>3</sup> до 4,06 млн м<sup>3</sup>. Наибольшие объемы недостаточно очищенных сточных вод сброшены после очистных сооружений централизованных коммунальных систем водоотведения (более 80 % от общего объема), а также после очистных сооружений, находящихся на стадии ввода в эксплуатацию. Снижение сброса недостаточно очищенных сточных вод связано, прежде всего, с проведением планомерных работ по строительству и реконструкции очистных сооружений.

В разрезе речных бассейнов за период 2015–2019 годы наибольшее снижение сброса недостаточно очищенных сточных вод зафиксировано в бассейнах рек Припять, Западная Двина, Западный Буг, где показатель снизился более, чем на 50 %. В бассейне р. Днепр объем сброса недостаточно очищенных сточных вод сократился на 39 %. В бассейне р. Неман отмечено увеличение показателя на 43 %, что связано с неэффективной работой очистных сооружений на предприятиях ЖКХ в том числе: Островецкое РУП ЖКХ, Ошмянское РУП ЖКХ, Новогрудское РУП ЖКХ, Кореличское РУП ЖКХ, Зельвенское РУП ЖКХ) [1].

Сброс недостаточно очищенных сточных вод за аналогичный период (2015–2019 годы) сократился в Брестской, Витебской и Могилевской областях. В Гомельской и Гродненской областях объемы сброса недостаточ-

но очищенных вод увеличились в 7 раз, большей частью за счет предприятий ЖКХ [1].

По результатам многолетних наблюдений приоритетными веществами, превышения нормативов качества воды по которым фиксируются чаще других, являются биогенные (аммоний-ион, нитрит-ион, фосфат-ион) и трудноокисляемые органические вещества (по ХПК<sub>Cr</sub>), большая часть которых попадает в водные объекты со сточными водами предприятий и в результате диффузного загрязнения с прилегающих территорий [1]. Выполненные авторами за 2015–2021 годы работы по расчету нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в составе отводимых сточных вод от различных предприятий Республики Беларусь также свидетельствуют о превышении концентраций биогенных элементов, нефтепродуктов, а также показателей БПК<sub>5</sub> и ХПК<sub>Cr</sub>.

В соответствии со статьей 30 Водного Кодекса Республики Беларусь «К специальному водопользованию относятся ... сброс сточных вод в окружающую среду с применением гидротехнических сооружений и устройств, в том числе через систему дождевой канализации». Специальное водопользование осуществляется на основании разрешений на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешений, выдаваемых территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. В настоящее время действуют Указ Президента Республики Беларусь от 17 ноября 2011 г. № 528 «О комплексных природоохранных разрешениях», Указ Президента Республики Беларусь от 9 марта 2016 г. № 91 о внесении изменений и дополнений в предыдущий указ, на основании которого юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность (планирующие осуществлять деятельность), связанную с эксплуатацией объектов, оказывающих комплексное воздействие на окружающую среду, с 1 января 2016 г. осуществляют указанную деятельность только при наличии комплексных природоохранных разрешений. В разрешениях на специальное водопользование, комплексных природоохранных разрешениях устанавливаются нормативы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод и условия осуществления специального водопользования с целью мониторинга и контроля за состоянием поверхностных водных объектов и изменением этого состояния.

Кроме этого, своевременно выявляются слабые стороны очистных сооружений предприятий (в случае превышения фактических концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах по сравнению с допустимыми степень удаления загрязняющего вещества в процессе очистки сточных вод признается недостаточной), что позволяет разработать страте-

гию повышения эффективности очистки сточных вод и разработать мероприятия по снижению нагрузки на поверхностные водные объекты.

В данном случае также возможно просчитать величину убытков от загрязнения водных объектов загрязняющими веществами. Приведем пример работы, созданной авторами данной статьи в сотрудничестве с другими исследователями программы по расчету экономического ущерба от залпового или установившегося сброса загрязняющих веществ водные объекты. В частности, выберем загрязнение водоема в результате залпового сброса нефтепродуктов с учетом категории водного объекта, изменения базовой величины (БВ), а также принятых мер по ликвидации последствий загрязнения (рис. 1).

Для успешного расчета экономического ущерба от загрязнения водных объектов нефтепродуктами (при определении объемов сброса балансовым путем) необходимы следующие исходные данные:

- БВ на момент выставления иска;
- категория водного объекта;
- время ликвидации аварии;
- количество сброшенных нефтепродуктов;
- количество собранных нефтепродуктов.

	V	C	D	E	F	G
1	<i>Исходные данные</i>					
2	Наименование объекта	Водоканал				
3	Базовая величина на момент проведения отбора				32	
4	Базовая величина на момент согласования методики				27	
5						
6	Категория водного объекта					
7	Поверхностные водоемы и водостоки, используемые для хозяйственного водоснабжения населения					
8	Загрязняющее вещество	Вид выброса				
9	Нефтепродукты (балансовый)	Залповый выброс				
10	Время ликвидации аварии, ч				18	
11	Сброшено нефтепродуктов		5,2			
12	Собрано нефтепродуктов		4,7			
13						
14						
15						

Рис. 1. Пример ввода исходных данных в программу

После выбора в листе «Исходные данные» загрязняющего вещества «Нефтепродукты (баланс)» вносятся или выбираются из перечня исходные данные. Расчеты и внесение полученных результатов в лист производятся автоматически после нажатия вкладки «Иск (баланс)» (рис. 2).

№	В	С	Д	Е	Р	Г	Н	И
4	<b>РАСЧЕТ</b>							
5	суммы подлежащей взысканию							
6	за сверхнормативное загрязнение водного объекта							
7	<b>Водоканал</b>							
8	Исходные данные							
9	Исходные данные							
11	Вид выброса						Затопный выброс	
12	Время ликвидации аварии (Т), ч						18	
13	Сброшено нефтепродуктов (Р), т						5,2	
14	Собрано нефтепродуктов (АР), т						4,7	
15	Процент собранных нефтепродуктов (α), %						90,4	
16	Коэффициент снижения величин убытка при принятии мер по ликвидации последствий загрязнения, $K_{\text{л}}$						0,500	
17	Категория водного объекта ( $K_{\text{кат}}$ )						1,1	
18	БВ, руб						27	
19	БВ в расчетный период, руб						32	
21	<b>Расчет</b>							
23	Согласно методики							
25	$Z^2 = 18335$ руб.							
26	Величина убытков с учетом категории объекта и изменения БВ							
28	$У_{\text{б}} = 1,1 \times \frac{32}{27} \times 18335 = 23903,4$ руб.							
29	Величина убытков с учетом принятых мер по ликвидации последствий загрязнения							
31	$У_{\text{б.сч}} = 23903,4 (1 - (90,4/100) \times 0,5) = 13099$ руб.							
33								
34								
35								
36								

Рис. 2. Автоматический расчет иска

Для сохранения благоприятной экологической обстановки, предотвращения загрязнения поверхностных водных объектов недостаточно очищенными сточными водами в Водном кодексе Республики Беларусь закреплены базовые принципы по сбросу сточных вод, к основным из них относятся:

– сброс сточных вод в поверхностные водные объекты допускается, если содержание загрязняющих веществ в них не превышает установленных разрешениями на специальное водопользование или комплексными природоохранными разрешениями нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод;

– при невозможности обеспечить допустимую концентрацию загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты через систему концентрации канализации населенных пунктов, концентрации этих веществ подлежит снижать за счет устройства локальных очистных сооружений;

– для возводимых или реконструируемых объектов не допускается сброс сточных вод всех видов в озера и непроточные водоемы и в водотоки, которые впадают в озера и непроточные водоемы, на расстоянии менее 1 километра от таких водоемов;

– сброс всех видов сточных вод с использованием рельефа местности (оврагов, карьеров, балок), а также на избыточно увлажненные территории (болота) не допускается.

### Литература

1. Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы // Экологический доклад по стратегической экологической оценке по проекту государственной программы. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2020. – 135 с.

УДК 628.14:628.214

#### **Расчет устойчивости на взвешивание железобетонных труб при производстве тампонажа цементно-песчаным раствором**

Михневич Э. И., Развенкова А. Ю.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Предложена поэтапная технология тампонажа железобетонных труб цементно-песчаным раствором: на первом этапе траншея заполняется раствором до глубины  $h$ , при которой взвешивающая сила равна весу трубы, разработана методика расчета этой глубины; на втором этапе после затвердения цемента раствором верхнюю часть пространства вокруг трубопровода.*

В процессе эксплуатации железобетонных труб, уложенных в специальные траншеи или по дну водного объекта, может произойти повреждение трубопровода. Одним из способов реновации поврежденного трубопровода является тампонаж железобетонной трубы цементно-песчаным раствором [1, 2]. Однако, чтобы предотвратить всплывание трубы под действием взвешивающего давления раствора, необходима балластировка трубопровода для закрепления его в траншее специальными упорами или с использованием различных типов навесных утяжелителей, располагая их равномерно по длине трубы чрез 1,5–2 м.

Другим, менее трудоемким и более экономичным способом является балластировка трубопровода путем поэтапного заполнения траншеи раствором. Зная глубину раствора  $h$ , при которой взвешивающая сила равна весу трубы, можно рекомендовать технологию подачи раствора в два этапа, обеспечивающую устойчивое положение трубы. На первом этапе подают раствор до глубины  $h$ , а затем выдерживают раствор до затвердения в течение 12–24 часов; при применении ускорителей твердения это время

можно сократить до 1–2 часов. Затем на втором этапе, после того как раствор затвердел, приступают к заполнению раствором оставшейся части пространства вокруг трубопровода. При этом устойчивость трубы будет обеспечена за счет увеличения суммарной массы бетона и дополнительного сцепления грунта с бетоном.

Для практического применения данной технологии сложной задачей является определение глубины раствора  $h$ , при которой взвешивающая сила равна весу трубы. Ниже приводится разработанная нами методика ее расчета.

На рис. 1 представлено поперечное сечение железобетонной трубы с параметрами, которые используются в расчетах: внутренний диаметр  $D_{вн}$ , внутренний радиус  $r$ , наружный радиус  $R$  и толщина стенки  $\delta$ , длина хорды  $a$ , глубина погружения трубы в раствор  $h$ .

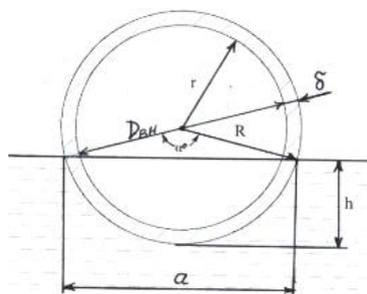


Рис. 1. Поперечное сечение железобетонной трубы, погруженной в раствор

Вначале определяют объем железобетонных стенок трубы по формуле

$$V_{ст} = \pi L (R^2 - r^2), \quad (1.1)$$

где  $L$  – длина трубы, м;  $R$  и  $r$  – соответственно наружный и внутренний радиусы трубы, м.

Далее находят массу железобетонной трубы

$$m_{жб} = \rho_{бет} V_{ст}, \quad (1.2)$$

где  $\rho_{бет} = 2500 \text{ кг/м}^3$  – плотность бетона.

Объем трубы по наружному контуру определяют по формуле

$$V_{тр} = \pi L R^2, \quad (1.3)$$

Труба, загерметизированная по торцам, при ее погружении в цементно-песчаный раствор будет испытывать подъемную силу. В соответствии с законом Архимеда подъемная сила на погруженное тело равна весу жидкости в объеме, вытесненного телом:

$$P_z = \rho_p g V_{\text{тр}}, \quad (1.4)$$

где  $\rho_p = 1800 \text{ кг/м}^3$  – плотность цементно-песчаного раствора;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $V_{\text{тр}}$  – объем трубы по наружному контуру,  $\text{м}^3$ .

Сила сопротивления взвешиванию трубы равна ее весу

$$G_T = \rho_{\text{бет}} g V_{\text{ст}} H, \quad (1.5)$$

где  $V_{\text{ст}}$  – объем стенок трубы,  $\text{м}^3$ .

Соответственно масса цементно-песчаного раствора, создающего взвешивающую силу на трубу, будет  $m_z = P_z / g$ , а масса железобетонной трубы  $m_{\text{тр}} = G_T / g$ .

Затем сравнивают полученные значения подъемной силы  $P_z$  и силы сопротивления  $G_T$ . Если  $P_z < G_T$ , то труба не будет взвешиваться архимедовой силой. Если  $P_z > G_T$ , соответственно  $(m_z - m_{\text{тр}}) > 0$ , то труба взвешивается, и тогда решают задачу, при какой глубине  $h$  наполнения траншеи раствором взвешивающая сила будет равна весу трубы (рис. 1).

Площадь сегмента, ограниченного хордой  $a$ , определяют по формуле

$$S_{\text{сегм}} = \frac{R}{2} (\alpha - \sin \alpha^0), \quad (1.6)$$

где  $\alpha$  – радианная мера дуги,  $\alpha = \frac{\pi \alpha^0}{180^0}$ .

Взвешивающая масса раствора равна массе раствора в объеме, занимаемом сегментом, т. е.

$$m_{\text{сегм}} = \rho_p V_{\text{сегм}}, \quad (1.7)$$

где  $m_{\text{сегм}}$  – масса раствора сегмента, кг;  $V_{\text{сегм}}$  – объем сегмента,  $\text{м}^3$ .

Очевидно, что сегмент трубы будет в равновесии, если масса раствора сегмента будет равна массе железобетона трубы, т. е.  $m_{\text{сегм}} = m_{\text{жб}}$ . Так как

для трубы длиной в 1 п. м значение объема сегмента  $V_{\text{сегм}}$  и площадь сегмента  $S_{\text{сегм}}$  численно совпадают, то можно записать равенство

$$m_{\text{сегм}} = \rho_p S_{\text{сегм}} = m_{\text{жб}}, \quad (1.8)$$

откуда получим

$$S_{\text{сегм}} = \frac{m_{\text{жб}}}{\rho_p}, \quad (1.9)$$

Из формулы (1.6) для площади сегмента можно найти значение  $(\alpha - \sin \alpha^0)$ :

$$(\alpha - \sin \alpha^0) = \frac{2S_{\text{сегм}}}{R^2}, \quad (1.10)$$

откуда определяют градусную меру дуги  $\alpha^0$ .

Искомую глубину раствора  $h$  находят по формуле

$$h = 2R \sin^2 \left( \frac{\alpha^0}{4} \right), \quad (1.11)$$

Длину хорды  $a$  можно определить по формуле

$$a = 2R \sin \left( \frac{\alpha^0}{2} \right). \quad (1.12)$$

Результаты расчетов устойчивости на взвешивание железобетонных (ж/б) труб различных диаметров, длиной  $L = 5$  м, сведены в табл. 1 и 2, где приведены значения глубины  $h$  наполнения траншеи раствором (на первом этапе рекомендуемой технологии) соответственно при толщине стенки трубы  $\delta = 0,007$  м и  $\delta = 0,10$  м.

Для облегчения расчетов по определению значения глубины раствора  $h$  построены графики зависимости отношения  $D_{\text{вн}} / h$  от  $D_{\text{вн}}$  при толщине стенок  $\delta = 0,07$  м и  $\delta = 0,10$  м (рис. 2).

Таблица 1

Устойчивость ж/б труб на взвешивание с толщиной стенки  $\delta = 0,07$  м

Параметры	Внутренний диаметр $D_{\text{вн}}$ , мм					
	300	400	500	600	750	900
Глубина раствора $h$ , м	0,30	0,32	0,34	0,35	0,38	0,39
Хорда $a$ , м	0,41	0,53	0,64	0,74	0,88	1,0
Градусная мера дуги $\alpha^0$	222	200	187	175	163	152
Подъемная сила $P_z$ , Н	13 420	20 218	28 253	37 965	54 926	75 046
Сила сопротивления $G_T$ , Н	9933	12 630	15 328	18 050	22 122	26 119
Масса раствора $m_z$ , кг	1368	2060	2880	3870	5600	7650
Масса трубы $m_{\text{тр}}$ , кг	1010	1287	1560	1840	2260	2660
Масса сегмента 1 п. м трубы $m_{\text{сегм}}$ , кг	200	260	310	370	450	530
Площадь сегмента трубы $S_{\text{сегм}}$ , м <sup>2</sup>	0,110	0,140	0,174	0,204	0,251	0,296

Таблица 2

Устойчивость ж/б труб на взвешивание с толщиной стенки  $\delta = 0,10$  м

Параметры	Внутренний диаметр $D_{\text{вн}}$ , мм					
	300	400	500	600	750	900
Глубина раствора $h$ , м	0,42	0,43	0,45	0,47	0,49	0,52
Хорда $a$ , м	0,37	0,54	0,67	0,79	0,95	1,1
Градусная мера дуги $\alpha^0$	264	232	213	200	184	173
Подъемная сила $P_z$ , Н	17 305	24 986	31 784	44 145	62 582	83 876
Сила сопротивления $G_T$ , Н	15 451	19 252	23 054	26 978	32 741	38 504
Масса раствора $m_z$ , кг	1,76	2,55	3,24	4,50	6,38	8,55
Масса трубы $m_{\text{тр}}$ , кг	1,58	1,96	2,35	2,75	3,34	3,93
Масса сегмента 1 п. м трубы $m_{\text{сегм}}$ , кг	0,32	0,39	0,47	0,55	0,67	0,79
Площадь сегмента тру- бы $S_{\text{сегм}}$ , м <sup>2</sup>	0,175	0,218	0,261	0,306	0,371	0,436

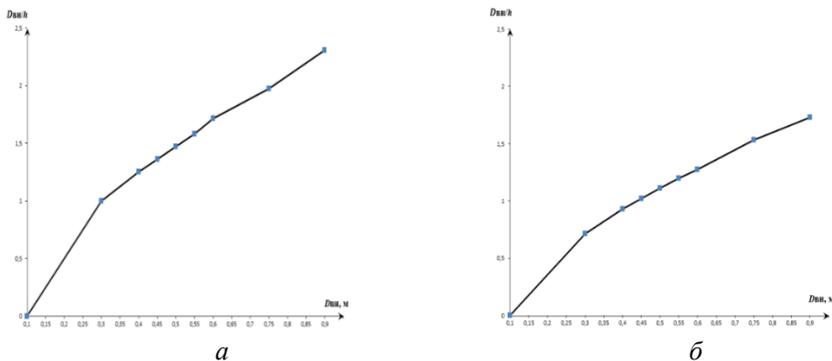


Рис. 2. График зависимости  $D_{вн} / h = f(D_{вн})$ :  
 $a - \delta = 0,07$  м;  $б - \delta = 0,10$  м

### Литература

1. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / под ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – Л.: Стройиздат, 1988. – 383 с.

2. Михневич, Э. И. Водопроводные сети: учебное пособие / Э. И. Михневич, С. В. Андreyuk. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 256 с.

УДК 504.453/556.53

### Теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию размещения водорегулирующих гидротехнических сооружений на реке Уборть Лельчицкого района Гомельской области

Корнеев В. Н., Титов К. С., Булак И. А.

Республиканское унитарное предприятие

«Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Минск, Республика Беларусь

*Выполнен анализ гидрологического режима реки Уборть, проведены экспедиционные полевые исследования, разработана цифровая модель рельефа прилегающей местности и математическая модель реки Уборть. Проведены многовариантные гидравлические расчеты для естественных условий гидрологического режима реки Уборть и с учетом обоснования размещения на реке Уборть в русле реки четырех водоподпорных гидро-*

*технических сооружений с регулируемыми водосливными отверстиями для пропуска наносов и миграции рыб.*

В последнее десятилетие влияние изменения климата на водные ресурсы стало особенно значимо, о чем свидетельствуют значительное снижение водности и уровней воды водотоков в период летне-осенней межени по результатам регулярных гидрологических наблюдений в Республике Беларусь.

Особенно критическое снижение уровней воды в меженный период в маловодные годы наблюдается и на реке Уборть в Лельчицком районе Гомельской области, что снижает возможности использования реки в целях рекреации для населения и туристов, а также вызывает беспокойство на всех уровнях, включая уровень Правительства Республики Беларусь.

Для решения проблемы снижения уровня воды в реке Уборть, по поручению Совета Министров Республики Беларусь от 04.04.2019 №15/3-Г-105 создана соответствующая межведомственная рабочая группа по рассмотрению вопроса о снижении уровня воды в реке Уборть. Для снижения негативного влияния изменения климата на стоковый и уровенный режим реки Уборть межведомственная рабочая группа рекомендовала проведение научных исследований по оптимальному размещению водоподпорных гидротехнических сооружений.

Схема водосбора реки Уборть на территории Республики Беларусь приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема водосбора реки Уборть на территории Республики Беларусь

Данные мероприятия необходимы для регулирования водного режима водотоков с целью сохранения и улучшения экологического состояния реки, а также сохранения и накопления влагозапасов на территориях их

водосборов. Для обоснования водорегулирующих мероприятий на реке Уборть выполнен анализ гидрологического режима реки Уборть на территории Беларуси с определением расчетных гидрологических характеристик с использованием ТКП 45-3.04-168-2009 [1]. Проведены экспедиционные полевые исследования реки Уборть, разработана цифровая модель рельефа прилегающей местности.

Разработана математическая модель реки Уборть, которая основана на численном решении уравнения неравномерного движения воды [2]. Для расчетов неравномерного движения принимаются гидрологические данные по расходам воды заданных вероятностей превышения в характерных створах реки Уборть с учетом гидрологической информации по реке Уборть на территории Украины. Математическая модель включает в себя рассчитанные для всех 52-х поперечных сечений реки Уборть морфометрические и гидравлические параметры для десяти характерных уровней, которые определяются с использованием [3, 4]. С использованием данной математической модели проведены многовариантные гидравлические расчеты для естественных условий гидрологического режима реки Уборть и с учетом обоснования водорегулирующих мероприятий при различных расходах воды в реке заданной вероятности превышения ВП (обеспеченности).

По результатам выполненной НИР разработан и обоснован перечень (комплекс) водорегулирующих мероприятий на реке Уборть в пределах ее водосбора на территории Республики Беларусь для регулирования стока, включая местоположение и основные характеристики водоподпорных гидротехнических сооружений (ГТС) с учетом оценки влияния мероприятий на гидрологический режим водотока.

Перечень (комплекс) водорегулирующих мероприятий на реке Уборть в пределах ее водосбора на территории Республики Беларусь для регулирования стока включает предложения по размещению на реке Уборть в русле реки четырех водоподпорных гидротехнических сооружений с регулируемыми водосливными отверстиями для пропуска наносов и миграции рыб ниже следующих населенных пунктов: н. п. Боровое; н. п. Марковское; г. п. Лельчицы; н. п. Краснобережье. Схема местоположения створов размещения водоподпорных гидротехнических сооружений с участками распространения подпора от них приведена на рис. 2.

Разработаны зоны затопления прилегающих территорий водосбора реки Уборть при реализации водорегулирующих мероприятий на основании результатов многовариантных гидравлических расчетов для пяти гидрологических сценариев – для максимальных среднемесячных расходов воды весеннего половодья 1 % ВП, 5 % ВП, 10 % ВП, 25 % ВП и максимальных среднемесячных расходов воды дождевых паводков 10 % ВП.



Рис. 2. Схема местоположения створов размещения водоподпорных гидротехнических водорегулирующих сооружений на реке Уборть

Для каждого водоподпорного гидротехнического сооружения при уровне воды в реке Уборть ниже предлагаемого гребня плотины водосливное отверстие перекрывается, за исключением периода нереста – с 1 марта по 20 июня. При уровне воды в реке выше предлагаемого гребня плотины водосливное отверстие открыто. Пример поперечного сечения реки Уборть с размещением предложенного ГТС приведен на рис. 3.

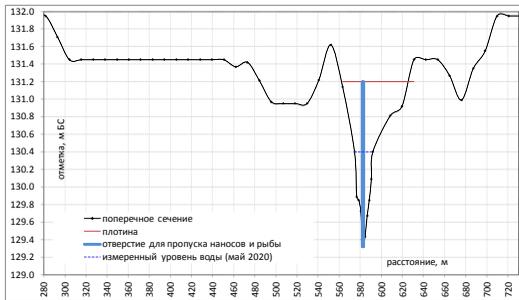


Рис. 3. Схема размещения водоподпорного гидротехнического сооружения (плотины с водосливным отверстием) на реке Уборть в створе ниже г. п. Лельчицы

Предложенный режим компоновки ГТС и их функционирования с учетом повышения водности реки Уборть в маловодные и в очень маловодные периоды и обеспечения гидрологического режима реки максимально близкого к естественному гидрологическому режиму обосновывает инновационный характер предложенных ГТС.

Не менее важным фактором, оказавшим влияние на негативное изменение гидрологического режима реки Уборть, является антропогенное воз-

действие на реку Уборть, связанное с возможностями управления ее гидрологическим режимом на территории Украины за счет аккумуляции (удержания) части стока в маловодные и очень маловодные периоды на своей территории в верхнем бьефе водохранилища Лопатичи у н. п. Лопатичи Олевского района. При этом на территории Беларуси может происходить значительное сокращение стока реки Уборть и снижение уровней воды в реке, что также обуславливает упреждающие меры по накоплению и удержанию стока реки на территории Беларуси.

На снижение уровней воды в среднем и в верхнем течении реки Уборть на территории Беларуси в маловодные и очень маловодные периоды могли также повлиять результаты спрямления ее русла в нижнем течении – в районе г. п. Лельчицы и ниже н. п. Краснобережье русло реки искусственное, перенесено и сформировано заново, в целях защиты территорий от затоплений и сплава леса. При этом на новых и спрямленных участках реки произошли значимые увеличения продольных уклонов русла реки, что способствует более быстрому течению, как на самих этих участках, так и притоку на них с расположенных выше участков. Однако количественную оценку влияния спрямления на гидрологический режим реки Уборть для маловодных и очень маловодных условий, так же, как и «возврат» к старому руслу реки Уборть, в настоящее время сделать практически невозможно в связи с фактической деградацией старого русла спустя много лет после спрямления.

Реализация водорегулирующих мероприятий на реке Уборть с целью ее дополнительного обводнения в маловодные и очень маловодные периоды путем размещения водоподпорных гидротехнических сооружений может рассматриваться как одно из первых в Республике Беларусь мероприятий по адаптации водных ресурсов к изменению климата.

### Литература

1. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 55 с.
2. Справочник по гидротехнике. – М., 1955. – С. 85.
3. Рогунович, В. П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков / В. П. Рогунович. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 263 с.
4. Станкевич, А. П. Уточнение коэффициентов шероховатости для системы водотоков бассейна р. Припяти / А. П. Станкевич // Проблемы Полесья. – 1982. – Вып. 8. – с. 149–155.

**Отдельные вопросы автоматизации процессов водоснабжения  
на примере автоматизированной системы управления  
технологическим процессом первого подъема водозабора № 7 «Волма»  
УП «Минскводоканал»**

Романова А. С.<sup>1</sup>, Бабич Н. А.<sup>1</sup>, Цыбин И. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Коммунальное унитарное производственное предприятие  
«Минскводоканал»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На примере работы по комплексной автоматизации водозабора № 7 «Волма» УП «Минскводоканал» рассмотрены задачи, поставленные перед организациями, оказывающими услуги водоснабжения по обеспечению высокой надежности и качеству водоснабжения, а также предложены некоторые решения по улучшению.*

Ключевыми задачами, стоящими перед организациями, оказывающими услуги водоснабжения (как питьевого, так и технического), являются:

- обеспечение высокой надежности, бесперебойности и качества водоснабжения потребителей и абонентов;
- снижение затрат при оказании услуг.

В современном мире решение данных задач невозможно без проведения комплексной автоматизации объектов водоснабжения с обеспечением перехода на энергоэффективные технологии как в оборудовании, так и программном обеспечении.

Комплексная автоматизация объектов водоснабжения позволяет внедрять эффективные инструменты по решению имеющихся задач за счет:

- рациональной организации технологических режимов с оптимальной загрузкой технологического оборудования, за счет чего происходит увеличение ресурса технологического оборудования и сетей;
- улучшения качества контроля состояния технологического оборудования и контроля технологических параметров;
- обеспечения оперативной передачи предупреждений и аварийной информации на диспетчерский пункт для своевременного предупреждения и локализации инцидентов, а также предотвращения аварийных ситуаций;
- сокращение удельных затрат электроэнергии на подъем и подачу воды и др.

Данные векторы заложены в основных программных документах, таких как «Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального

хозяйства до 2025 года» [1] и «Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» [2], ориентирующих на развитие интеллектуальной экономики в Республике Беларусь, обеспечивающей при целевых инвестициях в модернизацию технологий усиление их инновационности.

Схема добычи и подачи воды, реализованная на водозаборе № 7 «Волма», имеет свои особенности и в значительной степени отличается от «классической».

Источниками воды для водозабора № 7 «Волма» являются собственные артезианские скважины и вода, поступающая по напорному водоводу непосредственно в РЧВ от насосной станции второго подъема другого водозабора.

Насосная станция второго подъема водозабора № 7 «Волма» обеспечивает водоснабжение п. Городище, подачу воды для нужд трех водозаборов (наполнение их РЧВ), непосредственно обеспечивающих водоснабжение отдельных районов г. Минска.

На момент начала работ по комплексной автоматизации работа станций первого подъема осуществлялась на базе систем управления, разработанных более 20 лет назад. Управление работой осуществлялось по контрольному кабелю, проложенному в грунте без резервного канала связи. Пуск насосов осуществлялся напрямую от сети, анализ совместной работы скважин проводился начальником водозабора и специалистами производства, регулирование производительности каждой станции могло осуществляться только с использованием запорно-регулирующей арматуры, что приводило к большим временным и трудовым затратам, снижало эффективность работы оборудования. Регулирование общей производительности первого подъема осуществлялось выбором и включением в работу необходимого числа скважин.

Эксплуатируемое насосное оборудование и запорно-регулирующая арматура требовали обновления.

Все это обусловило необходимость к проведению работ по модернизации данного объекта. Для чего в 2018 году было начато прединвестиционное проектирование. Замысел и основные аспекты предстоящей модернизации были отражены в техническом задании на разработку предпроектной документации и технических требованиях «Автоматизированная система управления технологическим процессом водоснабжения. Комплексная автоматизация технологических процессов водозабора № 7 «Волма».

В ходе прединвестиционного проектирования были выполнены инженерные изыскания, включающие в себя:

- обследование объектов модернизации;

– замеры фактических параметров работы оборудования и оценка эффективности его работы;

– исследование потенциала энергосбережения на объекте эмпирическим путем, а также путем математического моделирования.

Для дальнейшей объективной оценки были выделены мероприятия энергосбережения, повышения эффективности и технического перевооружения, определен бюджет и рассчитаны сроки окупаемости.

После утверждения результатов прединвестиционного проектирования была проведена разработка строительного проекта и непосредственно его реализация.

Важным аспектом при разработке строительного проекта стало уточнение фактических удельных дебитов с последующим повторным моделированием и корректировкой требуемых напорно-расходных характеристик скважинных насосных агрегатов, устанавливаемых взамен действующих на тот момент.

Уточнение фактических удельных дебитов проводилось путем обвязки/дооснащения скважины пьезометрическими трубками по схемам, изложенным доктором технических наук, профессором Ивашечкиным В. В. [3]. Применение данных схем показало свою простоту, надежность, достоверность. По мере проведения плановых работ основные скважины всех водозаборов были дооборудованы пьезометрическими трубками.

При модернизации объекта были реализованы следующие мероприятия:

1. В части повышения энергетической эффективности:

– замена существующих насосных агрегатов на более эффективные с синхронными двигателями и частотными преобразователями;

– внедрение АСУ ТП, содержащей современные интеллектуальные методы и алгоритмы управления скважинами, обеспечивающей информационную полноту дистанционного контроля технологических параметров, а также управление производительностью скважин для обеспечения функций энергосбережения, среди которых:

а) групповое управление скважинами с целью минимизации энергопотребления;

б) прогнозирование потребности в добыче воды с учетом текущего расхода второго подъема, уровня воды в РЧВ и астрономического календаря.

2. В части повышения эффективности и технического перевооружения:

– замена более 15 единиц запорно-регулирующей арматуры в камерах переключений на сборных водоводах диаметрами 500, 600, 800 мм на затворы, соответствующие современным требованиям;

- установлены электроприводы на существующие затворы (требующие дистанционного управления);
- организован дистанционный съём индивидуальных показаний с водомеров скважин;
- обеспечен контроль давления на сборных водоводах;
- перед резервуарами чистой воды организован технический учет воды, приходящий от насосной станции второго подъема другого водозабора;
- реализован технический учет воды, поступающий в резервуары чистой воды от сборных водоводов (собственные артезианские скважины);
- усилен контроль над несанкционированным доступом в павильоны скважин;
- выполнена замена электросилового оборудования в павильонах скважин;
- для повышения надежности применены GSM-модемы (с двумя независимыми операторами связи), сохранена существующая система в качестве аварийного резерва, добавлено резервное рабочее место, позволяющее управлять работой и контролировать состояние оборудования (сенсорная панель оператора).

Результаты достигнутого энергетического эффекта приведены в табл.

Таблица

Удельные расходы электроэнергии на первом подъеме Водозабора № 7  
«Волма» за 2018–2022 годы

Месяц	Наилучший удельный расход за 2018–2021 гг.	Удельный расход за 2021–2022 гг.	Замены насосного оборудования от планируемого объема, %	Снижение удельного расхода, %
январь	0,2766	0,2252		22,8
февраль	0,2833	0,2259		25,4
март	0,2842			
апрель	0,2866			
май	0,2855			
июнь	0,2806			
июль	0,2761	0,2459	31,8	12,3
август	0,2836	0,2349	38,6	20,7
сентябрь	0,2795	0,2141	29,6	30,6
октябрь	0,2768	0,2169		27,6
ноябрь	0,2808	0,2285		22,9
декабрь	0,2759	0,2191		25,9

Замена насосных агрегатов и их ввод в эксплуатацию выполнены в период с июля по сентябрь 2021 года.

Как мы видим, комплексная автоматизация водозабора № 7 «Волма» заняла больше четырех лет (от замысла до ввода в эксплуатацию и получения эффекта). По результатам комплексной автоматизации водозабора №7 «Волма» были достигнуты все проектные показатели, получен колоссальный опыт по проектированию и проведению работ на действующем объекте водоснабжения без ограничения водоснабжения и обеспечения высокого качества оказываемых услуг.

### Литература

1. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года [Электронный ресурс] / Информационно-аналитическая система «Пех». – 2017. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/159729>. – Дата доступа: 29.03.2022.

2. Постановление Президиума Национальной академии наук Беларуси 26.02.2018 № 17[Электронный ресурс] / Официальный сайт Национальной академии наук Беларуси. – 2018. – Режим доступа: [https://nasb.gov.by/congress2/strategy\\_2018-2040.pdf](https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf). – Дата доступа: 29.03.2022.

3. Методика анализа фактического технического состояния скважинного насосного оборудования / В. В. Ивашечкин [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – № 3.– С. 275–286.

УДК 629.735

### **Концептуальный подход к модернизации локальных повысительных насосных станций в системах водоснабжения г. Минска**

Суворов И. В.<sup>1</sup>, Гук П. С.<sup>1</sup>, Цыбин И. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Коммунальное унитарное производственное предприятие «Минскводоканал»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Количество объектов третьего подъема, находящихся в хозяйственном ведении УП «Минскводоканал», достигло 440 объектов. Даже при полной замене их инженерной инфраструктуры (при ежегодном количестве модернизируемых объектов в 15 шт.) следующего подхода данные объекты будут дожидаться порядка 30 лет. Все это обусловило необходимость к проработке комплексного подхода к модернизации данного ти-*

*на объектов с учетом высоких требований к надежности и долговечности применяемых решений*

По состоянию на март 2022 года количество объектов третьего подьема, находящихся в хозяйственном ведении УП «Минскводоканал», достигло 440 объектов. На предприятии принято их разделять на локальные повысительные насосные станции (далее – ЛПНС) и районные повысительные насосные станции (далее – РПНС), в зависимости от мощности объекта и зоны водоснабжения.

Если задуматься, то в составе каждого такого объекта имеется своя инженерная инфраструктура – запорно-регулирующая арматура, контрольно-измерительные приборы и автоматика, насосные агрегаты, трубопроводы, кабели питания и связи, различное электрооборудование и т. д.

Умножая эту инженерную инфраструктуру на количество объектов, получаем более 1500 единиц насосных агрегатов, более 13 000 единиц запорно-регулирующей арматуры, более 440 вводных устройств и 550 шкафов автоматики.

Вся эта инженерная инфраструктура задействована в обеспечении водоснабжением более 3300 высотных жилых домов, 460 административных зданий (больницы, поликлиники, банки, рынки, школы, детские сады, торговые центры, магазины и т. д.) и 245 ЦТП.

Одними из ключевых задач, согласно «Концепции совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года», [1] являются:

- обеспечение высокой надежности и качества водоснабжения потребителей и абонентов;
- снижение затрат при оказании услуг.

Поддержание в надлежащем санитарно-техническом состоянии такой обширной инженерной инфраструктуры требует системного подхода как в вопросах текущей эксплуатации, так и его реконструкции и модернизации.

Абсолютно понятно, что точечными заменами или ремонтами обеспечить надежное и бесперебойное функционирование данной инфраструктуры практически невозможно, тем более на продолжительном отрезке времени. Ведь даже при полной замене всей инженерной инфраструктуры ЛПНС или РПНС (при ежегодном количестве модернизируемых объектов в 15 шт.) следующего подхода данные объекты будут дожидаться порядка 30 лет.

Все это обусловило необходимость к проработке комплексного подхода к модернизации данного типа объектов с учетом высоких требований к надежности и долговечности применяемых решений.

Для чего в 2018 году было начато прединвестиционное проектирование. На момент начала работ были выбраны 8 ЛПНС для отработки технических решений, подходов в данном направлении, а также последующей оценки полученных результатов.

Замысел и основные аспекты предстоящей модернизации были отражены в техническом задании на разработку предпроектной документации, технических требованиях к строительству ПНС, технических требованиях «Диспетчеризация объектов. Контроль наличия питающего напряжения. Контроль качества питающей электрической сети на объектах УП «Минскводоканал»» и др.

В ходе прединвестиционного проектирования были выполнены инженерные изыскания, включающие в себя:

- обследование объектов модернизации, совместная с проектной организацией оценка технического состояния;
- замеры фактических параметров работы оборудования и режимов водоснабжения в различных характерных периодах;
- оценку эффективности работы существующего насосного оборудования;
- исследование потенциала энергосбережения и подбора насосных агрегатов.

В развитие положений стратегии развития инженерной инфраструктуры, включенной в генеральный план г. Минска [2], было принято решение об установке на одном из объектов автоматизированного прибора экспресс-анализа качества воды на выходе из насосной станции.

Для дальнейшей объективной оценки были выделены мероприятия энергосбережения и технического перевооружения (повышения надежности и долговечности), определен бюджет и рассчитаны сроки окупаемости.

После утверждения результатов прединвестиционного проектирования в 2019 году была проведена разработка строительного проекта и непосредственно его реализация.

Важным аспектом при прединвестиционной проработке стали требования по выбору и разработке оптимального варианта модернизации ЛПНС с проведением маркетинговых исследований на предмет определения наилучших показателей энергосбережения и минимальной стоимости технологической схемы, с учетом замены насосных агрегатов, трубной обвязки, запорно-регулирующей арматуры и установки расходомеров.

К рассмотрению приняты следующие варианты:

- 1) для комплектной повысительной насосной установки;
- 2) для отдельных насосных агрегатов;
- 3) для трубной обвязки из полиэтилена;

4) для трубной обвязки из нержавеющей стали с последующей изоляцией.

Формирование технических характеристик насосного оборудования велось на основании маркетинговых исследований при условии конкурентной среды среди производителей. Технические характеристики, указанные в задании на закупку, должны соответствовать не менее чем двум различным производителям оборудования, представленном на рынке Республики Беларусь

При модернизации объекта были реализованы следующие мероприятия:

1. По повышению энергетической эффективности:

- замена существующих насосных агрегатов на более эффективные с синхронными двигателями и частотными преобразователями;
- внедрена интеллектуальная система автоматизации и управления;
- для исключения гидроударов и улучшения работы насосов при минимальном расходе предусматривается устройство мембранных баков (различного объема в соответствии с проектными расчетами и техническими возможностями по его установке). Дальнейший анализ работы показал, что на отдельных объектах в ночное время насосные агрегаты находятся в отключенном состоянии без работы на протяжении 4–5 часов.

2. По техническому перевооружению (повышения надежности и долговечности):

- для глубокого резерва сохраняется один существующий насосный агрегат (находящейся в наилучшем техническом состоянии) вместе с арматурой, который подключается к проектируемым трубопроводам ПНС;
- основные технологические трубопроводы выполнены из коррозионностойкой пищевой стали. На всех трубопроводах предусматривается трубчатая изоляция из вспененного каучука толщиной 20 мм.
- в наивысших точках трубопроводов предусматривается устройство автоматического воздухоотводчика;
- для предотвращения вибрации и шума установлены компенсаторы на всасывающем и напорном трубопроводах, насосные агрегаты размещены на рамах с резиновыми вставками для гашения вибраций;
- где была необходимость, восстановлена работоспособность дренажной системы и обустроены технологические приямки;
- для опорожнения трубопроводов установлены спускные краны;
- реализован технический учет подаваемой воды (установлены электромагнитные расходомеры);
- установленное ВУ обеспечивает передачу сигналов в АСКУЭ УП «Минскводоканал» (для коммерческого учета на вводах устанавливаются счетчики прямого включения,) внедрен АВР с функцией автоматического

возврата на основной ввод, контролем напряжения на вводах и передаче состояния на диспетчерский пункт;

- выполнено заземление технических устройств, датчиков, шкафов, экранов кабелей, корпусов ОП и шин логических нулей приборов и др. в соответствии с действующими ТНПА;

- установлены светильники с энергосберегающими лампами белого света;

- реализована возможность подключения переносного автономного электрогенератора;

- усилен контроль над несанкционированным доступом в здание насосной станции;

- установлены электроконвекторы для отопления помещений насосной станции в отопительный период с установкой аппаратуры для интеллектуального поддержания температуры в различные время суток.

Модернизация ЛПНС проводилась в границах существующих зданий, не затрагивая несущих конструкций, без снижения существующих характеристик и показателей конструктивных элементов и инженерных систем.

Результатами энергетического эффекта стало снижение расхода электрической энергии с 378 826 кВт·ч в 2019 году до 78 677 кВт·ч в 2020 году. Снижение потребления электрической энергии составило более чем в 4,5 раза. (отдельно по объектам от 2 до 17 раз).

Работы по модернизации 8-ми ЛПНС были окончены в декабре 2019 года.

Как мы видим, отработка технических решений, подходов в данном направлении, а также последующая оценка полученных результатов заняла без малого три года (от замысла до ввода в эксплуатацию и получения эффекта).

По результатам модернизации 8 ЛПНС были проработаны все аспекты для формирования комплексного подхода к модернизации данного типа объектов с учетом высоких требований к надежности и долговечности применяемых решений, достигнуты все проектные показатели, получен необходимый опыт по проектированию и проведению работ на действующем объекте водоснабжения без ограничения водоснабжения и обеспечения высокого качества оказываемых услуг.

В последующем были запроектированы и на момент написания статьи находятся на разной стадии строительной готовности 19 ЛПНС и 11 РПНС.

В целях устойчивого развития и обеспечения высоких стандартов работы, УП «Минскводоканал» ведется дальнейшее проектирование для модернизации объектов третьего подъема.

## Литература

1. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года [Электронный ресурс] / Информационно-аналитическая система «Илех». – 2022. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/159729>. – Дата доступа: 29.03.2022.

2. Указ Президента Республики Беларусь от 23.04.2003 №165 «Об утверждении генерального плана г. Минска и некоторых вопросах его реализации» (с изм. И доп.) [Электронный ресурс] / Официальный сайт УП «Минскградо». – 2022. – Режим доступа: <http://www.minskgrado.by/documents/pdf>. – Дата доступа: 30.03.2022.

УДК 628.543

### **Исследование эффективности работы статических смесителей и разработка малозатратных установок для смешения реагентов со сточными водами**

Урецкий Е. А.<sup>1</sup>, Мороз В. В.<sup>2</sup>, Дарманян А. П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Беорусский государственный проектный институт  
Витебск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь,

<sup>3</sup>Волгоградский государственный аграрный университет  
Волгоград, Российская федерация

*Проведено исследование эффективности работы статических смесителей ресурсосберегающей установки для предварительного смешения реагентов со сточными водами и эффективного проведения процесса хлопьеобразования. При широком спектре расходов сточных вод и реагентов, они приближаются к идеальным смесителям, обеспечивая степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод не менее 95 %.*

Перемешивание – одна из технологических операций, широко применяемых в химической промышленности для осуществления различных физических процессов, и служащая для выравнивания полей концентраций и температур, и зачастую определяющая скорость протекания этих процессов, поскольку в этом случае оказывает влияние не только на скорость процесса, но и на качество очистки.

В химической промышленности широко используют аппараты с механическими мешалками. Состояния предварительной смешанности можно добиться в таких аппаратах с помощью специальных мер [1, 2], но при этом необходимо обеспечить высокие скорости вращения мешалки, что

приводит к значительному усложнению конструкции. В связи с этим, важное значение приобретают малые по объему смесители, в которых для перемешивания реагентов используется кинетическая энергия потоков.

Широкое использование статических смесителей в промышленности ограничено из-за отсутствия методических материалов по их расчету. Теоретическое описание перемешивания реагентов представляет значительные трудности, а систематических экспериментальных исследований пока недостаточно. Вследствие этого, на базовом предприятии ОАО «Брестский электромеханический завод» (БЭМЗ) для проведения исследований по работе статических смесителей была смонтирована установка, показанная на рис. 1.

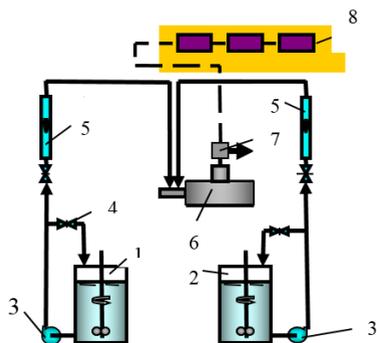


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а. с. на изобретение № 160616):  
1, 2 – емкости для реагентов; 3 – насосы; 4 – вентили; 5 – ротаметры;  
6 – смеситель; 7 – кондуктометрическая ячейка; 8 – система для замера электропроводности

Установка состоит из статического смесителя непрерывного действия, в который из емкостей 1 и 2 с помощью насоса 3 подаются растворы реагентов (едкого натрия и ацетилацетата). Расход реагентов регулируется с помощью вентилей 4 и регистрируется с помощью ротаметра 5.

Растворы реагентов поступают в смеситель, перемешиваются и вступают в химическое взаимодействие, а затем проходят кондуктометрическую ячейку 7 и поступают в сборную емкость, из которой периодически сливаются. Электропроводность смеси, а вместе с ней и степень превращения реагентов регистрируются с помощью измерительной системы. Параллельно с замером электропроводности брали пробы реакционной массы. Степень превращения определялась методом потенциометрического

титрования. Температура смеси в аппарате фиксировалась с помощью термомпары и потенциометра.

Смеситель представляет собой аппарат объемом 110 см<sup>3</sup>. Он состоит из цилиндрического корпуса диаметром 64 мм, закрытого с обеих сторон крышками, и снабженным тангенциальным патрубком и двумя штуцерами для подачи реагентов. Для вывода смеси используется осевой отводящий патрубок. Перемешивание реагентов в статическом смесителе осуществляется за счет турбулизации потока во всем объеме смесителя.

Структура потоков в аппарате исследовалась путем анализа кривых отклика на импульсное возмущение. По одному из штуцеров в аппарат подавалась дистиллированная вода с постоянным расходом. Затем с помощью шприца в поток вводился раствор хлористого натрия. Момент ввода отмечался на ленте самописца. Электропроводность выходящего потока регистрировалась с помощью измерительной системы и фиксировалась на ленте самописца. Измерения прекращались, когда уровень электропроводности падал до значений, соответствующих дистиллированной воде. Был произведен перевод кривых распределения времени пребывания (РВП) в безразмерные координаты. Затем вычислялись значения интегральной функции РВП. Полученные данные представляли в полулогарифмических координатах.

Для исследования процесса микроперемешивания реагентов использовалась известная и хорошо изученная реакция омыления ацетата. Данная реакция является гомогенной реакцией второго порядка.

Возможность применения малых концентраций химических реагентов ( $C_0 = 0,01-0,25$  моль/л), а также протекание химического превращения при комнатных температурах обеспечили широкое применение данной реакции для изучения процесса перемешивания в химических реакторах.

При изучении микроперемешивания использовали следующую методику: в емкости заливали растворы реагентов с требуемой начальной концентрацией, затем тарировали ротаметры по каждому потоку, после чего подавали оба реагента через смеситель.

На выходе через определенные интервалы времени брали пробы реакционной массы. Реакция в пробе останавливалась раствором щавелевой кислоты, избыток которой потом оттитровывался раствором щелочи. Эксперимент повторялся 2–3 раза, а расчет степени превращения вещества  $X_B$  осуществлялся как среднее в нескольких (трех-четырёх) параллельных опытах, что позволило достигать точности 0,5–1,0 % по  $X_B$ .

В опытах варьировались начальные и конечные концентрации реагентов, расходы и соотношения реагентов, скорости истечения реагентов из сопел, температура смеси. При любых технологических условиях соблю-

далось требование, что средние значения концентраций реагентов по всему объему смесителя равны между собой,  $C_{A0} = C_{B0}$ .

Результаты исследований, представленные на рис. 2 и 3, показали, что во всем диапазоне изменения расходов потоков реагентов структура потоков в статическом смесителе соответствует модели идеального перемешивания. Таким образом, с точки зрения структуры потоков, изменение нагрузок не сказывается на характеристиках аппаратов.

Исследования на модельной реакции в том же диапазоне изменения нагрузок показали, что эффективность работы в данном случае оценивалась по степени превращения вещества  $X_B$ , достигаемой на выходе из аппарата.

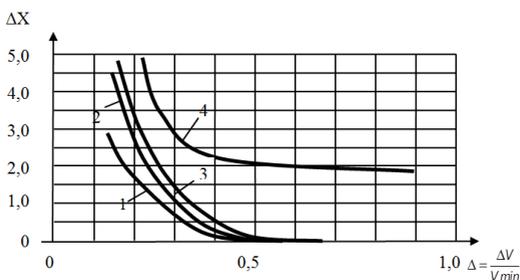


Рис. 2. Зависимость отклонения экспериментальной степени превращения от теоретической ( $X$ ) от относительной скорости истечения струй:

1 –  $Da = 0,2$ ; 2 –  $Da = 0,4$ ; 3 –  $Da = 0,5$ ; 4 –  $Da = 0,6$

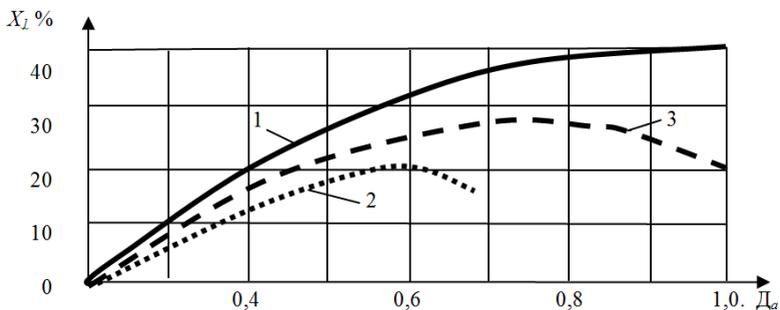


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований зависимости степени превращения от числа Дамкеллера:

1 – ( $C_{B0} = 0,200$  моль/дм<sup>3</sup>; 2 –  $C_{B0} = 0,127$  моль/дм<sup>3</sup>) – равные расходы, расчетные для модели идеального перемешивания;  
3 –  $C_{B0} = 0,200$  моль/дм<sup>3</sup> – разные расходы

Как видно на рис. 2, при увеличении  $D_a$  до 0,5, эффективность работы смесителя возрастает при любых соотношениях расходов реагентов. При увеличении числа  $D_a$  степень превращения, а следовательно, эффективность падает.

По мере уменьшения  $D_a$ , влияние  $\Delta$  на эффективность несколько падает (рис. 3), но характер кривых сохраняет свой вид. По оси ординат на рисунке 2 отложена разность между рассчитанным по интегралу Данквертса значением степени превращения и ее экспериментальным значением.

В продолжение работ по конструированию статических смесителей авторами статьи была разработана малозатратная, энергосберегающая установка для предварительного смешения реагентов и эффективного проведения процесса хлопьеобразования, защищенная патентом на полезную модель ВУ 4810 [3], которая обеспечивает предварительное смешение реагентов со сточными водами до 90 % в защищенном патентом устройстве для проведения физико-химических процессов [4].

Как показали исследования, степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод при последовательном прохождении их через входной тангенциальный патрубок в верхнюю зону устройства – не менее 95 %.

Практически совокупность этих стадий перемешивания при широком спектре расходов стоков и реагентов приближается к идеальному смесителю.

Исходя из вышеизложенного, следует, что для обеспечения эффективной работы смесителей необходимо обеспечить следующие условия:  $D_a = 0,4$ ;  $\Delta = 4-5$ ; использование статических смесителей предложенной конструкции позволит интенсифицировать процессы перемешивания химических реагентов; полученные данные можно использовать при проектном расчете статических смесителей.

### Литература

1. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий / Е. А. Урецкий. – Брест: БГТУ, 2007. – 396 с.
2. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий / Е. А. Урецкий. – Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 с.
3. Вихревой аппарат: пат. 4810 Респ. Беларусь / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Е. И. Дмухайло; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № u20080317; заявл. 16.04.2008; опубл. 04.08.2008 / Гос. реестр полезн. моделей.
4. Устройство для проведения физико-химических процессов: пат. 10812 / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. –

№ u20150099; заявл 26.01.2015; опубл. 19.03.2015 / Гос. реестр полезн. моделей.

УДК 628.16

### **Особенности использования метода упрощенной аэрации подземных вод для напорных установок**

Ющенко В. Д.<sup>1</sup>, Велюго Е. С.<sup>1</sup>, Рашкевич Е. И.<sup>2</sup>, Ершова Е. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Витебское областное унитарное предприятие «Витебскоблводоканал»  
Витебск, Республика Беларусь

*Описаны результаты исследований, проводимых на модельных лабораторных и напорных фильтрах существующих станций обезжелезивания Витебской области. Представлены результаты экспериментов и выводы по удалению железа и сопутствующих загрязнений из подземных вод с различной интенсивностью подачи воздуха в фильтры.*

На выбор метода обработки подземной воды влияет ее исходный состав из скважин, отсутствие учета или завышенные нормы водопотребления, неудовлетворительный гидравлический режим работы всей системы водоснабжения, что является проблемой [1].

Объектом исследования являются подземные воды ряда малых населенных пунктов Полоцкого, Городокского, Россонского и Сеннинского районов Витебской области.

В Витебской области насчитывается 6249 сел и деревень (2018 г.), причем 81,6 % от этого общего числа имеют население до 50 человек, в том числе 1800 поселений – до 10 человек [2]. В большей части из них уже имеются централизованные системы водоснабжения.

Водоснабжение населенных пунктов водой для хозяйственно-питьевого назначения основано на вскрытии соответствующих подземных водоносных горизонтов путем устройства неглубоких скважин, обычно до 90 м.

Анализ проб воды Витебского региона на содержание микроэлементов показал, что в 80 % проб воды из скважин наблюдается повышенная концентрация железа, Метод упрощенной аэрации в напорном варианте используется для большинства станций водоподготовки малых населенных пунктов при местном превышении железа в исходной воде свыше 0,3 мг/дм<sup>3</sup> [3, 4].

Цель данной работы – изучить особенности применения метода упрощенной аэрации подземных вод для напорных установок небольшой производительности (50–300 м<sup>3</sup>/сут).

**Методология исследования.** Установки малой производительности, работающие по методу упрощенной аэрации, состоят из напорных фильтров, систем аэрации и обеззараживания, коммуникаций и промывных устройств.

Загрузка фильтров представляет собой песок или модифицированные материалы высотой 0,8–1,5 м, исходя из фракционного состава. Подача воздуха на окисление железа производится эжекторами или компрессором.

Опыт применения данного варианта является в основном положительный, если загрязнителем подземной воды является только железо, которое может быть в присутствии малых концентраций сопутствующих загрязнений (например, марганец и аммоний) [4].

Для проведения экспериментов были подобраны объекты, в скважинах которых состав воды практически одинаков (табл.), кроме общего железа, которое может быть в присутствии марганца, органических соединений, том числе азотсодержащих веществ и сероводорода. Остальные микроэлементы находятся в воде в незначительных количествах.

На исследуемых объектах построены и эксплуатируются напорные станции водоподготовки, использующие метод упрощенной аэрации. По разным причинам, при эксплуатации станций водоподготовки были получены превышения нормативные значения по железу и аммонийному азоту.

Было принято решение, не меняя технологическую схему обработки, провести экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях по установлению зависимости снижения железа и аммонийного азота от степени насыщения в пределах соотношения 1–6 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> исходной воды.

На первом этапе были проведены опыты в лабораторных условиях со скоростью фильтрации 7 м/ч на фильтре диаметром 50 мм. Насыщение воздухом на всех объектах производилось от установленных компрессоров, а в случае эжекторов, микрокомпрессором типа Rocket 420.

Для определения концентраций железа и аммонийного азота были использованы экспресс методы с использованием фотометров типа Milwaukee MW14 и Ammonium Testcolorimetric. Концентрация кислорода в обработанной воде измерялась прибором марки Hanna HI 9142.

**Экспериментальные исследования.** Эксперименты по обработке подземных вод на станциях водоподготовки проводились в летне-осенние периоды 2021 г.

Таблица

Основные показатели артезианских подземных вод в скважинах  
исследуемых объектов

Наименование показателей	Средние значения показателей воды в скважинах исследуемых объектов в районах Витебской области				
	СанПиН 10.124-99	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4
1	2	3	4	5	6
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	1,8	2,0	3,0	2,7
Цветность, градусы	20	10–15			
Запах, привкус, баллы	2	3			
Величина рН	6–9	7,3	7,2	7,4	7,3
Минерализация общая, мг/дм <sup>3</sup>	1000	220	230	280	260
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	7,0	5,4	4,8	6,2	6,0–6,1
Окисляемость перманганатная, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,0	3,7	3,5	4,1	5,0
Хлориды (Cl <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	350	22,1	16,7	14,0	10–20
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	500	27	23	25	21
Железо (Fe <sup>0</sup> ) общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	1,5	2,1	4,3	4,8
Марганец (Mn <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,11	0,12	0,03	0,1
Аммонийный азот (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	2,0	0,3	0,7	3,5	4,3
Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	2,0	0,3	0,1	0,1	0,4
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	45	5,3	3,7	2,0	3,8
Сероводород (H <sub>2</sub> S), мг/дм <sup>3</sup>	0,05	Отсутствует			

Объекты: № 1 – н. п. Вархи Городокский район; № 2 – н. п. Новое село Сенинский район; № 3 – н. п. Жерносеки Полоцкий район; № 4 – н. п. Соколице Россонский район

После окончания лабораторных исследования была проведена проверка процесса фильтрования в производственных условиях. На объектах 1 и 2 стабильные нормируемые результаты по концентрации общего железа были получены при соотношении воздуха и воды более (3,5–4):1. На объектах 3 и 4 – соотношение (5–6):1 по общему железу, но не получены необходимые результаты по аммонийному азоту.

В этом случае желательно использовать перед фильтрами установку аэрационной колонны гидравлического типа или кольцами Паля с подачей воздуха от компрессора или эжектора, что значительно улучшает процесс

удаления железа до нормативных значений, но для азотной группы эта величина может быть не достигнута.

Применение вместо песка сорбентов типа АС или аналогичных других загрузок в фильтрах, дает стабильный высокий эффект удаления железа  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  и менее, а также снижения аммония до  $1,5\text{--}2 \text{ мг/дм}^3$  при его исходной концентрации не более  $3\text{--}4 \text{ мг/дм}^3$ .

Результаты экспериментов представлены на рис. 1–3 (указаны средние значения).

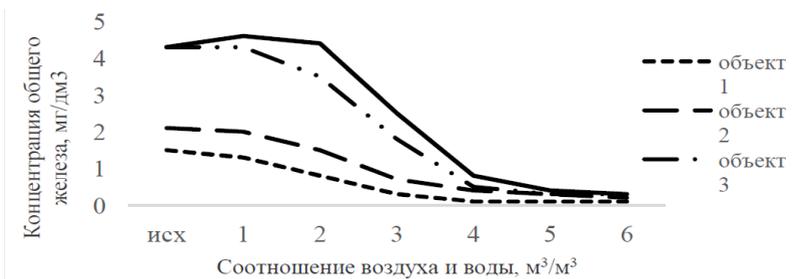


Рис. 1. График изменения концентрации «железо общее» в очищенной воде



Рис. 2. График изменения концентрации аммонийного азота в очищенной воде

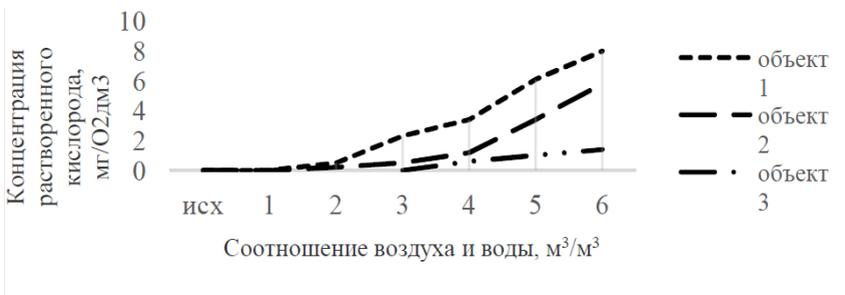


Рис. 3. График роста концентрации растворенного кислорода в очищенной воде

**Выводы.** По результатам проведенных экспериментов установлено, что для станций рассматриваемого ряда по производительности до 300 м<sup>3</sup>/сут подачу воздуха при обработке подземной воде в фильтрах можно производить компрессором или эжектором. Но в последнем случае необходимо обеспечить более равномерную работу фильтров.

При содержании в исходной воде железо до 5 мг/дм<sup>3</sup>, аммонийного азота до 0,7 мг/дм<sup>3</sup> метод упрощенной аэрации с использованием эжекторов или компрессоров и последующим фильтрованием на песчаных фильтрах в результате водоподготовки дает положительный нормативный результат. Концентрация аммонийного азота практически остается равной исходной величине или снижается незначительно,

При содержании аммонийного азота свыше 2,0 практически только незначительная часть кислорода воздуха расходуется на окисление железа, при этом даже при соотношении 6:1 в фильтрах с песчаной загрузкой не решается задача снижения концентрации азотной группы, прежде всего аммония, до нормативных значений.

### Литература

1. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1978. – 160 с.
2. Витебск: Отчет по регионализации на примере конкретных ситуаций: программа по водному сектору в Республике Беларусь, 2-й этап: Регионализация / Витебское областное коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал», Европейский банк реконструкции и развития. – 2018. – 89 с.
3. Ющенко, В. Д. Особенности совместного удаления железа и аммонийного азота из подземных водоисточников в сооружениях напорного

типа / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго, Т. В. Козицин, К. Г. Петренко // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования: сборник научных трудов. – Калининград, 2018 – с. 98–108.

4. Рашкевич, Е. И. Основные технологические решения вариантов водоподготовки для небольших объектов водоснабжения / Е. И. Рашкевич, В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго // Региональные проблемы природно-техногенных систем: сб. науч. трудов. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020 – С. 74–85.

УДК 628.11

### **Совершенствование системы водоснабжения города Самарканд**

Якубов К. А.

Самаркандский государственный  
архитектурно-строительный институт  
Самарканд, Республика Узбекистан

*В статье приводятся материалы исследования существующей системы водоснабжения г. Самарканд, проведен анализ возможных вариантов водозаборных сооружений, а также обоснование самотечной системы водообеспечения г. Самарканда.*

Город Самарканд расположен в центральной части Республики Узбекистан в центре Зеравшанской долины на левом берегу р. Заравшан и является административным, культурным и туристическим центром Самаркандской области. Численность населения города на 1 января 2022 г. с прилегающим к городу сельским населением, получающим воду из городской сети, составляет 550 тыс человек. С учетом перспективного развития города, количество жителей к 2030 году составит 1,0 млн человек.

Климат г. Самарканда резко континентальный. Температурный режим характеризуется сравнительно высокими показателями. Максимальная температура 45°C отмечается в июле, а минимальная, минус 24°C – в январе. Среднегодовая температура воздуха – 12–14 °C. Рельеф территории г. Самарканда понижается с юго-востока на северо-запад. Абсолютные отметки изменяются от 750 м на юго-востоке до 650 м – на севере и северо-западе (рис.).

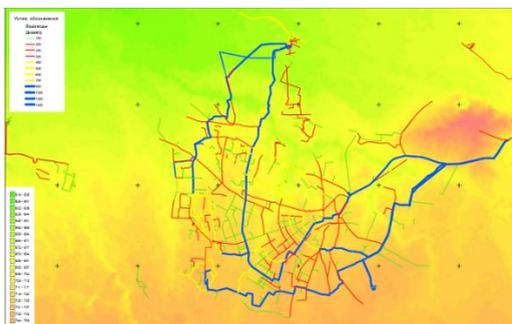


Рис. Схема сетей водоснабжения г. Самарканд с рельефом

Восточная часть города отличается большой расчлененностью рельефа в связи с наличием естественных водотоков с крутыми обрывистыми берегами.

Застройка города смешанная: многоэтажная, одноэтажная и индивидуальная с приусадебными участками. Многоэтажная застройка располагается в основном в западной части города в районах улиц Гагарина и Нарпайской (жилой район Согдиана), микрорайонах «А» и «Б», а также в юго-западной части города (жилой район «Саттепо»). В последние годы на карте города появились новый жилой микрорайон Карасув и деловой туристический центр «Самарканд-Сити».

По геологическому строению район города сложен лессовидными суглинками, переслаивающимися линзами песка и гравия мощностью от 2 до 40 м. Грунты по всей территории города разнообразны по степени проницаемости. По сейсмическому районированию территория города относится к 8-ми бальной зоне. Грунтовые воды залегают в основном на глубине более 10–20 м. Питание грунтовых вод происходит за счет подземного притока со стороны р. Заравшан и р. Карадарья, а также за счет инфильтрации вод орошения и атмосферных осадков.

Основной водной артерией района г. Самарканда является р. Заравшан. Из нее берут начало крупные оросительные каналы: Даргом, Туятартар, Булунгур и др. Основными водозаборными сооружениями хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Самарканда являются водозаборы: Чупаната, Дагбит, Багибаланд, Фарход, Хишрав и Химики. Основным источником формирования запасов подземных вод для водозаборов Чупаната, Дагбит, Багибаланд и Фарход является река Зерафшан. В восточной стороне Самарканда река Зерафшан делится на два притока: Акдарья и Карадарья. Во-

дозаборные сооружения расположены на расстоянии 4–8 км от города в пойме реки Зеравшан.

Примерно 300 000 м<sup>3</sup>/сут воды г. Самарканд получает от водозаборов Чупаната и Дагбит. Согласно геологической структуре, Самарканд расположен на плодородной земле. Согласно рельефу, структура меняется. Уровень подземных вод обычно находится на глубине 10–20 м. Подземная вода на территории водозаборов обычно поддерживается количеством атмосферных осадков, реками Зарафшан, Карадарья и Акдарья, а также ирригационными каналами.

Нынешняя численность населения города и поселков составляет приблизительно 550 тыс человек (январь 2022 г.) согласно сведениям, предоставленным статистический управлением Самарканда. Общее прогнозируемое население города и поселков, а также соответствующее среднее водопотребление, показаны в табл.

Таблица

Оценка населения численности и водопотребления [1]

Годы	Оценка численности населения (статистическое управление)	Прогнозируемое среднее водопотребление (м <sup>3</sup> /сут · чел.)
2010	496 000	300
2015	527 000	276
2020	559 000	250
2025	590 500	230
2030	1 000 000	215

Рельеф территории г. Самарканда – резко выраженный, с явным уклоном с юго-востока на северо-запад. Перепад высот при этом составляют около 100 м.

Водоснабжение города Самарканда всецело базируется на подземных водах долины р. Зеравшан. Обеспечение питьевой водой города Самарканд осуществляется в основном за счет инфильтрационных подземных вод. Основные водозаборы «Чупан-Ата» и «Дагбит» расположены в пойме реки Зарафшан. Из-за сложности географического рельефа города вода подается тремя и четырьмя подъемами.

Сначала вода из скважин подается в резервуары чистой воды водозаборных сооружений, там же обеззараживается (хлорируется) и далее насосными станциями второго подъема подается в город. В городе расположен один распределительный узел Мульон и 6 станций подкачек. В го-

роде функционируют также три малых водозаборных сооружения. Основные показатели качества воды на водозаборах соответствуют ГОСТ [2].

Следует отметить резкие колебания как расхода, так и уровня воды в реке Зарафшан, связанные с сезонностью таяния ледников, что оказывает влияние на работу водозаборных сооружений. Понижение уровня воды за месяцы с марта по июнь резко снижает приток инфильтрационных вод к скважинам. Поэтому в эти периоды из-за низкого дебита предприятие вынуждено включать в работу большее количество скважин. Это приводит к соответствующему увеличению энергопотребления и себестоимости воды.

Основными водопотребителями являются: население, промышленные предприятия, организации, учреждения, общественные и коммунальные объекты. Кроме того, вода расходуется частично на полив зеленых насаждений города, противопожарные и прочие нужды города.

Застройка города смешанная: многоэтажная, одноэтажная и индивидуальная с приусадебными участками. Многоэтажные застройки располагаются в основном в западной части города в районах по ул. Гагарина и Нарпайская, микрорайоне Согдиана, микрорайонах «А» и «Б», а также в юго-западной части города – жилком районе «Саттепо». Эти микрорайоны застроены, в основном, 6–9-этажными зданиями. Данные жилые массивы (примерно 35 % населения) получают воду по графику в течении 8 часов (по 4 часа утром и вечером). Причиной тому является сложный рельеф и большая удаленность точек водоразбора. По отношению к водозаборам, диктующие точки находятся на удалении 16–18 км, и геодезически они выше на 70–100 м. Другой важной причиной являются высокие водоразборы на магистральных линиях частными домами для полива садов и огородов. Это приводит к существенному снижению давления в сети. Центральная часть города имеет здания высотой в 4–5 этажей, но большая часть территории города застроена одно- и двухэтажными индивидуальными домами [3].

Согласно действующему Правилу, оплата за электроэнергию осуществляется по одно- и двуставочному тарифам. Оплата по одноставочному тарифу производится по показаниям счетчика. Двуставочный тариф применяется при установленной мощности более 750 кВА, и оплата по нему производится по максимальным показаниям счетчиков. К таким объектам относятся водозаборные сооружения Чупан Ата, Дагбит, распределительный узел Мульон, которые потребляют 95 % электроэнергии. Оплата по двуставочному тарифу действует в часы максимального потребления электроэнергии, которые, к сожалению, совпадают с часами максимального потребления воды. Экономический анализ 2017 и 2018 годов показал, что удельные расходы электроэнергии в среднем составили 0,91 и 0,87 кВт/м<sup>3</sup>.

Было исследовано существующее и предполагаемое развитие города до 2030 г. Были изучены три варианта с целью определить предпочтительный, обеспечивающий среднесуточный расход 205 100 м<sup>3</sup>/сут водой из водозаборов Дагбит, Чупан-Ата, Богибаланд, Хишрау, Кимегорлар (Химики 28 и 29) и Фархад, и проведено сравнение с технической, экономической, эксплуатационной и природоохранной точки зрения.

По Варианту I вода расходом 131 180 м<sup>3</sup>/сут (максимальное суточное потребление) будет подаваться из водозабора Дагбит насосной станцией второго подъема в СП Гагарина и Микрорайон по водоводам с номинальным диаметром 1000/800 мм соответственно; тогда как вода расходом 125 955 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из водозабора Чупан-Ата насосной станцией второго подъема в городскую сеть и в УРВ «Мульон» по водоводам с номинальным диаметром 1000/ 800 мм соответственно. Точно так же вода объемом 18 655 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из других водозаборов в прилегающие поселки. Общий суточный расход города и прилегающих поселков составит 275 790 м<sup>3</sup>/сут.

По варианту II вода расходом 57 085 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из водозабора Дагбит насосной станцией второго подъема по водоводам с номинальным диаметром 1000/800 мм, ведущим в СП Гагарина и Микрорайон соответственно; тогда как вода объемом 200 046 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из водозабора Чупан-Ата насосной станцией второго подъема по водоводам с диаметром 1000/1200 мм, ведущим в городскую сеть и УРВ «Мульон» соответственно. Точно так же вода в объеме 18 655 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из других водозаборов в прилегающие поселки. Общий суточный расход города и прилегающих поселков составит 275 790 м<sup>3</sup>/сут.

По варианту III вода объемом 62 040 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из водозабора Дагбит насосной станцией второго подъема по водоводам с номинальным диаметром 1000/800 мм, ведущим соответственно в микрорайоны и в пос. Богибаланд по двум водоводам диаметром по 300 мм; тогда как вода расходом 200 046 м<sup>3</sup>/сут будет поступать из водозабора Чупан-Ата насосной станцией второго подъема по водоводам диаметром 1000/1200 мм, ведущим в городскую сеть и УРВ «Мульон» соответственно. Точно так же вода в объеме 13 900 м<sup>3</sup>/сут будет подаваться из других водозаборов в прилегающие поселки. Общий суточный расход города и прилегающих поселков составит 275 790 м<sup>3</sup>/сут.

Из анализа видно, что несмотря на огромные затраты по реконструкции системы водоснабжения, бесперебойность подачи воды потребителям так и не достигнута. Необходимость многократной перекачки воды увеличивает затраты электроэнергии и снижает экономические показатели предприятия.

Была проанализирована также перспектива развития системы водоснабжения города Самарканд, которая заключается в организации обеспечения водой через водозаборные сооружения, расположенные в верховьях р. Зарафшан рядом с населенным пунктом Чубот. Это позволит обеспечить бесперебойную подачу воды населению при помощи самотечных линий, без существенных энергозатрат. Геодезическая отметка этого места составляет 847 м выше уровня моря. Расстояние до распределительного узла Мульон по трассе водовода составляет около 40 км. Предлагается строительство трубчатого горизонтального инфильтрационного водозаборного сооружения, где перфорированные трубы будут находиться вдоль реки на глубине 7–8 м. По перфорированным трубам вода будет собираться в водосборный колодец и по самотечной линии направляться в город. Предполагается строительство 2 самотечных линий диаметром 1200–1400 мм.

1. При расходе 1380 л/с (часовой расход 4970 м<sup>3</sup>/ч) потери напора в самотечных линиях составят:  $H = (0,58 \cdot 46) \cdot 1,1 = 29,4$  м, при этом свободный напор в конечной точке, на распределительном узле Мульон составит 64,6 м.

2. При необходимости увеличения расхода до 2460 л/с потери напора в самотечных линиях составят:  $H = (1,76 \cdot 40) \cdot 1,1 = 77,4$  м, тогда свободный напор в конечной точке, на распределительном узле Мульон составит 16,6 м.

При подаче воды непосредственно из самотечных линий в транзитный водовод Фирдавсий-Гормолзавод остаточный напор составит 64,7 м.

Свободный напор в массиве Саттепо составит 44,7 м.

Для обеспечения микрорайона и жилого массива Согдиана требуется строительства транзитного водовода диаметром 1000 мм. Тогда напор в диктующей точке (район СП-3 и СП-6) без попутного водоразбора составит 58,9 м.

Свободный напор с районе СП «Октябрьская» без попутного водоразбора составит 51,3 м.

Напор в наиболее удаленной точке в массиве Хазора без попутного водоразбора составит 49,1 м.

Реализация данного варианта обеспечения бесперебойного водоснабжения города требует определенных материальных затрат и может явиться продолжением начатого ранее проекта «Улучшение водоснабжения городов Самарканд и Бухара».

Внедрение данного Проекта позволит обеспечить водой всех потребителей города Самарканд в необходимых количествах и под нужным напором круглосуточно, так как забор воды, ее транспортировка будет осуществляться самотеком, без насосного оборудования и, как следствие, без потребления электроэнергии, а небольшое потребление электроэнергии

будет иметь место исключительно для работы сигнализации, автоматики и освещения территории. Строительство самотечного водовода от населенного пункта Чубот до города позволит обеспечить население, проживающее вдоль трассы водовода, чистой питьевой водой.

Таким образом, осуществление данного проекта позволит более эффективно использовать ранее установленное оборудование и сети, обеспечить выполнение одного из основных индикаторов, а именно «Бесперебойность» для всех потребителей, независимо от их месторасположения. Внедрение предлагаемой системы водообеспечения резко повысит надежность системы, а также экономические показатели в целом.

### **Литература**

1. ШНК 2.04.02-2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Министерство строительства Республики Узбекистан. Ташкент, 2019. – 250 с.

2. ГОСТ Уз. 950:2011. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества. Узбекское агентство стандартизации, метрологии и сертификации. – Ташкент, 2011. –16 с.

3. Проект водоснабжения города Самарканд. Техничко-экономическое обоснование. Док. 2: часть 1. Базовые данные. ООО «Узбеккоммуналлойтихакурилиш» (Узбекистан) январь 2007.

УДК 548.56

### **Усовершенствованная технология деминерализации вод**

Мурадов Ш. О., Тураев У. М.

Каршинский инженерно-экономический институт  
Карши, Республика Узбекистан

*Приводится анализ водных ресурсов Узбекистана. Как дополнительный ресурс, на основе анализа существующих технологий опреснений вод предлагается разработанный эколого-экономичный и малознергоемкий способ деминерализации морских, коллекторно-дренажных, подземных и озерных вод. Обоснована газогидратная технология с использованием безопасного газа.*

Проблема нарастающего дефицита пресной воды признана мировой проблемой. Этот дефицит может быть покрыт утилизацией соленых вод путем деминерализации.

Около 40 % воды в Центрально-Азиатском регионе, отбираемой из источников, участвует в формировании дренажно-сбросных вод. В постанов-

лении президента Узбекистана от 4 мая 2017 г. № ПП-2954 «О мерах по упорядочению контроля и учета рационального использования запасов подземных вод на 2017–2021 годы» отмечено: «...до конца 2017 года провести опытно-экспериментальные работы по определению эффективности опреснительных установок отечественного производства».

Необходимость деминерализации соленых вод Узбекистана диктуется и тем, что наличие пресных (до 1,0 г/л) подземных вод в западных и юго-западных частях республики, включающих Хорезмскую, Бухарскую и Навоийскую области, республику Каракалпакстан практически отсутствуют в сравнении с наибольшим их количеством; в Ферганском – 111,4, При-ташкентском – 90,8, Зарафшанском – 46,4, Сурхандарьинском – 29,14, Кашкадарьинском – 15,6 м<sup>3</sup>/с гидрогеологических районах [1]. Как отмечают В. А. Борисов и др. (2002), количество пресных питьевых подземных вод в Узбекистане за 30 лет (1965–1995) уменьшилось с 471 до 294 м<sup>3</sup>/с и составляет 34 % вместо 56 % от общей величины ресурсов подземных вод с минерализацией 5 и более г/л. Количество же последних даже несколько возросло: с 844 до 853 м<sup>3</sup>/с [2].

Все существующие технологии очистки и деминерализации воды, включая морские, коллекторно-дренажные, подземные и озерные воды, могут быть подразделены на две большие группы. Первая группа технологий основана на удалении из воды загрязняющих компонентов, вторая группа технологий базируется на противоположном принципе: из сточной воды выделяются не загрязняющие компоненты, а молекулы чистой воды.

К первой группе технологий относятся способы технологической, биологической, химической, а также многие способы физико-химической очистки сточных вод. Ко второй группе относятся способы, основанные на выпаривании сточных вод, кристаллизации сухого остатка и конденсации дистиллята. Использование первой группы технологий предпочтительно в тех случаях, когда доля загрязняющих компонентов в массе сточных вод незначительна. Если же концентрация загрязняющих компонентов достигает десятков и более грамм на литр, целесообразно использование второй группы технологий.

Именно вторая группа технологий наиболее перспективна при деминерализации морских, подземных, коллекторно-дренажных, озерных и сбросных вод, содержащих повышенные концентрации хлоридных, сульфатных, карбонатных и других неорганических солей. Однако существующим технологиям второй группы присущ весьма существенный недостаток: эти технологии характеризуются весьма высокой энергоемкостью.

Современный уровень техники характеризуется гидратной технологией деминерализации сточных вод, которая лишена указанного выше недостатка – высокой энергоемкости процессов.

Современный уровень науки и техники позволяет выполнить разработку эколого-экономичных технологий деминерализации вод. В настоящее время в целях деминерализации вод применяют различные способы очистки: химические – ионный обмен, опреснение клатратами; физические – вымораживание, дистилляция, активация; физико-химические – флотация, экстракция, коагуляция, сорбция, электродиализ, обратный осмос, применение газовых гидратов; биологические и биохимические – применение аэробных и анаэробных микроорганизмов, микрофитов, гидромакрофитов, сорбентов.

Метод ионного обмена используется для деминерализации вод с содержанием солей 1,5–10 г/л. Однако при опреснении сильно минерализованных вод расход химических реагентов увеличивается и составляет 3–5 % количества опресняемой воды. Как отмечают Л. А. Коренева и М. К. Адылова (2003), «... опреснительные технологии требуют использования дорогостоящих оборудования и материалов, следовательно, проблема разработки дешевых технологий весьма актуальна» [4]. При сравнении технико-экономических параметров различных способов, самой эколого-экономичной технологией явилась газогидратная. Суть этой технологии состоит в том, что при контакте газа-гидратообразователя со сточной водой при соответствующих температурах и давлениях образуется газовый гидрат, в который входят только газ и пресная вода, а соли остаются в растворе, так как молекулы их слишком велики и не помещаются в полостях молекул воды. После выделения кристаллов гидрата из рассола их промывают и разлагают с образованием пресной воды и газа, который вновь направляют в цикл. В промышленных установках фирмы «Копперс» в качестве газа-гидратообразователя используют пропан [3].

Низкая энергоемкость гидратной технологии деминерализации природных и сточных вод базируется на том, что основной процесс протекает в температурном интервале 0–10 °С. Существенные недостатки этого способа в основном связаны с выбором газа-гидратообразователя, так как именно этот газ определяет конечный результат, а также параметры и эффективность всех звеньев в технологической цепочке. В данном способе, как уже указывалось выше, в качестве газа-гидратообразователя используют пропан. Однако этот газ, во-первых, огне- и взрывоопасен. Во-вторых, он дефицитен, особенно в странах и регионах, не имеющих собственных нефтяных и газовых месторождений.

Пропану присущи также следующие недостатки технологического плана. Как газообразный, так и сжиженный пропан плохо растворим в воде, что отрицательно сказывается на кинетике гидратообразования. Газовый гидрат этого углеводорода существует в весьма узком интервале положи-

тельных температур, что также накладывает ограничения на технологический процесс его использования.

Основной задачей, решаемой нашим предложением, является устранение отмеченных выше недостатков. Предложенное техническое решение включает получение газового гидрата при контактировании газа-гидратообразователя с водой, выделение кристаллов гидрата, их промывку и разложение с образованием пресной воды и газа, причем в качестве газа-гидратообразователя используют растворимый в воде газ. По своим параметрам наиболее пригодным для этих целей является двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ). При этом образование гидрата двуокиси углерода осуществляют в интервале температур 275–179 К при давлениях 1400–2500 кПа.

В настоящее время известно довольно большое количество газов, образующих гидраты. Однако далеко не все они пригодны для осуществления гидратного процесса деминерализации вод. В качестве критериев выбора оптимального газа-гидратообразователя могут быть использованы следующие: во-первых, гидрат должен образоваться при положительных температурах, т. е. контактируя с жидкой водой, при давлениях выше атмосферного (для исключения попадания в систему воздуха), но не более 20–25 МПа (для уменьшения металлоемкости конструкций, исходя из условий прочности); во-вторых, предпочтителен газ, хорошо растворимый в воде, и, в-третьих, газ-гидратообразователь должен соответствовать условиям гигиеничности и экологичности.

Перечисленным выше критериям в наибольшей степени соответствует двуокись углерода. Именно этот газ обладает существенными преимуществами по сравнению с газом, используемым в способе США (пропаном).

Во-первых, диоксид углерода хорошо растворим в воде (при 0 °С в 100 г воды растворяется 171,3 мл  $\text{CO}_2$ ). Во-вторых, гидрат диоксида углерода образуется в наиболее широком интервале положительных температур. Для  $\text{CO}_2$  максимальная температура существования гидрата равна 283,1 К, т. е. интервал положительных температур гидратообразования почти в два раза шире, чем для гидрата пропана.

Двуокись углерода неопасна в обращении (в противоположность горючему и взрывоопасному пропану), водные растворы  $\text{CO}_2$  нетоксичны для человека, поэтому не требуется полное ее удаление из конечного продукта (пресной воды). Двуокись углерода – более широко распространенный в природе и более дешевый газ по сравнению с пропаном. Формула гидрата двуокиси углерода изменяется от  $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  до  $\text{CO}_2 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$  (при давлениях до 70 МПа). Нижняя квадрупольная точка системы  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (газ-гидрат-лед) характеризуется параметрами  $T = 273,1$  К и  $P = 1250$  кПа, а верхняя квадрупольная точка (газ-гидрат-вода-жидкий гидратообразователь) – па-

раметрами  $T = 283,1 \text{ К}$ ,  $P = 4490 \text{ кПа}$ . При нормальном атмосферном давлении ( $P = 101,3 \text{ кПа}$ ) равновесная температура существования гидрата  $T = 218,1 \text{ К}$  (минус  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Исходя их экспериментальных данных, в качестве оптимального температурного интервала принят интервал от  $275$  до  $279 \text{ К}$ , которому соответствуют равновесные давления гидратообразования от  $1400$  до  $2500 \text{ кПа}$ . Температурные интервалы  $273,1\text{--}274,9 \text{ К}$  и  $279,1\text{--}283,1 \text{ К}$  составляют некий режимный «запас прочности» (они примыкают к верхним и нижним квадрупольным точкам, вблизи которых процесс гидратообразования резко ослабевает; кроме того, они необходимы для регулирования процессов теплообмена).

Разработанная схема усовершенствованной установки отличается тем, что в качестве источника для образования гидратов  $\text{CO}_2$  предполагается использовать сжатую под давлением или сжиженную двуокись углерода, что существенно упрощает конструкцию.

Еще одна особенность предложенного модернизированного решения – его универсальность. Поэтому для деминерализации могут быть приняты подземные, коллекторно-дренажные, озерные и иные сточные воды с весьма широким спектром показателей: рН –  $3\text{--}12$ ; минерализация – от  $2\text{--}3$  до  $200\text{--}300 \text{ г/л}$  (кстати, в апреле 2009 г. засоление вод Восточного Арала достигло  $253 \text{ г/л}$  [5]); она обладает селективностью, т.е. тип загрязнений как неорганический, так и органический.

Конечным продуктом деминерализации является пресная вода. Гидратная технология предусматривает следующие требования к ней: рН –  $6,8\text{--}7,5$ ; сухой остаток – не выше  $1,0\text{--}1,5 \text{ г/л}$ ; по химическому, бактериальному составу, содержанию взвесей и физическим свойствам вода соответствует действующим нормативам. Проектная мощность промышленных установок составляет от  $50$  до  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Резюмируя, можно отметить, что деминерализация морских, коллекторно-дренажных, подземных и озерных вод рассматривается как наиболее кардинальный вариант решения проблемы их регенерации и утилизации, что позволит повышению водоустойчивости регионов. Данное решение проблемы объективно востребовано как обществом, так и природой.

### Литература

1. Абиров, А. А. Подземные воды – значительный резерв в повышении водообеспеченности орошаемых земель Узбекистана / А. А. Абиров, А. Г. Галустян, О. Ф. Сидоренко // САНИИРИ: науч. тр. – Ташкент, 2003 – С. 62–68.

2. Борисов, В. А. Индексная оценка качества питьевых подземных вод Узбекистана / В. А. Борисов, Л. И. Вавленко, Т. П. Мусаева, Д. Г. Султанов

ва // Проблемы питьевого водоснабжения и экологии. – Ташкент: Университет, 2002. – С. 83–91.

3. Каримов, А. Повышение продуктивности использования водных ресурсов на уровне фермерских хозяйств / А. Каримов, К. Мирзаджанов, С. Исаев // ИКАРДА: материалы междунар. семин. – Тараз: АКВА, 2002 – С. 38–49.

4. Коренева, Л. А. Адсорбционная технология опреснения дренажной воды / Л. А. Коренева, М. К. Адилова // САНИИРИ: науч. тр. – Ташкент, 2003 – С. 116–120.

5. Proceedings of the 4<sup>th</sup> international Conference on Gas Hydrates, Yokogama (Japan), May 19–23, 2002. – Yokogama, 2002. – P. 439–443.

УДК 627.8

### **Основные технологические параметры водозаборных сооружений**

Бекмамадова Г. А.

Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Водозаборные сооружения имеют немаловажное значение для обеспечения водоснабжения населения. В связи с чем при их эксплуатации огромная роль уделяется технологическим конструкциям сооружений, т. к. от них зависит состояние воды в источнике и ее качество, которое должно отвечать нуждам потребителей. В статье рассматривается устройство водозаборного сооружения и процесс циркуляции воды в его технологических конструкциях.*

Водозаборные сооружения занимают особое место среди других сооружений систем водоснабжения, так как постоянно испытывают на себе огромное воздействие определенных особенностей используемых природных источников воды, очень часто достаточно специфических. Выбранный источник водоснабжения должен обеспечивать отбор воды необходимого количества при возможном росте водопотребления, а также бесперебойно на протяжении всего срока службы. Состояние воды в источнике должно быть определенного качества, которое будет отвечать нуждам потребителей. При несоответствии качества воды в источнике требованиям потребителей используются очистные сооружения, которые должны осуществлять экономически оправданную очистку. Подача воды потребителю обязательно должна осуществляться с наименьшей затратой средств. Источник водоснабжения должен обладать определенными объемами, которые позволят производить забор воды из него без нарушения экологической

обстановки. При этом, выбор конкретного источника водоснабжения, а вследствие этого и определенного типа водозабора может быть сделан только после проведения гидрологических, топографических, санитарных, геологических, экономических и других изысканий и исследований [1].

Особое внимание при сооружении и эксплуатации водозаборных сооружений уделяется его технологическим параметрам.

Так, технологическая схема водозаборных сооружений выбирается соответственно требуемому расходу воды, категории водозабора, гидрологическим характеристикам водоисточника, топографическим и геологическим условиям, требованиям санитарной инспекции, организаций рыбоохраны, водного транспорта, а также с учетом возможности увеличения производительности водозабора в перспективе.

В общем случае, водозабор из поверхностных источников должен состоять из:

- водоприемника;
- водоводов (самотечных или сифонных);
- водоприемного колодца;
- насосной станции;
- оборудования и арматуры.

Водоприемники являются важным элементом водозаборного сооружения и классифицируются по следующим признакам:

- по способу приема воды – открытые поверхностные, глубинные, донные, фильтрующие, инфильтрационные и комбинированные;
- по месту расположения – береговые и русловые;
- по конструктивным особенностям – ряжевые, свайные, трубчатые, бетонные, железобетонные, бетонные в металлическом корпусе, с вихревыми камерами;
- по расположению водоприемника относительно минимального и максимального уровней воды – затопленные, частично затопляемые и незатопленные;
- по расположению водоприемных отверстий и направлению втекания в них воды – с горизонтальными или наклонными отверстиями, с лобовым, боковым, низовым, а также с односторонним, двухсторонним и круговым втеканием воды.

Из применяемых в настоящее время типов водозаборных сооружений наибольшее распространение получили русловые и береговые. В свою очередь русловые (рис. 1) и береговые водозаборные сооружения делятся на два типа: раздельной и совмещенной компоновки.

Устройство русловых водозаборных сооружений обуславливается необходимостью выноса водоприемного оголовка в русло водоисточника

на определенное расстояние от водоприемного колодца и насосной станции.

Поступление воды от оголовка в водоприемный колодец осуществляется самотечными или сифонными водоводами, которых должно быть не менее двух.

При необходимости обеспечения предварительной грубой очистки воды, после оголовка перед насосами в водоприемном колодце размещают водоочистные сетки. Водоприемные колодцы с водоочистными сетками называют водоприемно-сеточными колодцами.

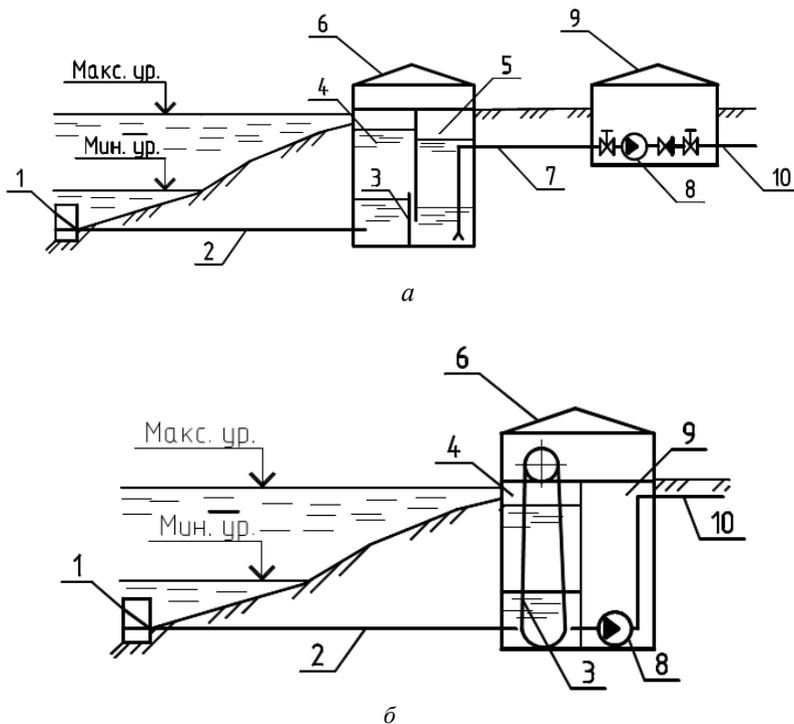


Рис. 1. Схема руслового водозабора:

*a* – раздельной компоновки; *б* – совмещенной компоновки;

1 – водоприемник; 2 – самотечный или сифонный водовод; 3 – сороудерживающая сетка; 4 – водоприемное отделение; 5 – всасывающее отделение; 6 – водоприемный колодец; 7 – всасывающий трубопровод; 8 – насос; 9 – насосная станция первого подъема; 10 – напорные водоводы

При применении на оголовках в качестве рыбозащитных мероприятий фильтрующих элементов или при устройстве оголовков фильтрующего типа установка водоочистных сеток не предусматривается. Наиболее ответственными элементами в технологической схеме водозаборных сооружений являются водоприемники, поэтому при проектировании водозаборных сооружений с русловыми водоприемниками следует применять их типовые проекты.

При благоприятных местных условиях (достаточно крутом береговом откосе) более надежными, экономичными и удобными в эксплуатации являются водоприемники берегового типа с совмещенной или раздельной компоновкой. Водоприемники при таких водозаборных сооружениях размещают в береговых откосах с обеспечением постоянного эксплуатационного обслуживания водоприемных окон в любое время года.

При раздельной компоновке насосную станцию первого подъема устраивают отдельно от берегового водоприемного колодца и подача воды к насосам осуществляется через всасывающие водоводы.

Вода из реки поступает во входные окна водоприемника, которые располагаются в передней стенке водоприемного колодца, как правило, в несколько ярусов по высоте. Ярусное расположение водоприемных отверстий обеспечивает забор воды лучшего качества в зависимости от уровня режима водотока.

Водоприемные отверстия оборудуют пазовыми конструкциями, в которые в зависимости от гидрологической и ихтиологической обстановки на водотоке могут быть опущены: сороудерживающие решетки, рыбозащитные пакеты, решетки-реостаты.

С внутренней стороны водоприемные отверстия оборудуют укороченными задвижками, клапанами или щитами, позволяющими в любое время полностью или частично перейти к забору воды с одного яруса на другой [4].

Внутри водоприемного колодца находятся сороудерживающие сетки (плоские съемные или вращающиеся). Сетки обеспечивают более полную очистку воды от сора и практически разделяют колодец на два отделения: водоприемное – перед сеткой и всасывающее – за ней.

Для предотвращения заиления взвешенными частицами, поступающими вместе с водой и выпадающими в осадок вследствие резкого уменьшения скорости движения воды в колодце, водоприемно-сетчатый колодец должен быть оборудован наносудаляющими устройствами – эжекторами, всасывающими водоводами грязевых насосов, специальными прямыми, а при больших расходах – взмучивающими водоводами.

Для обеспечения бесперебойной работы и периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемный колодец должен быть разделен продольными перегородками на несколько (не менее двух) параллельно работающих секций. Размеры и площадь водоприемных отверстий колодца должны определяться, исходя из допустимых скоростей по условиям рыбо-защиты, защиты от шуголедовых помех и допустимых сопротивлений [5].

Размеры берегового водоприемного колодца в плане определяются габаритами водоприемных отверстий и сеток, количеством и диаметром всасывающих водоводов. Размеры водоприемников, совмещенных с насосной станцией, зависят от количества и типа установленных насосов. Глубина колодца зависит от амплитуды колебания уровней воды в водоисточнике, толщины ледового покрова и грунтовых условий.

Таким образом, в данной статье рассмотрены только основные, наиболее общие вопросы устройства водозаборных сооружений. Для надежной эксплуатации водозаборного сооружения важную роль имеет бесперебойная работа всех его технологических конструкций, т. к. это позволит избежать засорение сооружения отложениями (ил, песок) или биологическими обрастаниями (мхи, моллюски, микроорганизмы), вследствие чего уменьшается поперечное сечение водоводов, увеличиваются потери напора и снижается подача воды в сооружении.

Вопросы реальных задач по проектированию водозаборных сооружений требует дополнительного и более глубокого изучения опыта проведения таких работ в области водоснабжения, а также результатов научных исследований и проектно-конструкторских разработок, что позволит обеспечить рациональное использование воды, исключить загрязнение окружающей природной среды и водных ресурсов.

### Литература

1. Гришин, Б. М. Водозаборные сооружения из поверхностных источников: учеб. пособие / Б. М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 196 с.
2. Журба, М. Г. Водоснабжение / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова. – М: Изд-во АСВ, 2008.
3. Водоснабжение: учебное пособие / Н. И. Куликов [и др.]. – Новосибирск: ООО «ЦСРНИ», 2016. – 704 с.
4. Сайридинов, С. Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие / С. Ш. Сайридинов. – М: Изд-во АСВ, 2004.
5. Сомов, М. А. Водоснабжение. Системы забора, подачи и распределения воды: учебник для вузов / М. А. Сомов, М. Г. Журба. – М: Изд-во АСВ, 2008.

Мирзаев Ж. П., Терещенко А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье раскрываются причины, по которым назрела необходимость усовершенствовать существующую систему очистки сточных вод города Ташкента. Изучается зарубежный опыт и технологии, касающиеся системы водоотведения крупного населенного пункта.*

Ташкент – это крупнейший экономический, промышленный и политический центр среднеазиатского региона. На территории СНГ этот город по величине уступает лишь Москве, Санкт-Петербургу и Киеву. Услуги канализации (как и водоснабжения) в городе Ташкенте с населением более 2 млн человек оказываются исключительно Государственным унитарным предприятием «Сувсоз» при Хокимияте г. Ташкента [1].

В городе Ташкенте в силу его географических особенностей принята неполная раздельная система канализации, при которой хозяйственно – бытовые и производственные сточные воды отводятся с территории города на городские очистные сооружения подземной самотечной системой трубопроводов (25–30 % сточных вод перекачиваются насосными станциями), а ливневые, дождевые и таловые воды отводятся по ирригационной лотковой системе в реки, каналы и большие арыки, проходящие по территории города. ГУП «Сувсоз» осуществляет отвод сточных вод по канализационным сетям и коллекторам, протяженность которых превысила 2634 км.

Город разделен на два бассейна канализования – Саларский и Нижне-Бозсуйский. Начало строительства канализационных сетей относится к 1939 г., а строительство канализационных сооружений к началу 60-х годов [2].

Очистка сточных вод города Ташкента осуществляется на трех канализационных природоохранных сооружениях, установленной мощностью 1 945 000 м<sup>3</sup>/сут: Бозсуйская станция аэрации, Саларские очистные сооружения, Бектемирские и Бинокорские сооружения.

Бозсуйская станция аэрации перерабатывает 630 000 м<sup>3</sup>/сут сточных вод из пяти районов Ташкента: Юнусабадского, Шайхантахурского, Алмазарского, Учтепинского и Чиланзарского, а также части Зангиатинского района Ташкентской области. Очищенная вода возвращается в р. Бозсу. Станция запущена 3 ноября 1963 г.

Мощность станции составляет 735 000 м<sup>3</sup>/сут сточных вод. На данный момент загрузка составляет примерно 630 000 м<sup>3</sup>/сут, что позволяет часть мощностей держать в резерве. Станция расположена в четырех километрах от города на территории 122 га, в основном, это сады и озелененная территория – во избежание распространения неприятных запахов.

После поступления сточные воды проходят через решетки грубой и тонкой очистки, сами решетки автоматически очищаются, отбросы подаются в специальные бункеры. Далее в очищенную от отбросов воду добавляют активный ил и насыщают смесь воздухом. Происходит удаление органических веществ. Далее иловая смесь подается на вторичные радиальные отстойники, в которых ил оседает на дно и собирается со дна специальными механизмами, а вода обеззараживается соединениями хлора, и наконец, сбрасывается в р. Бозсу. Ил, в свою очередь, уплотняется, подсушивается и раздается фермерам как удобрение.

На станции аэрации работает лаборатория с производством определенных биологических и химических показателей [3].

Первая часть станции, запущена в 1963 году и расширялась до 1977 г., расход сточных вод составлял более 500 000 м<sup>3</sup>/сут. В 1991 г. были запущены дополнительные мощности, которые могут перерабатывать еще 200 000 м<sup>3</sup>/сут сточной воды. В 2019 году проведена модернизация оборудования. По данным «Сувсоз», эффективность работы сооружений до реконструкции составляла 55 %, а в настоящее время доходит до 75 %.

Из трех трубопроводов, возвращающих воду в р. Бозсу, только из одного поступает вода, превышающая показатель цветности. Это сточные воды из Каракамыша, где расположены текстильные предприятия. Они не имеют своих очистных сооружений и сливают воду с остатками красителей в общую систему водоотведения. Технология очистки не рассчитана на удаление окраски, вода чуть розоватая, при сливе ее хорошо видно.

Саларские очистные сооружения с 1961 г. осуществляет работу с проектной мощностью – 1 120 000 м<sup>3</sup>/сут. Производительность Саларской станции аэрации на 2021 г составляет 950000 м<sup>3</sup>/сут, а занимаемая площадь – 113 га.

После предварительной очистки на решетках с прозорами 8 мм, вода поступает в отстойники, аэротенки, где микроорганизмы поглощают органические загрязнения, перерабатывая их, и далее во вторичные отстойники. Для обеззараживания применяют гипохлорит натрия. Выпуск осуществляется в р. Салар.

На Саларской станции аэрации в г. Ташкенте ежегодно накапливаются значительные объемы осадка, особенно после проведенной в 2014–2016 гг. реконструкции очистных сооружений. При производительности

950 000 м<sup>3</sup>/сут объем выделяемого осадка составляет 9–10 тыс т/сут при средней влажности осадка 95–97 %.

Бектемирские и Бинокорские сооружения с 1976 г. осуществляют работу с проектной мощностью 25 000 м<sup>3</sup>/сут, а занимаемая площадь – 7 га.

Все перечисленные городские канализационные очистные сооружения снабжены полным комплексом биологической очистки, включая обеззараживание очищенных сточных вод гипохлоритом натрия [4]. В связи с аккредитацией ХТКЛ ГУК ГУП «Сувсоз» результаты анализов сточных вод являются конфиденциальными данными. Эффективность очистки на Бозсуйской станции составляет всего лишь 52 %.

Предприятия, сбрасывающие недостаточно очищенные сточные воды, выплачивают компенсационные выплаты. Кроме того, «Сувсоз» приостанавливал деятельность ряд нарушителей.

Таким образом, необходима глубокая модернизация очистных сооружений города и строительство новых. Население Ташкента приближается к 4 миллионам. Канализационные сооружения города были построены в начале 1960-х годов. Они не могут справиться с существующим объемом сточных вод.

Во время проведения реконструкции на Бозсуйская станция аэрации была проведена замена старого оборудования на современное, автоматизированное и менее энергоемкое. Эксплуатация сооружений после внедрения нового оборудования показала улучшение технологического режима и качества очистки сточных вод. Однако этого недостаточно и требуется модернизация имеющихся очистных сооружений.

Если эти проблемы не решать сейчас, то через 10–20 лет районы по течению рек и каналов ниже Ташкента могут стать непригодными для сельского хозяйства и комфортной жизни.

### Литература

1. Перспективы адаптации к изменению климата в горах Центральной Азии: сб. науч. ст. / Окружающая среда ООН, ГРИД-Арендал; редкол.: Жолдошева Е. [и др.] – 2017.
2. Бородин, В. И. Оптимизация параметров новых и реконструируемых систем водоотведения / В. И. Бородин. – Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2007. – № 2. – С. 27–35.
3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 3 февраля 2010 года № 11 «О дополнительных мерах по улучшению природоохранной деятельности в системе коммунального хозяйства».
4. Правила оказания услуг водоснабжения и водоотведения потребителям / Приложение № 2 к Постановлению КМ РУз от 15.07.2014 г. – № 194.

## **Интенсификация процессов биологической очистки методом прикрепленных биоценозов**

Мирзаев И. А., Терещенко А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Применение прикрепленных биоценозов позволяет существенно повысить эффективность процессов биологической очистки и достигать более высоких результатов глубокой очистки сточных вод.*

В процессе очистки сточных вод биореакторы и аэротенки занимают значительную роль в достижении требуемых характеристик очищенной воды. На сегодняшний день одним из недостатков этих двух сооружений является увеличение время очистки воды до необходимого качества.

Одним из способов решения этой проблемы является интенсификация процессов биологической очистки методом прикрепленных биоценозов [1].

В качестве носителя биомассы используются как плавающие, так и фиксировано установленные насадки из различных материалов различной формы, позволяющие поднять дозу активного ила в сооружениях до 15 г/л.

Важнейшими критериями выбора носителя являются: развитая поверхность, пористость; удовлетворительные механическая прочность и химическая стойкость; биосовместимость; способность обеспечивать устойчивую жизнедеятельность микробных ассоциаций и отсутствие токсичного действия на них [2].

При строительстве и реконструкции очистных сооружений часто используют полимерные носители в виде блоков, отличающиеся не только оптимальными для удержания биомассы параметрами, но и хорошими технологическими показателями, что делает их монтаж и эксплуатацию удобной. Размер отверстий в блоках должен быть тех размеров, чтобы в случае зарастания биомассой отверстия не сужались до тех размеров, через которые проход иловой смеси может затрудняться либо отверстия могут полностью закрыться.

Биомасса (выращивается или прикрепляется) в блоках из жестких или гибких кассет, дисков с отверстиями или в сетках, которые, в свою очередь, представляют собой не цельный элемент, а отдельный, чтобы была позволяющей доставать определенные элементы для специализированных нужд. Биомассы могут быть выполнены из бактерий образующие биопленку как в капельных биофильтрах. В верхней части блока будут располагаться бактерии, которые снижают загрязнения с микроорганизмами –

окислителями углерода, а в нижней части находятся бактерии нитрификаторы (рис.). При проектировании должен быть достигнут определенный баланс. При дисбалансе видового состава могут произойти сложности в работе аппарата (заиливание, паводковый слив био пленки).

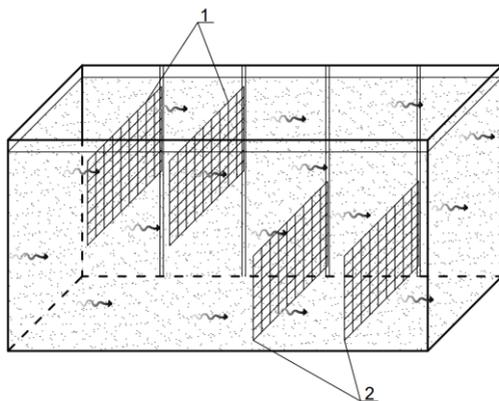


Рис. Прикрепленный биоценоз в коридоре аэротенка:  
1 – био пленки, 2 – нитрификаторы

Использование разных видов бактерий обеспечивают удаление большого спектра загрязнений, уменьшение времени очистки и повышает окислительную мощность сооружения.

Из используемых в настоящее время носителей хорошо зарекомендовали себя грузочные элементы, разработанные ООО «Полимер» (РБ) и ООО «Гефлис» (РБ) [4]. Элементы выполнены из волокнисто-пористого нетканого материала, в виде полых цилиндров внутренним диаметром 45–55 мм с толщиной стенки 5–10 мм. Носитель характеризуется пористостью 65–80 %, средний размер пор – 50–70 мкм. Малый диаметр волокон (50–80 мкм), высокая пористость носителя и размер пор, сравнимый с размерами хлопков активного ила, создают благоприятные условия для удержания биомассы.

Так же широкое распространение в качестве загрузки получила ершовая нить, которая обеспечивает удержание значительного количества био пленки на единицу удельной поверхности, составляющей до  $500 \text{ м}^2/\text{м}^3$  [3].

При внедрении носителя биомассы в аэробную зону существенно вырастет эффективность биологической очистки. Значительно сократится содержание БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенных веществ, азота аммонийного и фосфора на выходе из очистных сооружений до нормативных требований.

Таким образом, применение полимерной загрузки производства ООО «Гефлис» для аэротенков позволяет: увеличить дозу активного ила без ухудшения работы вторичных отстойников; существенно увеличить эффективность очистки по основным загрязнениям; добиться стабильных значений по иловому индексу; увеличить концентрацию бактериальной массы и организмов высших трофических уровней.

Использование полимерной загрузки целесообразно при реконструкции существующих аэротенков для повышения производительности и эффективности их работы.

### **Литература**

1. Бочкунова, Д. Г. Использование биомассы для интенсификации работы аэротенков / Д. Г. Бочкунова // Устойчивое развитие: аспекты аспектов: материалы XI международной науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 24–26 апреля 2019 г. – Брест: БрГТУ, 2019. – С. 42–44.

2. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.

3. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: Акварос, 2003. – 512 с.

4. Полимерная Загрузка [Электронный ресурс] / ООО «Гефлис»: Производство и строительство. – Режим доступа: <https://www.geflis.by/index.php/with-sidebar-2/64-polimernaya-zagruzka>. – Дата доступа: 25.03.2022.

УДК 556.55

### **Совершенствования комплексного использования и эффективного управления водными ресурсами**

Кучкарова Д. Х.

Ташкентский архитектурно-строительный институт,  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье приведены результаты обследования территорий бассейнов рек, характер формирования стока и использования водных ресурсов. Приведено моделирование использования водных ресурсов речных бассейнов, установлены критерии качественных и количественных параметров воды.*

В мире научно-исследовательским работам по разработке методов совершенствования комплексного использования и эффективного управле-

ния водными ресурсами рек водохранилищами уделяется особое внимание. При этом научно-исследовательские работы по разработке на основе классических методов гидравлики, уравнения состояния, уравнения баланса расходов воды в малой реке, а также уравнения движения водного потока управляемыми водохранилищами, создание на их основе гидравлических методов суточного регулирования режимом работы водохранилищ, обеспечивающих надежность и эффективность использования водных ресурсов малых рек, являются приоритетными. В республике осуществляются меры по установлению закономерностей формирования водных ресурсов малых рек, определению потребностей отраслей экономики и населения в воде, по эффективному использованию водных ресурсов водохранилищ, определению влияния водохранилищ на малых реках на состояние и качество воды, по обеспечению надежности и безопасности сооружений водохранилищ и повышению эффективности использования водохранилищ для ирригационных и энергетических целей. Научные исследования, направленные на анализ и оценку условий формирования и управления водными ресурсами малых речных бассейнов и составление водного и водно-солевого баланса, вели В. Л. Шульц, В. Г. Андреев, Г. С. Семенова, А. Г. Булавко, И. А. Шикломанова, Ф. Х. Хикматов, Э. И. Чембаров и др.

Дефицит водных ресурсов, а также серьезное ухудшение их качества являются одними из самых важных проблем, с которыми сегодня сталкиваются отдельные страны и, особенно, Республика Узбекистан. Вода – неотъемлемая часть экономико-эколого-социальной системы нашей страны, и критическое ухудшение ее состояния, вызванное человеческим и техногенным воздействиями на водные системы, неизбежно влечет за собой как природные, так и социально-экономические проблемы. Наиболее неблагоприятной зоной по водообеспеченности в Узбекистане является территория Кашкадарьинской области, в частности, ее старая орошаемая зона, для которой основным источником водоснабжения является р. Кашкадарья. Следует отметить, что бассейн р. Кашкадарья является составной частью бассейна трансграничной р. Амударья. Для полномасштабного использования водных ресурсов бассейна р. Кашкадарья (рис.) построены крупные водохранилища: Чимкурганское (500 млн м<sup>3</sup>), Пачкамарское (260 млн м<sup>3</sup>), Гиссаракское (170 млн м<sup>3</sup>) и множество водохранилищ, имеющих объемы от 1 млн м<sup>3</sup> до 10 млн м<sup>3</sup>, а также гидротехнические сооружения, способные в основном управлять использованием в полном объеме стоком воды для нужд ирригации. Тем самым достигнуто полное зарегулирование стока реки, наблюдается также двух-, трехкратное повторное использование воды для нужд ирригации. Чрезмерно высокий уровень использования стока рек бассейна Кашкадарья привел к полной деграда-

ции речной экосистемы, а средние и нижние течения русла превращены в коллекторы для отвода сбросных и дренажных вод. Речная экосистема и прилегающая к ней территория деградированы, чем оказывается негативное воздействие на условия проживания населения.

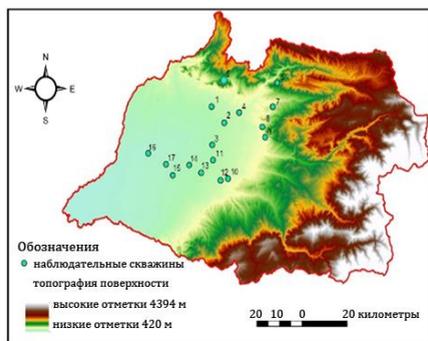


Рис. Расположение скважин для организации мониторинга за состоянием грунтовых и подземных вод на территории бассейна р. Кашкадарья

Основная цель исследований, представленных в предлагаемой статье – улучшение качества воды и продуктивности воды, т.е. производство большего количества сельскохозяйственной продукции и повышение жизненного уровня сельского населения при использовании меньшего количества воды при обеспечении устойчивости окружающей среды и социальной гармонии в бассейне р. Кашкадарья в Кашкадарьинской области.

Река Кашкадарья, стекающая с западных оконечностей Зарафшанского и Гиссарского хребтов, длиной 310 км, имеет водосборную площадь 8780 км<sup>2</sup>. В формировании режима стока реки от выхода с гор до Каршинского оазиса преобладающую роль играют реки Аксу, Яккабаг, Танхаз и Гузар. Река Гузар в настоящее время не впадает в р. Кашкадарья.

Кашкадарьинская область имеет возможность динамично развивать экономику с сохранением природной среды, особенно водных ресурсов без загрязнения и без ущерба для сельскохозяйственного производства. Климатические факторы и неэффективное использование имеющихся водных ресурсов бассейна р. Кашкадарья обусловили необходимость разработки мер по созданию эффективных способов управления использованием его водных ресурсов.

Для моделирования процесса управления количественными и качественными параметрами воды Кашкадарьинского речного бассейна ис-

пользуем балансовой метод: уравнения водного и водно-солевого баланса [2, 3].

Уравнение водного баланса применительно для Кашкадарьинского речного бассейна имеет следующий вид

$$W_{\text{кашк}}(t) = W_{\text{чимк}}(t) + W_{\text{гис}}(t) + [Q_{\text{река}}^0(t) + Q_{\text{осад}}^0(t) + Q_{\text{приг.гв}}^0(t)t + W_{\text{сброс}}(t)] - [E_{\text{исп}}^0(t)t + Q_{\text{отв.гв}}^0(t)t + W_{\text{водосн}}(t) + W_{\text{ирриг}}(t)].$$

А уравнение водно-солевого баланса имеет вид

$$(W_{\text{кашк}}c_{\text{к}})(t) = (W_{\text{чимк}}c_{\text{ч}})(t) + (W_{\text{гис}}c_{\text{гис}})(t) + (W_{\text{сброс}}c_{\text{сбр}})(t) + [(Q_{\text{река}}^0c_{\text{р}})(t)t + (Q_{\text{осад}}^0c_{\text{осад}})(t)t + (Q_{\text{приг.гв}}^0c_{\text{гв}})(t)t] - [(E_{\text{исп}}^0c_{\text{осад}})(t)t + (Q_{\text{отв.гв}}^0c_{\text{гв}})(t)t + (W_{\text{водосн}}c_{\text{в}})(t) + (W_{\text{ирриг}}c_{\text{ирр}})(t)].$$

Из уравнения водно-солевого баланса получено уравнение изменения минерализации воды в зависимости от воздействия на состояние воды Кашкадарьинского речного бассейна:

$$C_{\text{к}}(t) = \frac{(W_{\text{чимк}}c_{\text{ч}})(t) + (W_{\text{гис}}c_{\text{гис}})(t) + (W_{\text{сброс}}c_{\text{сбр}})(t) + [(Q_{\text{река}}^0c_{\text{р}})(t)t + (Q_{\text{осад}}^0c_{\text{осад}})(t)t + (Q_{\text{приг.гв}}^0c_{\text{гв}})(t)t] - [(E_{\text{исп}}^0c_{\text{осад}})(t)t + (Q_{\text{отв.гв}}^0c_{\text{гв}})(t)t + (W_{\text{водосн}}c_{\text{в}})(t) + (W_{\text{ирриг}}c_{\text{ирр}})(t)]}{W_{\text{каш}}},$$

где  $W_{\text{кашк}}(t)$  – изменение стока воды в бассейне р. Кашкадарья за время  $t$ ;  $c_{\text{к}}$  – минерализация воды в замыкающем створе р. Кашкадарья;  $W_{\text{гис}}(t)$  и  $W_{\text{чим}}(t)$  – объемы вод в водном банке – Гиссаракское и Чимкурганское водохрани-лища за время  $t$ ;  $c_{\text{гис}}$ ,  $c_{\text{ч}}$  – минерализация воды на выходе из Гиссаракского и Чимкурганского водохранилищ;  $W_{\text{сброс}}(t)c_{\text{гв}}$  – часть использованной воды в промышленности, в питьевом водоснабжении и в ирригации с минерализацией воды  $c_{\text{гв}}$  через сбросные каналы попадает обратно в реку;  $Q_{\text{река}}^0(t)$  – расход воды, формируемый водосборной зоной рек бассейна Кашкадарья и поступающий в чаши Гиссаракского и Чимкурганского водохранилищ с соответствующей минерализацией  $c_{\text{р}}$ ;  $(W_{\text{осад}}c_{\text{осад}})(t)$  – величина атмосферных осадков с соответствующей минерализацией  $W_{\text{сброс}}(t)c_{\text{гв}}$ , определяемая в зависимости от времени года на территории бассейна р. Кашкадарья;  $(W_{\text{приг.гв}}c_{\text{гв}})(t)$  – приток подземных вод с минерализацией воды  $c_{\text{гв}}$ ;  $(W_{\text{испар}}c_{\text{исп}})(t)$  – испарение с территории бассейна р. Кашкадарья;  $W_{\text{отв.гв}}(t)$  – отток подземных вод с минерализацией воды  $c_{\text{гв}}$ ;  $W_{\text{водосн}}c_{\text{вод}}$  – расход воды на хозяйственно-питьевое и промышленное

водоснабжения с минерализацией воды  $c_{\text{вод}}$ ;  $W_{\text{ирриг}}c_{\text{ирр}}$  – использование воды с минерализацией  $c_{\text{ирр}}$  для ирригации.

Проведенные исследования показывают, что в условиях использования речной воды для орошения наибольшая нагрузка на речную экосистему оказывается в период вегетации сельскохозяйственных культур, особенно хлопчатника. Вместе с этим, образование сбросных вод за счет потерь воды из ирригационных систем, а также сброс из систем промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения и их последующее слияние с рекой негативно отражаются на состоянии минерализации речной воды.

В связи с вышеизложенными обстоятельствами, истощением реки при существующих технологиях использования водных ресурсов, возникает острая необходимость, в первую очередь, упорядочения управления количественными и качественными показателями воды речного бассейна.

### Литература

1. Новиков, Р. Ю. Экологические программы ООН для Центральной Азии / Р. Ю. Новиков // МЭМО. – 2001. – № 5. – С. 15–22

2. Makhmudov, I. E. Dynamics of modification of the bacterium concentration in conduits by organization of supplying constant consumption in constant time inflow / I. E. Makhmudov // The workshop of the environment evolvment and hydro-ecology in the arid zone of Central Asia Urumqi. – China, 2008. – P. 183–187.

3. Кучкарова, Д. Х. Гидравлические методы управления водных ресурсов в бассейнах малых рек / Д. Х. Кучкарова. – Диссертация. – Ташкент, 2018.

4. Makhmudov, E. J. Practices and problems of the use of water resources in Uzbekistan / E. J. Makhmudov, D. R. Bazarov, N. K. Islamova, D. Kh. Kuchkarova // Mountains of Central Asia: Bulletin publication of the Central Asia Mountain Information Network. – 2002. – № 2. – P. 74–80.

УДК 628.11

### **Изучение проблемы технического состояния водопроводных сооружений и сетей в условиях Республики Узбекистан и пути их решения**

Алиев М. К., Махмудова Д. Э.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Ташкент, Республика Узбекистан

*Анализ состояния питьевого водоснабжения в стране свидетельствует о том, что качество питьевой воды во многих регионах страны ухуд-*

*шается, продолжающиеся загрязнения водисточников, низкий уровень внедрения современных технологий водоочистки, высокая изношенность разводящих сетей, региональная особенность источников водоснабжения, связанные с дефицитом или избытком биогенных элементов, оказывающих негативное влияние. В статье рассматривается анализ состояния обеспеченности республике централизованными системами водоснабжения и водоотведения.*

Проблема содержания различных органических соединений в питьевой воде привлекает к себе внимание не только исследователей различных областей науки и специалистов водоподготовки, но и потребителей. В последние годы многие научно-исследовательские институты в Республике Узбекистан, работающие в области водоснабжения, совершенствуют технологические процессы и приемы обработки питьевой воды, обеспечивающие получение воды с высокой степенью санитарной надежности. В настоящее время обостряются проблемы, связанные с загрязнением запасов пресной воды тяжелыми металлами, продуктов нефтепереработки, биологически стойких органических веществ, оказывающих негативное влияние на биохимический режим водоемов [1]. Анализ состояния питьевого водоснабжения в стране свидетельствует о том, что качество питьевой воды во многих регионах страны ухудшается. В числе причин продолжающиеся загрязнения источников воды, низкий уровень внедрения современных технологий водоочистки, высокая изношенность разводящих сетей, региональная особенность источников водоснабжения, связанные с дефицитом или избытком биогенных элементов, оказывающих негативное влияние на здоровье населения [2].

Подача поверхностных или подземных вод потребителям в требуемом количестве и в соответствии с целевыми показателями качества воды в водных объектах входит в задачи водоснабжения.

Водопроводно-канализационное хозяйство является одной из важнейших и наиболее материально и энергоемких отраслей коммунального хозяйства Узбекистана. Централизованным системам водоснабжения обеспечены все города республики и 65 % поселков городского типа. Системы водоотведения имеют 66,4 % городов и 4,9 % поселков. Услугами централизованного водоснабжения обеспечено 65 % поселков городского типа и 54 % сельских населенных пунктов. Остальное сельское население потребляет воду из колодцев, каптажей и индивидуальных скважин, которые в подавляющем большинстве находятся в неудовлетворительном техническом состоянии. 18,2 % сельских водопроводов, около 9 % общественных колодцев и каптажей не соответствуют государственным нормативам.

На качество питьевой воды систем централизованного водоснабжения отрицательно влияет неудовлетворительное техническое состояние водопроводных сооружений и сетей, значительная их изношенность, что составляет в разных областях от 35–68 %. Истоки и неучтенные расходы воды в системах водоснабжения составили 35–62 %.

Услугами централизованного водоотведения обеспечено 17 %, 66,4 % поселков городского типа и 0,5 % сельских населенных пунктов. За 2020 год только 11,1 млн сельского населения (65 %), пользовалось услугами централизованного водоснабжения. Инженерным оборудованием, в частности внутренним водопроводом с подводом в дом, было обеспечено лишь 18,5 % населения, канализацией – 0,5 %, горячим водоснабжением – 0,2 %, водоразборными уличными колонками – 18,6 %. Более 74 % сельских водопроводов работает с перебоями или отключены. 1,1 млн в городах и 4,3 млн сельских жителей пользуется для питьевых нужд местными источниками воды [2].

Более 25 % проб питьевой воды из подземных источников в сельских населенных пунктах не соответствует действующим стандартам – по санитарно-химическим показателям в 2,1 раза, по бактериологическим – до 2,3 раз превышает количество соответствующих проб, взятых в централизованных сетях водоснабжения [3].

Международный опыт свидетельствует, что решить проблему улучшения качества питьевой воды можно только на основе комплексного подхода, включая все аспекты производственно-хозяйственной деятельности и прежде всего качества воды в источниках водоснабжения.

Предлагается определенный алгоритм решения проблем в виде «дорожной карты», т. е. последовательность целенаправленных действий в организационно-правовой, производственно-технической, финансово-экономической, научной и гуманитарной сферах, которые обеспечивают достижение целей развития и совершенствования систем водоснабжения и водоотведения, а так же индикаторных показателей качества предоставления услуг на уровне развитых стран.

На сегодняшний день практически все централизованные системы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, как и эксплуатирующие их предприятия, находятся на самом начале реформирования, т. е. на старте «дорожной карты» по указанию председателя АК «Узсувтаъминот», совместно с Водной инспекции выполнено «дорожная карта» по обеспечению питьевой водой, в разрезе каждой махалле, по всей республике.

Различают централизованное и децентрализованное водоснабжение. **Централизованное водоснабжение** обеспечивает водой несколько точек водозабора путем организации водопровода, представляющего собой комплекс инженерных сооружений, с помощью которого проводятся забор

воды из источника водоснабжения, обработка, необходимая для доведения ее качества до требований потребителя, подача воды к месту потребления и распределения между потребителями. Качество питьевой воды регламентируется УзДСТ 950-2011 «Вода питьевая» [4].

Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение организуется на поверхностных или подземных источниках воды. При **децентрализованном, местном, водоснабжении** забор воды населением проводится непосредственно из источника воды, без разводящей сети труб. В качестве источника водоснабжения чаще всего используют грунтовые воды, а водозаборами служат шахтные колодцы или каптажи родников (ключей). Санитарными правилами разрешается использование для питьевых целей колодезной воды с коли-индексом не более 10, мутностью по стандартной шкале не более 1,5 мг/л, прозрачностью не менее 30 см, цветностью не выше 30 градусов [4]. Остальные показатели химического состава и органолептические свойства колодезной воды должны соответствовать требованиям УзДСТ 950-2011 «Вода питьевая».

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определенной группы потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды или ухудшение ее качества в недопустимых пределах).

Система водоснабжения населенного места должна обеспечивать получение воды из природных источников, ее очистку, если это вызывается требованиями потребителей, и подачу к местам потребления.

Питьевое водоснабжение включает выбор и оценку возможных источников водоснабжения (для подземных вод – оценку их запасов), выбор места заложения и строительство водозаборных сооружений, санитарную оценку вод и мероприятия по их охране от загрязнения. Для питьевого водоснабжения используются природные источники воды: поверхностные - открытые водотоки и водоемы (реки, водохранилища, озера, моря) и подземные, в ряде случаев источником питьевого водоснабжения могут служить воды, извлекаемые дренажными выработками при осушении месторождений полезных ископаемых.

При выборе источника водоснабжения прежде всего учитывается заданная потребность в питьевой воде и наличие в районе поверхностных или пресных подземных вод. С точки зрения качества вод и их защищенности от загрязнения предпочтение отдается подземным водам. При выборе поверхностного источника водоснабжения оцениваются гидрологии,

условия, минимальные и средние расходы воды, соответствие их предполагаемому водозабору, санитарная характеристика бассейна, развитие промышленности, наличие и возможность появления источников бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения в районе будущего водозабора. При несоответствии поверхностного источника водоснабжения требованиям состава и свойств питьевой воды по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы можно запланировать мероприятия по обработке воды, обеспечивающие нужное ее качество (фильтрация, коагуляция, обеззараживание и др.). При использовании подземных вод для питьевого водоснабжения выполняются:

- поиски месторождений (участков) и в их пределах водоносных горизонтов, осуществляемых на основе региональных геолого-гидрогеологических и геофизических работ;

- предварительная разведка, включающая получение расчетных гидрогеологических параметров, выбор рациональной схемы водозабора, предварительную оценку эксплуатационных запасов подземных вод на разведанной площади;

- детальная разведка, завершающаяся оценкой эксплуатационных запасов подземных вод применительно к выработанной схеме и конструкции водозабора по категориям, обеспечивающим выделение капиталовложений на проектирование и строительство водозабора.

Коммунально-бытовое водоснабжение характеризуется относительно невысоким безвозвратным потреблением. Поэтому более широкое внедрение канализации позволит увеличить количество сточных вод, которые можно использовать повторно (после соответствующей очистки) для орошения или в промышленности. Это даст общую экономию воды, используемой ее потребителями.

### **Литература**

1. Постановление Президента Республики Узбекистан «О дополнительных мерах по развитию систем питьевого водоснабжения и канализации в Республике Узбекистан» от 30.11.2018, ПП№4040.

2. Указ Президента Республики Узбекистан «О мерах по совершенствованию управления водными ресурсами республики Узбекистан для повышения уровня обеспеченности населения питьевой водой и улучшения ее качества» от 26.11.2019 года, УП№5883.

3. O'z DSt 951:2011 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора

4. O'z DSt 950:2011 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.

**Инновационные технологии  
в гидротехническом, энергетическом  
строительстве и на водном транспорте**

УДК 629.122

**Экспериментальные исследования сопротивления движению  
барже-буксирных составов, работающих на внутренних водных путях  
Республики Беларусь**

Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А.,  
Шаталов И. М., Власов В. В., Щербакова М. К.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основании проведенных экспериментальных исследований определены силы сопротивления движению и подъемной силы, действующие на 3D-модели составов судов (барже-буксирных составов) с использованием воздушной и установлены оптимальные обводы носовой части и отношение  $L/B$  корпуса баржи в режимах буксировки и толкания при обратном движении.*

Объект исследования – состав судов (барже-буксирный состав) в режиме буксировки и толкания.

Предмет исследования – сопротивление движению составов судов (барже-буксирных составов) с использованием воздушной каверны в режиме буксировки и толкания при обратном движении; обводы носовой части и отношение  $L/B$  корпуса баржи в режимах буксировки и толкания при обратном движении.

Цель исследования – экспериментальное определение сил сопротивления движению и подъемной силы, действующих на 3D-модели составов судов (барже-буксирных составов) с использованием воздушной каверны в режиме буксировки и толкания при обратном движении; оптимизация обводов носовой части и отношения  $L/B$  корпуса баржи в режимах буксировки и толкания при обратном движении. Для достижения цели разработаны и изготовлены компьютерные (цифровые) 3D-модели составов судов (барже-буксирных составов, включающего буксир-толкатель проекта 570 и баржа проекта 775) с воздушной каверной в виде пакетной и трубчатой подачи воздуха в масштабе 1:100, а также разработан и оборудован измерительный стенд на базе гидродинамического лотка, на котором отработана современная методика проведения экспериментальных исследований по определению сил сопротивления движению и подъемной силы при использовании воздушной каверны и по оптимизации обводов носовой части и отношения  $L/B$  корпуса баржи в режимах буксировки и толкания при обратном движении. Измерение силовых параметров (силы сопротивления движению и подъемной силы при обратном движении, действу-

ющих на 3D-модели составов) производились силоизмерительным комплексом (ПАК), который был оборудован тензодатчиками (КТУ-2) и цифровой записью (АЦП). Измерение осредненных скоростей в потоке обращенного движения производились гидрометрической вертушкой ГМЦМ (погрешность измерения  $\pm 1$  %). Подача воздуха в воздушную каверну осуществлялась компрессором марки ELOAE-251-3. Регулирование подачи воздуха осуществлялось с помощью ресивера CFL-10 и регулятора давления (редуктора) типа БПО-15-3.

В результате выполненных экспериментальных исследований были определены величины сил сопротивления движению и подъемной силы, действующих на 3D-модели барже-буксирных составов с использованием воздушной каверны в режиме буксировки и толкания при обращенном движении, а также выбрана оптимальная форма обводов носовой части корпуса баржи и оптимальное отношение  $L/B$  его основных размерений.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что оптимальным и предпочтительным является режим толкания, причем при использовании под днищем баржи воздушной каверны при скорости потока воды  $v = 0,19-0,25$  м/с сила сопротивления движению модели состава в режиме толкания и буксировки на 10–15 % меньше силы сопротивления движения состава без воздушной каверны. Сравнение режима толкания с режимом буксировки при использовании воздушной каверны показывает, что при толкании состава судов сила сопротивления движению на 5–10 % меньше, чем при буксировке. Причем при буксировке происходит постоянный срыв эффекта воздушной каверны. Использование воздушной каверны под днищем баржи оказывает существенное влияние на величину подъемной силы, действующей на состав. Общее значение подъемной силы неуклонно возрастает при увлечении давления подаваемого воздуха. Применение воздушной каверны позволяет увеличить подъемную силу на 30 % при скоростях обращенного движения  $v = 0,21-0,23$  м/с. Однако, величина этой силы стабилизируется при давлениях подаваемого воздуха свыше 0,7 атм. или 0,07 МПа.

Анализ результатов экспериментальных исследований по оптимизации обводов носовой части и отношения  $L/B$  корпуса баржи в режимах буксировки и толкания при обращенном движении показал:

- наиболее оптимальной формой обводов в носовой части являются лекальные обводы с углом подъема батоксов к грузовой ватерлинии  $\alpha = 25^\circ$ , с килеватостью  $5^\circ$ , что позволяет снизить силу сопротивления движению на 16 % по сравнению с лекальными обводами, как на судне-прототипе;
- наиболее оптимальное соотношение основных размерений судна  $L/B$  должно варьироваться в пределах 4,7–5,0.

**Основные мероприятия по повышению надежности  
и безопасности каналов**

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Показана необходимость проведения эксплуатационных работ на каналах. Приведены основные мероприятия по повышению надежности и безопасности каналов.*

Особенностью большей части гидротехнических сооружений является то, что они возводятся на участках местности со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями. В период эксплуатации гидротехнических сооружений на них действуют воздушная и водная среда, волны, шуга, лед, низкая и высокая температуры, атмосферные осадки, ветер, бури, солнечная радиация. Все это приводит к изменению параметров эксплуатационной пригодности каналов и возникновению отказов. В связи с тяжелыми катастрофическими последствиями возможных аварий гидротехнических сооружений к их надежности предъявляются повышенные требования.

Изучению надежности работы каналов и их русловых деформаций посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей. Среди них можно выделить следующие: В. С. Алтунин [1], М. А. Великанов [2], К. В. Гришанин [3], Г. В. Железняков [4], А. В. Ищенко [5], В. Н. Карнаухов [6], Ю. М. Косиченко [7], Г.Л. Лобанов [8], Ц. Е. Мирцхулава [9], Э. И. Михневич [10], А. Ф. Печуров [11], Е. К. Рабкова [12], С. К. Ревяшко [13], М. А. Чернов [14] и другие.

Каналы – открытые искусственные русла правильного очертания, устроенные в земляной выемке, насыпи или полувыемке-полунасыпи.

Надежность работы каналов непосредственно зависит от условий и режима их эксплуатации. Поддержание в исправном состоянии канала и сооружений на нем требует постоянного ухода за ними, своевременного проведения ремонтов и предупредительных мер на потенциально опасных участках, быстрого устранения обнаруженных повреждений, а также систематического выполнения работ по улучшению технического состояния канала. Одной из основных задач службы эксплуатации является достоверная оценка надежности и безопасности каналов в данное время, а также прогнозирование ее на будущий период.

Для достоверной оценки надежности и безопасности каналов и других

гидротехнических сооружений необходимо ведение систематических наблюдений за качеством их эксплуатации со сбором и обобщением данных о работе отдельных элементов и регистрацией в журнале:

– всех случаев отказов в работе с указанием даты, времени, конкретного места, причины возникновения, характеристики отказа и размера причиненных повреждений, их частоты, интенсивности и среднего значения времени между соседними отказами (наработки на отказ);

– времени на отыскание повреждения, ожидание ремонта и его проведение;

– проведенных мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности, их объемы;

– затрат материальных ресурсов, рабочей силы и денежных средств на устранение повреждения.

Служба эксплуатации должна оценивать, прогнозировать и принимать меры по повышению основных показателей надежности: безотказности, долговечности и ремонтпригодности [15].

В процессе эксплуатации каналов должны проводиться повседневно работы по уходу, текущие и капитальные ремонты, выполняемые в плановом порядке. Аварийные работы – особый вид ремонта, проводимый после стихийных бедствий или аварий, их выполняют внепланово и, как правило, круглосуточно с принятием всех мер по быстрой ликвидации аварии [16].

Перечень и периодичность оказания услуг по техническому уходу за открытой осушительной сетью определены «Правилами эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» [17, приложение 1].

Периодичность капитального ремонта межхозяйственных магистральных или распределительных каналов в земляном русле составляет примерно 10 лет, при среднем сроке службы канала 50 лет [18, приложение Б].

Перечень основных работ по текущему и капитальному ремонту открытых каналов приведен в [18, приложение Г].

***К основным мероприятиям по повышению надежности и безопасности каналов относятся:***

1) проведение плановых (периодических) и внеплановых (внеочередных) осмотров, контрольных продольных и поперечных нивелировок каналов, промеров заложения откосов, берм, отметок бровок канала; контроль за оседанием грунта тела и основания каналов, особенно проходящих в торфяных грунтах и в насыпи;

2) повседневный надзор за состоянием каналов, водоохранной зоны; разъяснение населению правил пользования; охрана от повреждений и разрушений из-за бесхозяйственного отношения человека;

3) проведение систематических наблюдений за фильтрацией из каналов и работой дренажных систем (приканального дренажа), особенно в начальный период эксплуатации каналов;

4) поддержание стабильной пропускной и транспортирующей способности по всей длине канала путем проведения мер, направленных на борьбу с заилением и зарастанием их русел, так как при этом снижаются их пропускная способность и скорости течения воды, что может привести к подъему уровня воды и нарушению безопасной работы сооружения;

5) своевременная очистка русел каналов от древесно-кустарниковой и иной растительности (скашивание и удаление травы, водной растительности, вырубка и удаление деревьев и кустарника с откосов, дна, берм и эксплуатационных полос каналов), наносов, завалов, топляков и других посторонних предметов (бревен, пней, камней, земляных глыб и пр.);

6) устранение на каналах запруд, мостов, переходов и других временных сооружений, не отвечающих техническим требованиям и не предусмотренных проектной документацией;

7) своевременная подготовка каналов и сооружений к пропуску весенних и летне-осенних паводков и половодий и пропуск его (опробование затворов и подъемных механизмов, очистка от снега и посторонних предметов, скалывание и дробление льда, очистка сороудерживающих решеток, пополнение запасов аварийных материалов и инструментов, организация постоянного дежурства на ответственных сооружениях во время половодий и паводков, ликвидация возникающих разрушений и другие мероприятия);

8) подготовка каналов и сооружений к зимнему периоду (очистка русел каналов от захламления, открытие затворов регуляторов, заделка трещин и раковин в бетонных и железобетонных сооружениях, смазка трущихся частей механизмов, обозначение вешками труб-переездов и др.);

9) приведение параметров поперечного сечения и продольного уклона каналов, а также отметок к проектным размерам (досыпка и оправка дамб, очистка берм, исправление откосов и др.);

10) ликвидация деформаций русла канала при размывах русловым и склоновым потоком, возникающим в период снеготаяния и ливней и действия ветровых волн (ветровая и водная эрозия); обычно достаточной защитой откосов от дождевой эрозии (при упорядоченном отводе притекающих со стороны поверхностных вод) является создание на их поверхности и в прибрежной полосе устойчивого травяного покрова;

11) устранение фильтрационных деформаций (мокрых пятен, суффозии, выпора и др.) при выходе фильтрационного потока на низовой откос путем устройства противофильтрационных устройств или «одежд»;

12) исключение деформаций русла канала, связанных с развитием карсто-суффозионных процессов, заделка очага фильтрационных дефор-

маций (трещин) с использованием конструкций из геомембран и габрионных матов. Например, габрионно-геомембранной конструкции, предложенной Щедриным В. Н., Косиченко Ю. М., Баклановой Д. В., Баевым О. А. [19]. Габрионно-геомембранная конструкция собирается следующим образом (рис.) [20].

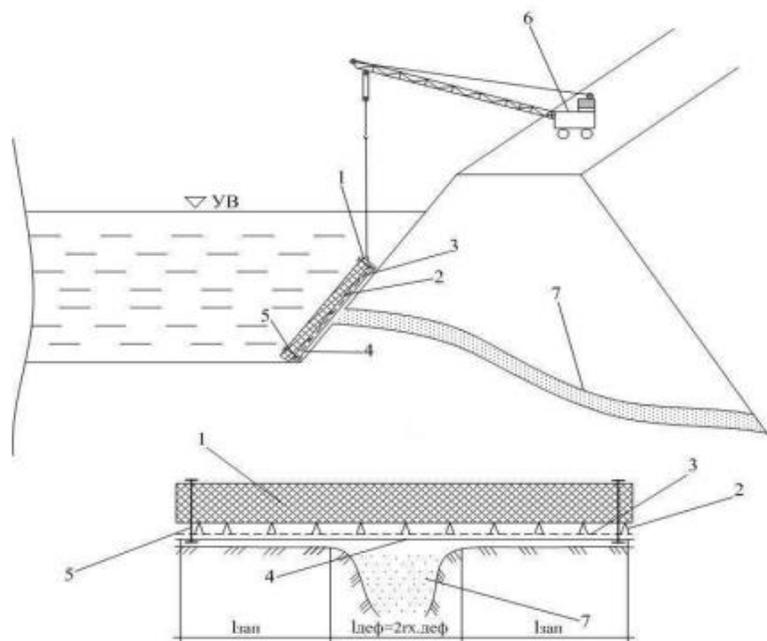


Рис. Укладка габрионно-геомембранной конструкции и заделка очага фильтрационных деформаций:

- 1 – арматурные каркасы с габрионами; 2 – алюминиевая проволока;  
 3 – геотекстиль; 4 – водонепроницаемая геомембрана; 5 – металлическая скоба;  
 6 – подъемный кран; 7 – свободный фильтрационный ход;  $l_{\text{зап}}$  – ширина запаса, принимаемая не менее 1,5 м;  $l_{\text{деф}}$  – ширина области деформации

Габрионы размещают в решетчатые арматурные каркасы (заранее изготовленные по размерам  $4 \times 3 \times 0,3$  м, весом 37 кг), к которым по всему периметру проволокой через 1,0–1,5 м прикрепляется тканый геотекстиль, обладающий высокой прочностью, малой деформируемостью, высокой водопроницаемостью и средней плотностью ( $600 \text{ г/м}^2$ ), после чего укладыва-

ется полотнище водонепроницаемой геомембраны (изготовленной, например, из полиэтилена низкой или высокой плотности, в том числе из полимерных отходов) и производится крепление всей конструкции с двух сторон с помощью металлических скоб. После этого готовая габионно-геомембранная конструкция погружается под воду на откос с помощью подъемного крана на предварительно установленное по результатам промерных работ место расположения входной части свободного фильтрационного хода в дамбе канала;

13) ликвидация просадок дамб на потенциально опасных участках канала посредством уширения насыпей; сбора и отвода воды с нагорной стороны насыпи; перехвата и отвода от насыпи грунтовых вод; восстановления проектных отметок дамб; возведения поддерживающего сооружения; укрепления откосов;

14) устранение оползней на откосах каналов, проходящих в насыпи и на косогоре, а также в несвязных мелкозернистых и пылеватых песчаных и малосвязных супесчаных грунтах (в зоне высачивания грунтовых вод), особенно при их слоистом сложении и заложении у подошвы пльвунных грунтов, путем уположивания откосов; применением контрбанкетов, т. е. креплением (пригрузкой) откосов фильтрующими материалами (пористым бетоном, гравием, щебнем и т. п.) с устройством при необходимости приоткосного дренажа для снижения фильтрационного давления; созданием противофильтрационных устройств или облицовок канала; возведением поддерживающих сооружений при ремонте дамб на косогоре и др.

Для предотвращения оползней, образуемых в результате промерзания и оттаивания поверхностного слоя откосов в связных глинистых и суглинистых грунтах, откосы одерновывают или покрывают их слоем растительного грунта необходимой толщины;

15) исключение выпучивания грунта с низовой стороны дамбы канала в насыпи или на косогоре, где оно связано с наличием грунтовых вод, посредством устройства дренажа для перехвата и отвода воды или биодренажа – посадки деревьев с наибольшей водопоглощаемостью вдоль канала (эвкалипт способен выкачать из земли до 300 л/сут, ясень – до 400 л/сут, дуб – 250–600 л/сут, ива, тополь, береза, клен – до 250 л/сут, черемуха, ель – 150–250 л/сут, сосна – до 150 л/сут) либо увеличением длины фильтрационного потока под дамбой;

16) своевременное проведение текущего и капитального ремонтов канала;

17) повышение требований к качеству выполнения проектных и строительных работ;

18) обеспечение устойчивости откосов дамб и каналов осушительно-увлажнительных и польдерных систем, так как они в зоне действия водорегулирующих сооружений и насосных станций работают в условиях пе-

ременного уровня воды в русле.

Устойчивость незакрепленных откосов будет обеспечиваться при соблюдении следующих основных условий:

а) при откачке воды на польдерах, сбросе воды из прудов, а также в нижнем бьефе за водорегулирующими сооружениями на осушительно-увлажнительных каналах максимальная скорость  $v_{\text{сн}}$  снижения уровня воды в канале не должна превышать допустимую  $v_{\text{сн,доп}}$ , т. е. должно соблюдаться условие:

$$v_{\text{сн}} < v_{\text{сн,доп}}, \quad (1)$$

где  $v_{\text{сн}}$  – максимальная скорость снижения уровней в канале, м/ч;

$v_{\text{сн,доп}}$  – допустимая скорость снижения уровней, м/ч, которую для песчаных незакрепленных откосов следует определять по формуле Э. И. Михневича [10, 21–23], при условии, что высота снижения уровня откачки  $h_{\text{сн}}$  больше допустимой высоты высачивания  $h'_{\text{в,д}}$  грунтовых вод на откос, т. е.  $h_{\text{сн}} > h'_{\text{в,д}}$ . Если  $h_{\text{сн}} \leq h'_{\text{в,д}}$ , то скорость снижения уровня в канале  $v_{\text{сн}}$  не ограничивается, местная устойчивость от гидродинамического давления не нарушается и необходимость в определении допустимой скорости снижения отпадает.

Проверку на устойчивость откосов канала следует проводить для положения горизонта, соответствующего меженному периоду. Для связных устойчивых грунтов (глина, суглинок, торф) величина допустимой скорости снижения уровней не ограничивается.

Допустимые скорости снижения уровня воды в канале в разных грунтах приведены в [21, табл. 9.2].

Максимальную скорость  $v_{\text{сн}}$ , м/с, снижения уровня воды в устье канала рекомендуется определять по формуле А. П. Русецкого [21].

Если максимальная скорость снижения уровней удовлетворяет условию (1), то устойчивость откосов при принятых параметрах канала и подаче насосных агрегатов обеспечивается. Если условие (1) не соблюдается, то есть при скорости снижения уровня воды  $v_{\text{сн}} > v_{\text{сн,доп}}$ , предусматриваются мероприятия по обеспечению устойчивости откоса (увеличение ширины по дну, глубины, коэффициента заложения откоса; уменьшение высоты сработки горизонта в одном цикле; уменьшение подачи насосов; крепление откосов, например, дренирующей пригрузкой из крупнозернистого материала или пористого бетона) [21].

б) скорость продольного потока вдоль откосов дамб и в каналах не должна превышать допускаемую на размыв, значения которой определяются по формулам для оценки устойчивости откосов к размыву, разрабо-

танном Э. И. Михневичем [10, 22–26];

в) откосы должны быть устойчивы к воздействию волн [26, 27].

Перечисленный комплекс мероприятий способствует уменьшению величины общего риска возникновения аварийной ситуации на угрожаемых участках канала.

### Литература

1. Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
2. Великанов, М. А. Русловой процесс / М. А. Великанов. – М.: Физматгиз, 1958. – 396 с.
3. Гришанин, К. В. Устойчивость русл рек и каналов / К. В. Гришанин. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 144 с.
4. Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г. В. Железняков. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 310 с.
5. Ищенко, А. В. Обоснование рациональных конструкций противофильтрационных устройств гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07 / Ищенко Александр Васильевич. – СПб., 2010. – 32 с.
6. Карнаухов, В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на открытой сети мелиоративных систем / В. Н. Карнаухов. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 347 с.
7. Косиченко, Ю. М. Противофильтрационный покрытия из геосинтетических материалов: монография / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 239 с.
8. Лобанов, Г. Л. Неразмываемые русла земляных каналов и разработка рекомендаций по их гидравлическому расчету: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 / Лобанов Георгий Леонидович. – Новочеркасск, 1995. – 24 с.
9. Мирцхулава, Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел / Ц. Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 303 с.
10. Михневич, Э. И. Устойчивость русл открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск: Ураджай, 1988. – 240 с.
11. Печкуров, А. Ф. Устойчивость русл рек и каналов / А. Ф. Печкуров. – Минск: Ураджай, 1989. – 644 с.
12. Рабкова, Е. К. Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле / Е. К. Рабкова. – М.: Изд-во УДН, 1990. – 252 с.
13. Ревяшко, С. К. Динамическая устойчивость мелиоративных каналов / С. К. Ревяшко. – Минск: Ураджай, 1988. – 112 с.
14. Чернов, М. А. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Чернов Михаил Александрович. – Новочеркасск, 2011. – 24 с.

15. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – Введ. 01.07.90. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 37 с.
16. Ачкасов, Г. П. Технология и организация ремонта мелиоративных гидротехнических сооружений / Г. П. Ачкасов, Е.С. Иванов. – М.: Колос, 1984. – 174 с.
17. О некоторых вопросах эксплуатации (обслуживания) и ведения государственного учета мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 10 июля 2009 г., № 920 (ред. от 29.09.2016 г., №787) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. № 183. – 5/30173.
18. Ремонт мелиоративных систем. Порядок проектирования : ТКП 45-3.04-176-2009. – Введ. 01.07.2010.– Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 44 с.
19. Пат. 2562487 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3-12. Способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала / Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В., Баев О. А.; заявитель и патентообладатель ОАО «ЮжНИИГиМ». – № 2013149777; заявл. 06.11.2013; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14. – 7 с.
20. Щедрин, В. Н. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
21. Пolderные мелиоративные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-179-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 106 с.
22. Михневич, Э. И. Методика расчетов каналов и коллекторов: пособие для студентов специальностей 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» и 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / Э. И. Михневич, Н. Н. Линкевич. – Минск: БНТУ, 2021. – 126 с.
23. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск: БНТУ, 2021. – 311 с.
24. Михневич, Э. И. Определение допускаемых скоростей течения воды в каналах / Э. И. Михневич // Гидротехническое строительство. – 1989. – № 1. – С. 14–18.
25. Михневич, Э. И. Расчет пропускной способности и устойчивости каналов / Э. И. Михневич // Экология и строительство. – 2020. – № 1. – С. 23–31.
26. Михневич, Э. И. Обеспечение устойчивости откосов дамб для защиты от наводнений на реке Горыни / Э. И. Михневич, П. М. Богославчик, Е. А. Володько // Наука и техника. – 2013. – № 5. – С. 39–44.
27. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2015. – 306 с.

**Решение осесимметричной задачи при скоростном  
комбинированном выдавливании биметаллических  
дорожных резцов**

Быков К. Ю., Качанов И. В., Ленкевич С. А, Шаталов И. М.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены зависимости, полученные в результате перехода от плоской к осесимметричной деформации при скоростном комбинированном выдавливании биметаллических дорожных резцов.*

Для перехода к осесимметричной деформации при скоростном комбинированном выдавливании биметаллических дорожных резцов были использованы зависимости, полученные для решения плоской задачи [1] и ряд дополнительных преобразований, представлявших собой условия перехода к осесимметричному напряженному состоянию.

Так, согласно этим преобразованиям, в начале ширина заготовки  $b$  приравнивалась к высоте заготовки  $2A$  ( $b = 2A$ ). Откуда получалось, что площадь исходной заготовки  $f_{п.исх} = 2Ab$  увеличивалась до значения  $f_{п.кв} = 4A^2$ . Затем производилась замена площади квадратной заготовки  $f_{п.кв} = 4A^2$  на равновеликую площадь круга  $f_{кр} = \pi D^2/4$  (см. рис) [2].

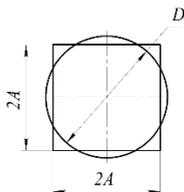


Рис. Форма равновеликих площадей квадратной и круглой заготовок при переходе к осесимметричной деформации [2]

В результате предложенной замены были получены зависимости для расчета усилия необходимого для скоростного выдавливания осесимметричного дорожного резца [2].

Полученные зависимости имеют следующий вид [2]

$$P_{п.р.с} = \frac{1,57D^2M \left\{ k \left[ F_{1,опт}(\alpha, \lambda_1, \mu) + 2\mu h_p \frac{\lambda_1^2 + 1}{0,443D} \right] + \rho v_0^2 F_{2,опт}(\alpha, \lambda_1) \right\}}{M - 0,348D^3 \rho \left( F_{3,опт}(\alpha, \lambda_1) + h_p \frac{\lambda_1^2}{0,443D} + \frac{l_{п.б} \rho_{п.б}}{0,443D\rho} \right)} \quad (1)$$

$$P_{п1.с} = \frac{1,57D^2M \left\{ k \left[ F_{4,опт}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left( \frac{L_{зар'} - h_1}{0,443D} + h_1 \frac{\lambda_2^2}{0,443D} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5,опт}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 0,348D^3 \rho \left( F_{6,опт}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1}{0,443D} + h_1 \frac{\lambda_1^2}{0,443D} + \frac{l_{п.б} \rho_{п.б}}{0,443D\rho} - \frac{h_p}{0,443D} \right)} \quad (2)$$

$$P_{п2.с} = \frac{1,57D^2M \left\{ k \left[ F_{4,опт}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left( \frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{0,443D} + h_2 \frac{\lambda_2^2}{0,443D} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5,опт}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 0,348D^3 \rho \left( F_{6,опт}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{0,443D} + h_2 \frac{\lambda_1^2}{0,443D} + \frac{l_{п.б} \rho_{п.б}}{0,443D\rho} - \frac{h_p}{0,443D} \right)} + \frac{1,57D^2M \left\{ k \left[ F_{7,опт}(\gamma, \lambda_3, \mu) + 2\mu \left( h_2 \frac{\lambda_3^2(\lambda_3 + 1)}{0,443D} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{8,опт}(\gamma, \lambda_2, \lambda_3) \right\}}{M + 0,348D^3 \rho \left( F_{9,опт}(\gamma, \lambda_3) + h_2 \frac{\lambda_2^2(\lambda_3 + 1)}{0,443D} \right)} \quad (3)$$

где  $P_{п.р.}$ ,  $P_{п1}$ ,  $P_{п2}$  – усилия, воспринимаемые пуансоном;  $h_p$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  – пути деформирования на стадии разгона, первом и втором этапах стадии торможения соответственно;  $D$  – диаметр равновеликого круга осесимметричной заготовки;  $L_{зар'}$  – длина заготовки;  $A$  и  $b$  – геометрические размеры (высота и ширина) заготовки, пуансона и промежуточного бойка;  $M$  – масса пуансона;  $k$  – пластическая постоянная;  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  – коэффициенты вытяжек;  $\mu$  – коэффициент контактного трения;  $v_0$  – начальная скорость пуансона;  $\rho$  – плотность заготовки;  $l_{п.б}$  – длина промежуточного бойка;  $\rho_{п.б}$  – плотность промежуточного бойка;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – углы матричной полости;  $F_{1,опт}$ ,  $F_{9,опт}$  – функционалы усилий выдавливания, определяемые в зависимости от условий деформирования.

Полученные математические зависимости (1)–(3) для определения усилия при скоростном, комбинированном выдавливании биметаллических дорожных резцов в условиях осесимметричной деформации могут быть рекомендованы для расчета энергосиловых параметров при промышленной реализации технологии скоростного, комбинированного выдавливания биметаллических дорожных резцов [2].

## Литература

1. Быков, К. Ю. Силовой режим скоростного комбинированного выдавливания плоских биметаллических дорожных резцов / К. Ю. Быков, И. В. Качанов, И. М. Шаталов // Наука и техника. 2021. Т. 20, № 4. С. 287–295. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-287-295>.

2. Быков, К. Ю. Силовой режим осесимметричного скоростного комбинированного выдавливания биметаллических дорожных резцов / К. Ю. Быков, И. В. Качанов, И. М. Шаталов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 66, № 4. – С. 411–419. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2021-66-4-411-419>.

УДК 62-757.73

### **Иновационная технология реверсивно-струйной очистки (РСО) металлических поверхностей гребных винтов от коррозии**

Качанов И. В.<sup>1</sup>, Ковалевич В. С.<sup>1</sup>, Шаталов И. М.<sup>1</sup>, Филипчик А. В.<sup>2</sup>,  
Кособуцкий А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»  
Государственного учреждения образования «Университет гражданской  
защиты» Министерства по чрезвычайным ситуациям  
д. Светлая Роща, Республика Беларусь

*Приведены результаты исследований по очистке металлической поверхности гребного винта от коррозии с использованием технологии струйной гидроабразивной обработки с применением бентонитовой глины. Установлено наличие защитного пленочного покрытия, сформированного в процессе обработки струйной ГАО.*

Гребной винт имеющий износ от биологической и химической коррозии основного металла не может обладать проектными качествами, что приводит к потере ходкости судна, а следовательно, снижению КПД импульсивного комплекса и повышенному расходу топлива.

Установлено, что весьма эффективно для борьбы с коррозией гребного винта может быть использована технология реверсивно-струйной очистки (РСО), обеспечивающая наряду с очисткой, формирование защитного пленочного покрытия с достаточно высокой адгезионной прочностью.

Для экспериментального исследования, а также для оценки практической применимости новой технологии РСО в качестве образца был выбран

гребной винт (марка материала – ВСтЗсп4), применяемый в роли движителя на буксире-толкаче проекта 861У.

Гребной винт до обработки (рис. 1, *а*), имевший серьезный износ от биологической и химической коррозии основного металла, не мог обладать проектными качествами, что приводило к потере ходкости судна, а следовательно, снижению КПД пропульсивного комплекса и повышенному расходу топлива.

В ходе экспериментальных исследований в лабораторных условиях на кафедре ГЭСВТГ гребной винт был обработан с помощью новой технологии реверсивно-струйной очистки (рис. 1, *б*). После обработки было обнаружено и зафиксировано на поверхности гребного винта пленочное покрытие (рис. 2), химический состав и его морфология в дальнейшем были изучены.



Рис. 1. Внешний вид лопастей гребного винта:  
*а* – поверхность до обработки; *б* – обработанная поверхность

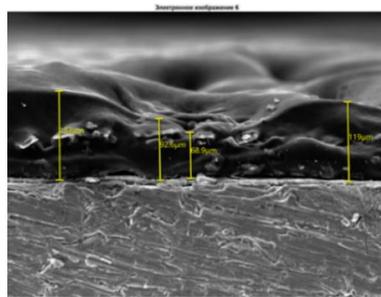


Рис. 2. Пленочное покрытие, образованное после обработки по технологии РСО на поверхности гребного винта

Для установления химического состава пленочного покрытия на поверхности гребного винта в нескольких точках производился рентгеновский энергодисперсионный спектрометрический анализ с учетом Fe и без учета Fe.

Одними из важных морфологических характеристик, влияющих на пропульсивные качества гребного винта, являются шероховатость и микротвердость засасывающей и нагнетательной поверхностей.

Исследования морфологических характеристик гребного винта проводились в испытательном центре ГНУ «ИПМ» (г. Минск). При проведении испытаний шероховатость определялась на профилометре-профилографе модели 252 типа А1. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере «Micromet – 2». Адгезионная прочность измерялась методом склерометрии.

Анализ данных, полученных при изучении химического состава пленочного покрытия, позволил установить, что в состав покрытия входят те же элементы, которые составляют химическую основу компонентов рабочей жидкости (бентонитовая глина – 3 %, кальцинированная сода – 2 %, полиакриламид – 10–5 %)

Одним из основных параметров при исследовании пленочного покрытия является его адгезионная прочность, определяемая в момент разрушения индентором (рис. 3).

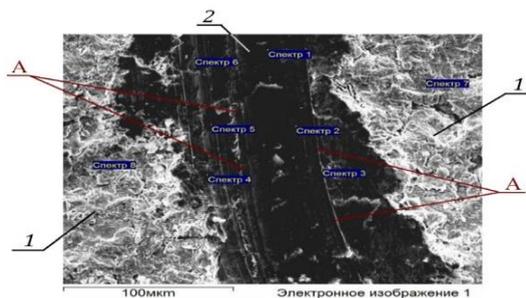


Рис. 3. Внешний вид защитного пленочного покрытия, разрушенного на очищенной поверхности гребного винта после проведения испытаний на адгезионную прочность:

1 – участки поверхности гребного винта с неразрушенным пленочным покрытием; 2 – вид участка поверхности гребного винта после разрушения индентором пленочного покрытия

При ширине царапины 105 мкм и критической нагрузке 0,5 Н адгезионная прочность пленочного покрытия составила 28 МПа. Рис. 3 подтвер-

ждает наличие пленочного покрытия на участках 1 обработанной поверхности гребного винта. Здесь же видны следы А, которые образовались при перемещении индентора в процессе разрушения пленочного покрытия на участке 2 поверхности гребного винта.

Эффективность метода реверсивно-струйной очистки, а также стойкость обработанной поверхности к образованию очагов повторной коррозии была подтверждена с помощью визуального наблюдения. Изменения, происходившие на поверхности обработанного гребного винта во времени, фиксировалось последовательным фотографированием (рис. 1, б). Визуальное наблюдение позволило фиксировать изменение внешнего вида поверхности металла, при этом отмечено, что в течение как минимум трех недель после обработки металлическая поверхность гребного винта сохраняла матовый цвет, очаги возникновения повторной коррозии отсутствовали.

УДК 378.662 (476)

#### **К 100-летию со дня рождения доцента кафедры ГТС Е. М. Левкевича**

Левкевич В. Е.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье приведен творческий путь одного из старейших преподавателей кафедры гидротехнического строительства Левкевича Евгения Моисеевича. Описана биография, раскрыты некоторые стороны педагогической и научной деятельности Левкевича Е. М., к. т. н, доцента, преподавателя, проработавшего более 50 лет на кафедре ГТС.*

В 2022 г. исполняется 100 лет со дня рождения одного из старейших и уважаемых преподавателей кафедры гидротехнического строительства, известного ученого Левкевича Евгения Моисеевича (рис. 1).

Евгений Моисеевич родился в 1922 году 22 августа в семье профессиональных учителей одной из средних школ г. Минска. Отец, директор школы и учитель физики и математики, и мама, учительница младших классов, с детства приучили Евгения к усердию в точных науках, что способствовало развитию аналитического склада ума и позволило впоследствии стать непререкаемым авторитетом среди своих сверстников.



Рис. 1. Левкевич Е. М. (22.08.1922 – 12.05.2004 г.г.)

В 1940 г. Левкевич Е. М. был призван в Красную армию, и в период Великой Отечественной войны участвовал в обороне г. Москвы. Воевал в войсках ПВО и защищал небо столицы и не только ее в качестве командира зенитной батареи, участвовал в знаменитом Параде на Красной площади 7 ноября 1941 г. Награжден рядом государственных наград, в том числе медалями «За оборону Москвы», «За победу над Германией» и другими, а также орденом «Отечественной войны» 2 степени. Был несколько раз контужен и ранен [1].

После окончания Великой отечественной войны Левкевич Е. М., как бывший фронтовик, имел право льготного поступления в высшие учебные заведения СССР. Он одновременно подал документы в Ленинградский кораблестроительный институт, куда давно мечтал поступить еще до войны, и Московский энергетический институт. Неожиданно оказалось, что он был принят в оба высших учебных заведения. Посоветовавшись с родителями, выбрал МЭИ, позже переводом перешел в восстанавливаемый Белорусский политехнический институт – БПИ, находившийся в лежащем в руинах родном Минске.

Так Левкевич Е. М. оказался в БПИ на кафедре гидротехнического строительства факультета гидротехнического и дорожного строительства (ФГДС), на которой и проработал всю свою жизнь. Здесь он овладел проведением экспериментальных работ, успешно окончил аспирантуру, защи-

тил кандидатскую диссертацию, стал доцентом, подготовил ряд кандидатов технических наук: Юхновца В. Н., Сурму В. Н., аспирантов Сапожникова Г. П., Козлову Т. Н., Силлу Мамади, Мехедькина М. И. – и сформировал свою оригинальную научную школу.

Е. М. Левкевич был достаточно известен в Советском Союзе и в республике как специалист в области берегоукрепления и динамики берегов малых водохранилищ, которые после войны повсеместно создавались на территории СССР. Одним из первых в Советском Союзе он создал на водохранилищах сеть стационарных наблюдений за деформацией береговых склонов, которая включала в себя около 350 стационарных створов, существующих и поныне. Эта сеть является в настоящее время абсолютно уникальным проектом, т. к. наблюдения по ней продолжаются более 70 лет! Аналогов на постсоветском пространстве просто нет.

Следует отметить, что у истоков развития исследований береговых процессов в Беларуси стояли известные советские ученые: видный океанолог и геоморфолог профессор, доктор географических наук В. П. Зенкович – основатель лаборатории шельфа и морских берегов Института Океанологии им. П. П. Ширшова РАН и известный советский океанолог, доктор географических наук, профессор, основатель раздела литодинамики океана В. В. Лонгинов, впоследствии ставший консультантом по докторской диссертации Левкевича Е. М., которая, к сожалению, по ряду причин не была защищена.

Наряду с натурными исследованиями Левкевичем Е. М. широко проводились лабораторные эксперименты в учебной гидротехнической лаборатории кафедры. По инициативе Левкевича Е. М. было запроектировано и создано два волновых лотка, которые используются в учебном процессе и научных исследованиях (рис. 2).

В период 60–70-х годов XX века благодаря высокому уровню проводимых исследований и значимости полученных результатов усилиями Левкевича Е. М. развивались и поддерживались тесные творческие контакты между белорусскими и украинскими учеными, которые сохранялись как на уровне институтов (института гидромеханики АН УССР и Белорусского политехнического института), так и личностных творческих связей между известными советскими учеными: член-корреспондентом Б. А. Пышкиным, к. т. н. В. Л. Максимчуком, к. т. н. Е. С. Цайтцем.



Рис. 2. Волновые лотки гидротехнической лаборатории

Исследования, проводившиеся в Беларуси на ряде водохранилищ, были настолько уникальными, что вызывали интерес у ученых бывшего СССР и неоднократно цитировались в крупнейших изданиях и монографиях различных авторов, а Е. М. Левкевич представлял БССР в различных комиссиях Академии наук СССР и экспертных Советах по реализации проектов.

В этот период Левкевич Е. М. практически сформировал научное направление, а впоследствии научную школу по исследованию современных эрозионных процессов, надежности и устойчивости конструкций берегозащиты на создаваемых искусственных водных объектах БССР – водохранилищах Заславской, Осиповичской и Лепельской ГЭС, наблюдения за которыми ведутся более 70 лет по созданной Левкевичем Е. М. во второй половине XX и начале XXI веков сети стационарных наблюдений.

Для решения практических задач по берегозащите по предложению Левкевича Е. М. во внутреннем дворе главного корпуса БНТУ рядом с гидролабораторией был построен уникальный (даже в масштабах СССР) волновой бассейн, позволявший моделировать деформации откосов практически в условиях, приближенных к натурным.

Созданная хорошая лабораторная база требовала наличия высокоточного измерительного и регистрирующего оборудования, позволяющего получать достоверные репрезентативные результаты. Левкевичем Е. М. был разработан приборно-измерительный комплекс, в состав которого вошли оригинальные датчики давления и скорости волнового потока, регистрирующее оборудование со шлефовым пишущим многоканальным осциллографом и многоканальный усилитель сигналов (рис. 3 и 4). Комплекс получился настолько удачным, что представлял БПИ на Всесоюзной выставке достижений народного хозяйства (ВДНХ), где и был отмечен серебряной медалью.

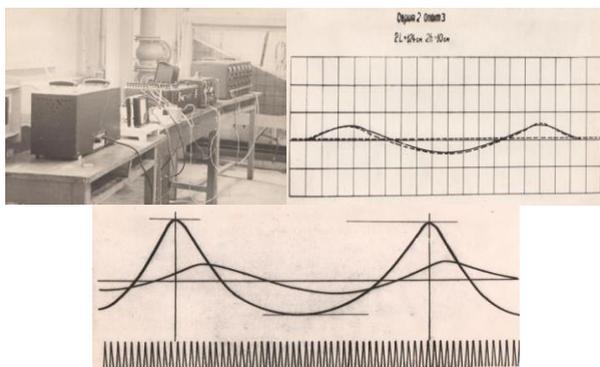


Рис. 3. Приборно-измерительный комплекс ПИК БПИ-2



Датчик волнового давления



Датчик скорости

Рис. 4. Датчики давления и скорости приборно-измерительного комплекса, разработанные Е. М. Левкевичем

Направление исследований, развиваемое и возглавляемое кандидатом технических наук, доцентом Левкевичем Е. М. всегда было одним из приоритетных на кафедре и поддерживалось в различные годы руководством кафедры: заведующими, кандидатами технических наук, доцентами Шимко К. И., Филипповичем И. В., Г. Г. Кругловым.

Следует отметить, что в конце 60-х годов ряд лет Левкевич Е. М. возглавлял НИЧ БПИ. В то же время большое внимание им уделялось общественной жизни института и воспитанию молодежи. В течение ряда лет Левкевич Е. М. возглавлял партийную организацию факультета.

Профессиональная педагогическая деятельность, осуществлявшаяся Евгением Моисеевичем Левкевичем, всегда вызывала большое уважение

как коллег по кафедре, так и преподавателей других ВУЗов страны, приехавших по обмену опытом в Беларусь. Левкевичем Е. М. за время преподавания подготовлены более 300 высокообразованных технически грамотных специалистов, которые работали и продолжают работать на крупнейших гидротехнических объектах Беларуси и бывшего СССР.

Ряд бывших студентов и выпускников факультета, благодаря в какой-то мере усилиям и советам, а также примеру преданности Левкевича Е. М. научным исследованиям и экспериментам, выбрали свой жизненный путь в научной сфере и достигли значительных успехов, стали известными далеко за пределами страны учеными. Среди них можно назвать д. т. н., профессора Михневича Э. И., д. т. н., профессора Рогуновича В. П., д. т. н., профессора Колобаева А. Н., д. т. н. Васильченко Г. В. и многих других.

В заключение следует отметить, что Левкевич Е. М., являясь «от бога» талантливым педагогом, прирожденным исследователем и экспериментатором, за свою долгую творческую жизнь внес значительный вклад как в современную науку, так и в педагогику, готовя инженерные кадры и формируя одну из научных школ, существующих в БНТУ.

Творческое наследие Евгения Моисеевича Левкевича составляет более 150 опубликованных научных работ, изобретений и учебно-методических разработок, а ученики и последователи Евгения Моисеевича Левкевича, одного из старейших преподавателей кафедры гидротехнического строительства, по мере возможности реализовали и преумножили профессиональные знания, которые были получены ими в период обучения в Белорусском национальном техническом университете.

### **Литература**

1. БНТУ, 100 лет истории // под ред. С.В. Харитончика, В. А. Бобкова. Минск, БНТУ, 2020. – 245 с.

УДК 625.7/.8

### **Поверхностный водоотвод для предохранения земляного полотна от переувлажнения и размыва**

Копаченя С. С., Линкевич Н. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены общая характеристика автомобильных дорог Беларуси, а также конструкции водоотводных устройств, применяемые в дорожном строительстве и их роль в эксплуатации дороги и сооружений на ней.*

По данным Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 гг. протяженность сети автомобильных дорог общего пользования в Беларуси составляет 87 002 км, в том числе республиканских дорог – 15 926 км, местных – 71 076 км. Из общей протяженности дорог твердое покрытие имеют 75 567 км (или 86,9 %), в том числе усовершенствованное покрытие (асфальтобетонное и цементобетонное) – 49 041 км (или 56,4 %). В составе сети автомобильных дорог общего пользования имеется 5298 мостов и путепроводов общей протяженностью 187 тыс. пог. м. Протяженность грунтовых автомобильных дорог составляет 11 435 км (16,1 % от протяженности местных автомобильных дорог) [1]. Однако транспортно-эксплуатационное состояние республиканских и местных автомобильных дорог не в полной мере удовлетворяет потребности народного хозяйства в автомобильных перевозках. Согласно результатам дорожной диагностики 2019 г. протяженность участков республиканских автомобильных дорог, не соответствующих нормативным требованиям, составляет 5631 км (35,4 %). Эти участки имеют несоответствия по одному или нескольким параметрам: ровность покрытия – 3203 км дорог (20,1 % от протяженности республиканских автомобильных дорог), дефектность покрытия – 3770 км (23,6 %), прочность дорожных одежд – 1947 км (12,2 %). Такое состояние данных участков дорог вынуждает водителей транспортных средств снижать скорость движения, что приводит к экономическим издержкам. Помимо этого, с ограничением несущей способности дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 1975 км республиканских автомобильных дорог (12,4 %) и 56 763 км – местных (79,9 %). Протяженность капитально отремонтированных республиканских и местных автомобильных дорог в 2020 г. по сравнению с 2008 г. (год, в котором республиканский дорожный фонд не являлся частью бюджетов всех уровней и не подлежал изъятию) соответственно сократилась в 15,4 и в 1,3 раза, а протяженность дорог, на которых произведен текущий ремонт – в 3,3 и в 2,6 раза [1]. Из-за недостаточного финансирования не обеспечивается восстановление ежегодного износа, что ведет к необратимому процессу постепенного разрушения дорожных покрытий.

В 2021–2025 гг. развитие автомобильных дорог Беларуси осуществляется в рамках реализации Государственной программы «Дороги Беларуси», которая включает две подпрограммы: «Республиканские автомобильные дороги» (задачи – улучшение транспортно-эксплуатационного состояния, а также повышение качественных показателей республиканских автодорог) и «Местные автомобильные дороги» (улучшение состояния местных автомобильных дорог). Согласно первой подпрограмме, запланированы ремонт и реконструкция не менее 809,6 км республиканских автодорог, повышение несущей способности их дорожного покрытия до 11,5 т на ось, а также увеличение скоростного режима на протяжении не менее 1,78 тыс. км. Кроме того, в пла-

нах реконструкция и возведение 509,6 км таких дорог, в том числе по параметрам I категории – 272,7 км, и почти 8,2 тыс. пог. м дорожных сооружений на этих дорогах. На местных автомобильных дорогах (вторая подпрограмма) планируется выполнить работы по поддержанию их транспортно-эксплуатационных показателей, отремонтировать, реконструировать и возвести не менее 7 тыс. км таких дорог, из них по новым технологиям – не менее 138 км. Также в планах ремонт и реконструкция 137 дорожных сооружений протяженностью около 4,2 тыс. пог. м. Запланированы также работы по диагностике и оценке эксплуатационного состояния и качества содержания автомобильных дорог и дорожных сооружений, текущим и периодическим осмотрам, обследованию и испытанию дорожных сооружений, учету интенсивности движения и характеристик транспортного потока, паспортизации автомобильных дорог, инженерно-техническому сопровождению содержания автомобильных дорог и другое. На реализацию Государственной программы потребуются средства в размере Br10 552 470 504,8 [1].

Для обеспечения сохранности автомобильных дорог и дорожных сооружений в процессе эксплуатации требуется выполнение норм их ремонта и содержания в соответствии с нормативными документами, а также правовыми и организационно-техническими мероприятиями по предупреждению, пресечению и устранению причин повреждения и преждевременного разрушения элементов дорог и дорожных сооружений. При ремонте дорожных покрытий необходимо использовать прогрессивные инновационные технологии, обеспечивающие высокое технико-эксплуатационное качество дорожных покрытий. Тем не менее, некоторым вопросам, определяющим показатели транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, в частности, функционированию системы поверхностного водоотвода уделяется недостаточное внимание. Работоспособность систем водоотвода автомобильных дорог определяется правильностью и целесообразностью выбранных инженерных решений, качеством строительных и ремонтных работ, а также надзором водоотводных сооружений во время эксплуатации.

Водоотвод дорожный служит для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными и грунтовыми водами, прерывания и предотвращения доступа воды к нему снизу, сбора и отвода воды с откосов выемки, понижения уровня грунтовых вод в основании земляного полотна, перехвата и отвода грунтовой воды, поступающей к дороге со стороны, сброса поверхностной воды в местах с необеспеченным стоком, а также для обеспечения производства работ по сооружению земляного полотна. Предохранение земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и размывов обеспечивают системами поверхностного водоотвода (планировкой территории, устройством кюветов, канав, лотков, быстротоков, испарительных

бассейнов, поглощающих колодцев и т. д.) [2–5]. Согласно [5] система поверхностного водоотвода городских и поселковых дорог должна быть сопряжена с действующей или строящейся системой ливневой канализации города. Если система канализации в местах устройства автодороги отсутствует, то ее устройство должно быть предусмотрено проектом.

Схема водоотвода с поверхности насыпей автомобильных дорог зависит от ширины проезжей части и обочин. Для дорог I–III категорий водоотвод может обеспечиваться *прикромочными водоотводными лотками*, расположенными вдоль кромок проезжей части, которые проектируют на участках дорог с продольным уклоном более 0,03, с насыпями высотой более 3 м, в местах вогнутых вертикальных кривых радиусом 8000 м и менее, перед мостами и путепроводами и за ними, и *поперечными водосбросными лотками* на откосах насыпей. На дорогах III–IV категорий вместо прикромочных лотков могут устраиваться щебеночные обочины [3].

Поверхностные воды из канав и прочих водоотводных сооружений могут по согласованию с органами по охране природы отводиться в *поглощающие колодцы* круглого (диаметром 0,7 м) или прямоугольного сечения (размером от 0,6 × 0,6 до 1 × 1 м) в следующих случаях: 1) при наличии на глубине 1,5–2,5 м от поверхности земли и ниже глубины промерзания хорошо дренирующих (поглощающих) воду грунтов (галька, гравий, крупнозернистый песок, трещиноватые известняки); 2) при достаточно низком горизонте грунтовых вод и отсутствии оползневых явлений вблизи земляного полотна. Колодец заполняется дренирующими материалами (гравием, песком и т. п.). Для защиты от попадания воды с окружающей площади у колодца предусматривается защитный валик из грунта. Колодцы размещают не ближе 10 м от земляного полотна в обычных условиях и не ближе 75–100 м – на макропористых лессовидных просадочных грунтах [3].

Для отвода воды с поверхности земляного полотна ему придается поперечный уклон, который обеспечивает стекание воды, выпавшей в виде осадков, от оси дороги к обочинам и далее по откосу или по поперечным водосбросным лоткам к подножию земляного полотна, где она перехватывается боковыми канавами (кюветами) и отводится от дорожной конструкции в пониженные места. Лотки устраиваются открытого или закрытого типа с дождеприемными колодцами. Расстояние между поперечными водосбросными лотками зависит от ширины покрытия, с которого собирается сток поверхностных вод, и от продольного уклона проезжей части дороги. Для водосбросных лотков открытого типа это расстояние изменяется в пределах 20–205 м; его принимают в соответствии с [2, табл. 23]. Для водосбросных лотков закрытого типа расстояние между дождеприемными колодцами уменьшают в 1,2 раза по отношению к указанным в [2, табл. 23]. На дорогах высокой технической категории разделительной по-

лосе между полосами движения придается уклон к центральной части, где располагается водоприемник, собирающий и отводящий по подземным галереям или дренажам воду за пределы земляного полотна.

Для сбора и отвода воды, стекающей с поверхности земляного полотна, а также для приема воды, поступающей из дренажных устройств дорожной одежды устраивают в выемках и у малых насыпей кюветы, то есть боковые водоотводные каналы трапецеидального или близкого к нему сечения с шириной по дну 0,4–0,5 м. Крутизна внешних откосов кюветов в выемке и канав должна быть не менее 1:2. Глубину кювета обычно назначают на 0,1–0,2 м ниже устья дренажных устройств или низа дренирующего слоя дорожной одежды в точке выхода его на откос. Продольный уклон дна кювета проектируют не менее 0,005, в исключительных случаях – 0,003. Для канав, расположенных на расстоянии 4 м и более от подошвы насыпи, уклон дна должен быть не менее 0,001. Кюветы у подошвы насыпи устраивают сразу после снятия плодородного слоя, в выемках одновременно с удалением недобора. Наибольший продольный уклон водоотводных сооружений определяют в зависимости от вида грунта, типа укрепления откосов и дна канав и кюветов с учетом допускаемой по размыву скорости течения. Если невозможно обеспечить допустимые уклоны, то предусматривают быстротоки, перепады и водобойные колодцы. В соответствии с [2, 3] на дорогах категорий I–IV на участках насыпей высотой более 3 м, при продольных уклонах более 0,03, а также у вершин вогнутых кривых в продольном профиле с радиусом 8000 м и менее следует предусматривать мероприятия против размыва обочин и откосов. Выпуск воды из боковых канав (кюветов) предусматривается в пониженные места окружающей местности, в том числе к водопропускным сооружениям или в естественные водотоки.

Устройство *испарительных бассейнов* предусматривают в тех случаях, когда отвести воду из водоотводных канав в пониженные места не представляется возможным, особенно в местностях, где климатические условия способствуют высокой испаряемости, используя по возможности для этой цели местные понижения, выработанные карьеры и резервы. Вместимость одного испарительного бассейна не должна превышать 200–300 м<sup>3</sup>, глубина – 1,5 м, а уровень воды должен быть ниже дна боковых канав. На участках, где под испарительный бассейн используется резерв, между подошвой откоса насыпи и бровкой резерва следует предусматривать устройство бермы, ширина подошвы которой принимается не менее 2 м. Вода из боковых канав отводится в испарительный бассейн поперечными канавами [3].

Водопропускные каналы предназначаются для выпуска воды из продольных канав, кюветов или находящихся недалеко от дороги котловин в расположенные поблизости пониженные места или водотоки, сечения во-

доотводных канав обычно принимаются равные сечениям тех канав, из которых отводится вода. Для лучшего пропуски воды и для уменьшения объемов земляных работ откосы водоотводных канав следует устраивать небольшой крутизны, допустимой по устойчивости грунтов. На больших уклонах дну канав иногда придают ступенчатый продольный профиль, устраивая перепады из сборных железобетонных элементов, бетона и геотекстильных материалов. Между перепадами дну канав придают уклон, не требующий укрепления или соответствующий принятому типу укрепления. Уклон и типы укрепления ступеней между перепадами определяются гидравлическими расчетами. При высоте уступа более 0,5 м и больших расходах воды перепады устраивают с водобойными колодцами, водобойными стенками или в виде ступенчатого перепада колодезного типа.

*Нагорные канавы* проектируют при прокладке автомобильной дороги по склонам для перехвата поверхностного стока с вышележащей территории. Их устраивают с нагорной стороны дороги для перехвата стекающей по склону воды и отвода ее от дороги. Обычно глубина канавы не менее 0,6 м, поперечное сечение их может быть трапециевидным, треугольным или прямоугольным, с более пологим откосом со стороны склона (рис.).

Как правило, возведение земляного полотна начинают со строительства нагорных канав и ограждающих валов. Сразу после устройства канав их боковые поверхности укрепляют путем посева многолетних трав (при скорости течения воды до 0,8 м/с) или путем укладки геотекстильного материала с закрепленными в нем семенами. Выбор вида укрепления следует выполнять в соответствии с [3, 5].

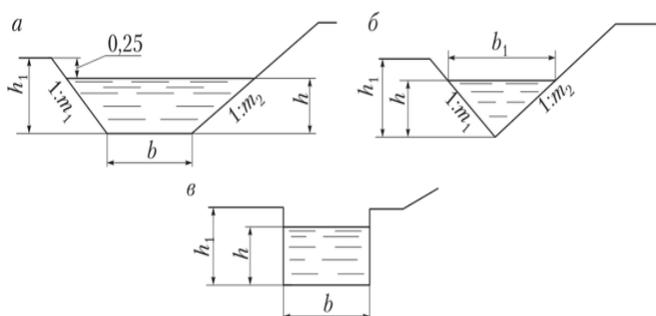


Рис. Поперечное сечение дорожных водоотводных канав:  
*a* – трапециевидное; *б* – треугольное; *в* – прямоугольное

Кроме канав и кюветов для отвода поверхностных вод могут устраиваться железобетонные лотки различных типов. Их можно предусматривать в вы-

емках при соответствующем обосновании необходимости пропуска большого количества воды, не вмещающегося в кювет нормального сечения; осушения выемки от грунтовых вод, т. е. при устройстве лотка взамен закрытого дренажа; в грунтах, которые легко размываются, оползают и быстро загрязняют русло кювета; в стесненных условиях, не позволяющих устройство глубокого кювета и соответствующее расширение выемки и т. п. [3].

Таким образом, устройство поверхностного водоотвода способствует улучшению водно-теплового режима земляного полотна и, как следствие, повышению его устойчивости и долговечности.

### **Литература**

1. О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 апр. 2021 г., № 212 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://government.by/upload/docs/file653ebd78390aa875.PDF>. – Дата доступа: 17.04.2022.

2. Автомобильные дороги. СН 3.03.04-2019. – Введ. 21.09.2020. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 60 с.

3. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. ТКП 200-2018. – Введ. 01.09.2018. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2018. – 189 с.

4. Бабаскин, Ю. Г. Строительство земляного полотна автомобильных дорог: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Автомобильные дороги» / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2016. – 332 с.

5. Автомобильные дороги. Устройство водоотводных и дренажных систем при строительстве автомобильных дорог и мостовых сооружений: Стандарт организации. СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013. – Введ. 24.06.2013. – М.: ООО БСТ, 2014. – 55 с.

УДК 669:620.197

### **Технология реверсивно-струйной очистки металлических листов перед лазерной резкой**

Жук А. Н., Качанов И. В., Шаталов И. М.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты экспериментального исследования по оценке влияния режимов реверсивно-струйной очистки на подготовку поверхности металлических листов перед лазерной резкой.*

Современный этап развития машиностроения характеризуется применением на стадии заготовительного производства операций лазерной резки листового проката. Резка листов производится на высокотехнологичных комплексах. Среди таких комплексов следует отметить TRUMATIC L2530 (рис. 1), используемый на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь. Для процесса лазерной резки (ЛР) металлических листов можно выделить основные факторы, определяющие производительность и качественные показатели процесса. Среди них основными являются скорость лазерной резки  $V_{\text{лр}}$ , светопоглощительная способность поверхности материала, отсутствие (наличие) грата на вырезанных деталях.



Рис. 1. Внешний вид комплекса лазерной резки TRUMATIC

Для оценки влияния режимов реверсивно-струйной очистки (PCO) на подготовку поверхности под лазерную резку на машиностроительном предприятии ОАО «Агат – электромеханический завод» были проведены производственные сравнительные испытания по скорости и качеству лазерной резки для четырех групп стальных образцов из стали 08кп с линейными размерами  $100 \times 100$  мм и толщиной  $S = 1-20$  мм, покрытые продуктами коррозии с двух сторон. Предварительно образцы были очищены с одной стороны по различным технологиям.

*Первую группу* составили образцы, очистка которых производилась по новой разработанной технологии с применением запатентованных [1] составов, содержащих в качестве основного компонента бентонитовую глину ( $K_6 = 2-3\%$ ). Подача рабочей жидкости осуществлялась в конфузоре новой конструкции с углом конусности  $\alpha_{\text{опт}} = 45-50^\circ$ , под давлением на входе  $p_{\text{вх}} = 30$  МПа,  $d_k = 1$  мм,  $L = 50$  мм,  $V_{\text{стр}} = 250$  м/с.

После очистки время сушки составляло 15–20 часов, что обеспечивало формирование на очищенной до  $Ra = 0,25-0,5$  мкм поверхности защитного пленочного покрытия (ЗПП) толщиной  $\delta = 3-5$  мкм. При обработке поверхности составом отмечается низкий уровень упрочнения очищенной

поверхности. Так, например, величина микротвердости  $H_{\mu} = 2000\text{--}2400$  МПа превышает исходное значение  $H_{\mu 0} = 1900\text{--}2000$  МПа всего лишь в 1,1–1,3 раза. Полученное незначительное упрочнение поверхности перед осуществлением процесса ЛР в полной мере отвечает правилам эксплуатации лазерного комплекса TRUMATIC L2530, приведенным в работе.

*Вторую группу* для сравнительных испытаний составили образцы, очищенные по заводской технологии (дробеструйная очистка) до шероховатости  $Ra = 0,25\text{--}0,5$  мкм и микротвердости  $H_{\mu} = 3100\text{--}3200$  МПа.

*Третью группу* составили образцы, изготовленные из листового металла (сталь 08кп) в состоянии поставки ( $Ra = 12\text{--}14$  мкм и микротвердостью  $H_{\mu 0} = 1900\text{--}2000$  МПа).

*Четвертую группу* составили образцы, не очищенные от коррозии с величиной  $Ra = 70\text{--}80$  мкм и микротвердостью  $H_{\mu 0} = 1900\text{--}2000$  МПа. Указанные образцы разрезались на комплексе TRUMATIC L2530. Результаты резки образцов приведены на рис. 2.

На рис. 2 обозначены: 1 –  $Ra = 0,25\text{--}0,5$  мкм, образец после РСО ( $K_b = 3\%$ ,  $K_n = 10\text{--}5\%$ ,  $K_{к.с} = 2\%$ , остальное вода),  $p_{вх} = 30$  МПа;  $d_k = 1$  мм;  $L = 50$  мм; 2 – материал в состоянии поставки,  $Ra = 12\text{--}14$  мкм; 3 – дробеструйная обработка образца по заводской технологии,  $Ra = 0,25\text{--}0,5$  мкм; 4 – отсутствие очистки образца от продуктов коррозии, 1–4 – сталь 08кп.

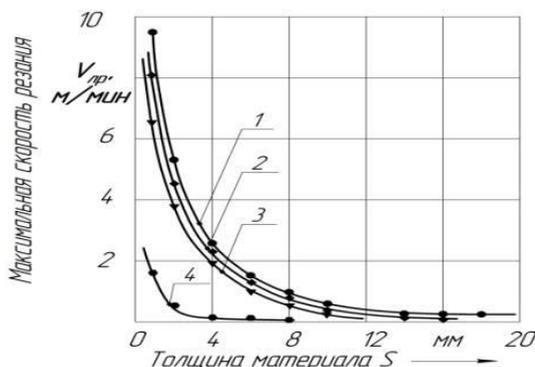


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала

Из анализа [2] проведенных испытаний было установлено, что для исследованных образцов, в частности, с толщиной  $S = 2$  мм отмечалось увеличение скорости лазерной резки с 0,4 м/мин (резка образца № 4), до 5,0 м/мин (резка образца № 1). Отмеченные скорости были получены из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза. При равной скоро-

сти резки (5,0 м/мин) на 1-м образце грат отсутствует, в результате чего технологическая операция по зачистке грата нецелесообразна, а например на 4-м образце длина грата составляет 2 мм.

### Литература

1. Состав рабочей жидкости для гидродинамической очистки металлических поверхностей от коррозии перед лазерной резкой: пат. 21455 Респ. Беларусь: МПК(2006.01) В08В3/02, В08В3/04 / И. В. Качанов [и др.]; заявитель Белорусский национальный технический университет; дата публ.: 2017.10.30.

2. Качанов, И. В. Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей в машиностроительном производстве / И. В. Качанов [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 323.

УДК 608

### **Земснаряд повышенной производительности с трубопроводной системой на основе применения поворотов различных форм поперечного сечения**

Качанов И. В., Шаталов И. М., Кособуцкий А. А. Хвитько К. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Проведение дноуглубительных работ на внутренних водных путях Республики Беларусь является одним из важнейших условий для обеспечения судоходства пассажирских и грузовых судов. Эти работы осуществляются специальными плавучими дноуглубительными земснарядами, предназначенными для подводной разработки грунта. Дополнительно указанные земснаряды выполняют работы по добыче песка со дна водоемов для обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.*

Земснаряды работают в тяжелых условия, что сопровождается сильным и неравномерным износом некоторых частей, а соответственно и снижению технико-экономических показателей земснаряда в целом. Как известно из опыта эксплуатации такими частями являются пульпопроводы, самыми уязвимыми его частями считаются фасонные. В гидромеханизации применяются сварные или литые фасонные части. Неравномерное распределение в пульпе частиц грунта приводит к быстрому износу этих частей

пульпопровода. На рис. 1 изображена фасонная часть с зоной повышенного износа.

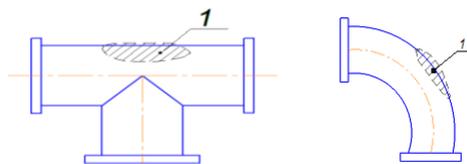


Рис. 1 Фасонная часть пульпопровода с зоной повышенного износа:  
1 – зона повышенного износа

В современной практике эксплуатации и ремонта применяется два основных способа по увеличению срока эксплуатации фасонных частей пульпопровода. Первый способ заключается в электронаплавке высокотвердыми электродами, второй – в литых фасонных частях увеличивают толщину стенок [1]. Указанные способы являются трудоемкими и технически сложными в исполнении.

На основании вышеизложенного было предложено изменить форму поперечного сечения на поворотном участке пульпопровода (фасонная часть). В качестве оптимальной формы была выбрана овальная. На рис. 2 изображена диаграмма распределения скоростей и давлений на поворотных участках пульпопровода овальной формы поперечного сечения.

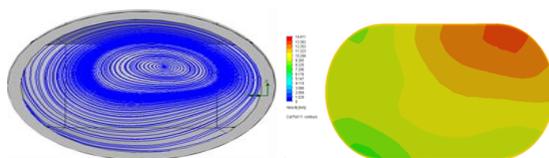


Рис. 2. Диаграмма распределения скоростей и давлений на поворотных участках пульпопровода (фасонные части)

Изменение формы поперечного сечения влияет на повышение производительности земснаряда за счет снижения гидравлического сопротивления, а также за счет равномерного распределения потока пульпы на поворотном участке. На рис. 3 схематично представлена предложенная конструкция поворотного участка пульпопровода.

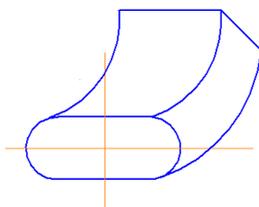


Рис. 3. Конструкция поворотного участка пульпопровода

### Литература

1. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
2. Бердус, В. В. Переработка песчано-гравийных пород для получения нерудных строительных материалов / В. В. Бердус. – М.: Стройиздат, 1975 – 263 с.

УДК 627.824

### Расчет резервного водосброса с размываемой вставкой

Богославчик П. М, Евдокимов В. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основе проведенных ранее исследований разработан алгоритм расчета резервного водосброса с размываемой вставкой, в котором все этапы расчетов объединены в одну расчетную схему.*

Резервный водосброс с размываемой грунтовой вставкой представляет собой водопропускное отверстие в напорном фронте, перекрытое грунтовой вставкой, отсыпанной из песчаного грунта [1]. Отметка гребня несколько ниже отметки гребня основных подпорных сооружений. При аварийной ситуации, когда уровень верхнего бьефа по каким-то причинам поднимается выше критических отметок, происходит перелив через вставку и ее размыв. В освободившееся отверстие сбрасывается излишний расход. Схема сооружения с ограничивающей размыв одеждой из мягкого полимерного материала, например геотекстиля, представлена на рис. 1. В случае железобетонной одежды отверстие может быть прямоугольным (рис. 2).

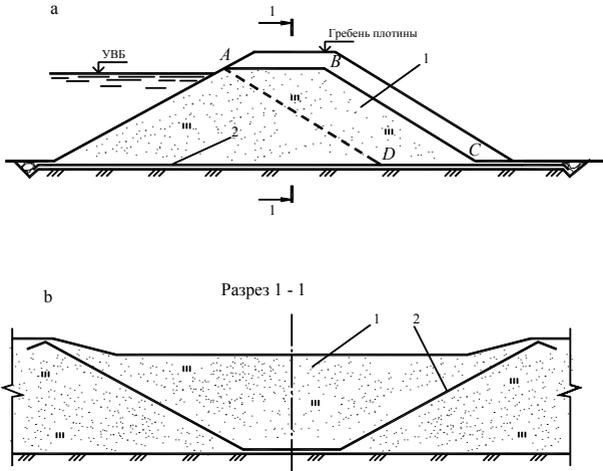


Рис. 1. Водосброс с размываемой грунтовой вставкой:  
*a* – поперечный разрез; *б* – продольный разрез;  
 1 – размываемая вставка; 2 – ограничивающая размыв одежда

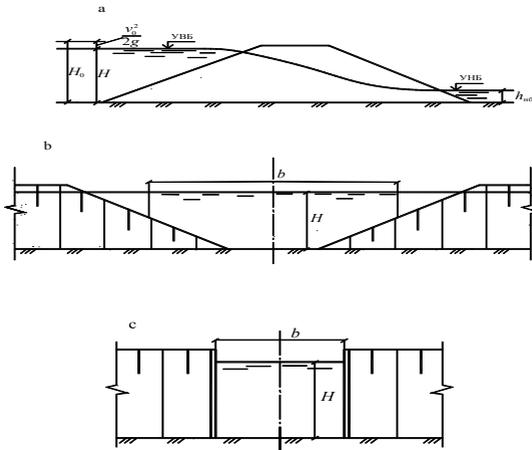


Рис. 2. Расчетная схема к определению размеров водопропускного отверстия:  
*a* – поперечный разрез; *б* – трапециевидное отверстие;  
*с* – прямоугольное отверстие

Цель гидравлических расчетов – определение размеров водопропускного отверстия и времени размыва грунтовой вставки. Алгоритм расчета разработан на основе исследований, результаты которых были опубликованы ранее [2, 3]. В соответствии с характером работы водосброса расчет следует условно разделить на несколько этапов.

На первом этапе определяют размеры водопропускного отверстия. Ширина отверстия может быть определена из условия пропуска расчетного расхода  $Q_p$  из следующей формулы (по аналогии с расчетом пропускной способности прорана при пионерном перекрытии русла [4])

$$Q_p = mb\sqrt{2g}H_0^{1,5}, \quad (1)$$

где  $m$  – коэффициент расхода;

$b$  – ширина водопропускного отверстия;

$H_0$  – напор с учетом скорости подхода.

Расчетная схема представлена на рис. 2. Коэффициент расхода при  $z/H \leq 0,35$  рекомендуется определять по формуле

$$m = \left(1 - \frac{z}{H_0}\right) \sqrt{\frac{z}{H}}, \quad (2)$$

где  $z$  – перепад уровней верхнего и нижнего бьефов.

При  $z/H > 0,35$  следует принимать  $m = 0,385$  [5].

Ширину водопропускного отверстия  $b$  при трапециевидальной форме можно принимать среднюю по высоте.

После определения размеров водопропускного отверстия следует выполнить расчет размыва вставки. Выполненными ранее исследованиями установлено [2], что размыв вставки происходит в две стадии. На первой стадии размывается низовая призма  $ABCD$  (рис. 1,  $a$ ). На второй – оставшая часть размываемого массива с интенсивным снижением гребня вставки. При наличии крепления низового откоса необходимо определить время его разрушения. Ранее была разработана методика такого расчета [3]. Но расчеты показали, что такие типы креплений как одерновка или уплотненный слой гравия разрушаются сразу же с началом перелива. Поэтому этот этап расчетов был опущен, а в соответствии с вышеизложенным выделены еще два этапа расчетов.

На 2-м этапе выполняется расчет размыва призмы  $ABCD$ . Цель расчета – определить время размыва и предельный уровень верхнего бьефа. Расчет выполняется следующим образом.

1. Определяют  $M_0$  – массу низовой призмы  $ABCD$ .
2. Задаются интервалом времени  $\Delta t$ .
3. Принимают для начального момента времени  $t = 0$  уровень верхнего бьефа равным отметке гребня размываемой вставки, т. е.  $z = y$ . На первой стадии размыва  $y = \text{const}$ .
4. На окончание каждого периода времени  $t + \Delta t$  определяют, на какую величину изменился уровень верхнего бьефа по формуле

$$\Delta z = \frac{Q_0 - Q}{F(z)} \Delta t, \quad (3)$$

где  $Q_0$  – расход воды в верхнем бьефе,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $F(z)$  – площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке  $z$ ,  $\text{м}^2$ .  $Q$  – расход воды через размываемую вставку,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяется по формуле

$$Q = \sigma m b \sqrt{2g} (z - y)^{1,5}. \quad (4)$$

Коэффициент расхода  $m$  определяется на первой стадии как для водослива с широким порогом.

5. Для каждого интервала  $\Delta t$  определяют количество смытого грунта по формуле

$$\Delta M = \frac{A i^{1,2} (2g)^{0,8}}{2,4} m^{1,6} (z - y)^{2,4} \Delta t, \quad (5)$$

где  $\Delta M$  – масса размываемого грунта за период  $\Delta t$ , кг;  $A$  – параметр, принимаемый для песчаных грунтов равным 0,153;  $i$  – уклон дна по низовому откосу;  $n$  – коэффициент шероховатости;  $z$  – уровень верхнего бьефа, на конец каждого интервала времени  $z_i = z_{i-1} + \Delta z$ ;  $y$  – отметка гребня размываемой плотины (для первой стадии  $y = \text{const}$ ).

При  $\Sigma \Delta M = M_0$ , то есть с окончанием размыва низовой призмы  $ABCD$ , второй этап расчетов завершается. Но окончание этого этапа имеем время размыва низовой призмы, уровень верхнего бьефа на этот момент и гидрограф расхода на весь этап.

На третьем этапе расчетов выполняется расчет второй стадии размыва. На окончание каждого периода времени  $t + \Delta t$  определяют величину сни-

жения отметки гребня размываемого массива  $\Delta y$  и величину изменения уровня верхнего бьефа  $\Delta z$ . Величину  $\Delta y$  определяют по формуле

$$\Delta y = -\sigma \frac{Bm^{0,43} \varepsilon_1}{\rho_1} (z-y)^{0,6} \Delta t, \quad (6)$$

где  $B = 6,77(1+\varphi)dg^{2,17} \left( \frac{5,64n\sqrt{2g}}{\varphi w} \right)^{3,33}$ ;  $\varepsilon_1 = \frac{1-1,26m^{2/3}}{\beta} 2g$ ;  $\sigma$  – коэффициент

подтопления;  $\rho_0$  – плотность грунта тела плотины,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d$  – средний диаметр частиц размываемого грунта, м;  $\varphi$  – параметр турбулентности (отношение расчетной скорости падения частицы в воде к ее действительной гидравлической крупности);  $\beta$  – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,5–2,0.

Величину  $\Delta z$  и расход воды через размываемую вставку определяют по формулам (3) и (4), принимая при этом значение коэффициента расхода как для безвакуумного водослива практического профиля. При этом уровень верхнего бьефа, на конец каждого интервала времени  $z_i = z_{i-1} + \Delta z$ , отметка гребня  $y_i = y_{i-1} + \Delta y$ . При достижении  $y$  отметки дна расчет заканчивается.

Таким образом по приведенным расчетам строятся графики  $z = f(t)$ ,  $y = f(t)$  и  $Q = f(t)$ . Если величина  $z$  в какой-то момент превышает отметку, опасную для гидроузла, следует увеличить ширину отверстия и расчеты повторить.

### Литература

1. Филиппович, И. В. Водосброс по типу размываемой вставки / И. В. Филиппович, П. М. Богославчик // Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Водное хозяйство и гидротехническое строительство», вып. 12. – Мн., Вышэйшая школа, 1982. – С. 96 – 100.
2. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018. – № 4. – С. 292–296.
3. Богославчик, П. М. Условия разрушения крепления низового откоса грунтовой плотины при переливе воды через гребень / П. М. Богославчик, В. А. Евдокимов, О. В. Немеровец // Вода. Газ. Тепло 2020: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», 8–10 октября 2020 г. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 257–260.

4. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г.Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 313 с.

УДК 627.8.04

### Особенности расчета устойчивости откосов дамб шламохранилищ

Богославчик П. М.<sup>1</sup>, Шейко А. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>ОАО Белгорхимпром

Минск, Республика Беларусь

*На основе опыта проектирования выделены и проанализированы особенности расчетов устойчивости откосов дамб шламохранилищ. Проведен анализ ряда наиболее популярных формул, реализующих метод «по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с разбивкой на отсеки. Приведены особенности фильтрационных расчетов. Дана оценка влияния слоистости профиля на результаты расчетов.*

При строительстве и реконструкции шламохранилищ всегда возникает необходимость в решении вопроса устойчивости откосов ограждающих дамб. Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ много лет сотрудничает с институтом «Белгорхимпром», выполняя соответствующие расчеты для проектов шламохранилищ ОАО «Беларускалий». Нарботанный опыт позволяет сделать некоторые обобщения.

Метод расчетов устойчивости откосов грунтовых плотин «по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с разбивкой на отсеки представлен на рис.1.

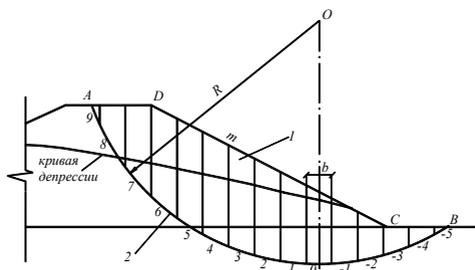


Рис. 1. К расчету устойчивости откоса:

1 – призма обрушения; 2 – кривая скольжения

Согласно этому методу, призма обрушения  $ABCD$  разбивается на отдельные вертикальные элементы (отсеки), причем каждый отсек считается монолитным твердым телом, стоящим своей подошвой на дуге обрушения. Такой метод позволяет легче учитывать неоднородность грунта, слагающего откос.

Существует ряд формул, реализующих этот метод. Ранее был проведен анализ ряда наиболее популярных формул. Это следующие формулы, которые с учетом исследований, изложенных в [1], имеют следующий вид.

Формула Крея

$$k_y = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \sum \frac{G_i + c_i b_i \operatorname{ctg} \varphi_i}{\cos \alpha_i \operatorname{ctg} \varphi_i + \sin \alpha_i} \frac{m}{n_c}. \quad (1)$$

Формула Терцаги–Флорина

$$k_y = \frac{\sum G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c} \quad (2)$$

Формула Мейера–Бишопа–Ничипоровича

$$k_y = \sum \frac{G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c}. \quad (3)$$

Формула Чугаева

$$k_y = \sum \frac{G_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c}. \quad (4)$$

В формулах (1)–(4) приняты следующие обозначения:  $k_y$  – коэффициент запаса устойчивости;  $G_i$  – вес  $i$ -го отсека;  $P_\phi$  – фильтрационное давление [1];  $\alpha_i$  – угол наклона подошвы отсека к горизонту;  $\varphi_i$  – угол внутреннего трения грунта в подошве отсека;  $c_i$  – удельное сцепление грунта в подошве отсека;  $l_i$  – длина подошвы отсека;  $m$  – коэффициент условий работы;  $n_c$  – коэффициент сочетания нагрузок.

По приведенным формулам были выполнены расчеты для различных условий. Главная трудность выбора заключается в том, что отсутствует возможность корректного сравнения расчетных данных с эксперименталь-

ными. Поэтому для выбора было выполнено сравнения результатов расчетов и проанализированы литературные источники.

В литературных источниках [2, 3] приводится следующий анализ вышеперечисленных методов:

- метод Крея достаточно точен, рекомендован межведомственной комиссией Госстроя СССР для расчетов устойчивости откосов из неоднородных грунтов;

- метод Терцаги-Флорина нашел широкое применение благодаря своей простоте, однако при расчетах пологих откосов (с заложением  $m > 2,5$ ) может давать ошибку в сторону преуменьшения величины коэффициента запаса устойчивости;

- метод Мейера-Ничипоровича, который является частным случаем метода Бишопа, дает резко заниженные значения коэффициента запаса устойчивости;

- метод «весового давления» Р. Р. Чугаева, в связи с принятым способом его обоснования, не позволяет оценить его достоверность при различных сочетаниях нагрузок, а также при неоднородном сложении откоса и его основания. При условии, когда в основании на значительную глубину залегают грунты, обладающие более низкими прочностными свойствами, чем материал откоса, этот метод дает заниженные значения коэффициента запаса устойчивости.

Анализ выполненных сравнительных расчетов устойчивости откосов дамб по вышеприведенным формулам показал, что метод Мейера-Ничипоровича дает заниженные на 20–30 % результаты, а формулы Р. Р. Чугаева, Терцаги-Флорина и Крея дают результаты, отличающиеся друг от друга на 2–5 %. В связи с чем, изначально в качестве основного расчетного метода была принята формула Крея. Однако наш опыт работы с ней показал некоторые неудобства. Во-первых, она не очень понятна, на что указывал еще Р. Р. Чугаев [4]. Во-вторых, компьютерная программа, по которой выполнялись расчеты (Delfi-программа), при применении этой формулы часто дает сбои, причину которых так и не удалось найти в силу непонятности некоторых ее положений. Поэтому в более поздних расчетах применялась формула Флорина-Терцаги. Эта формула дает результаты, близкие к результатам, полученным по формуле Крея, но она более понятная и не дает сбоев при расчетах. Кроме того, наши расчеты не подтвердили того факта, что при расчетах пологих откосов (с заложением  $m > 2,5$ ) возникает ошибка в сторону преуменьшения величины коэффициента запаса устойчивости.

При расчетах устойчивости откосов дамб шламохранилищ имеют особенности фильтрационные расчеты, целью которых является определение положения кривой депрессии. Дамбы шламохранилищ имеют противо-

фильтрационное устройство в виде экрана из полимерной пленки или мембраны. Расчеты устойчивости выполнялись для основного и особого сочетания нагрузок. Основное сочетание предполагает нормальную работу противофильтрационного экрана. Особое сочетание возникает при повреждении экрана. Во втором случае положение кривой депрессии определяется как для однородной дамбы без противофильтрационного устройства. Дренаж низового клина либо не предусматривался, либо в ряде случаев применялся трубчатый.

Фильтрационный расчет дамбы с экраном выполнялся «виртуальным» методом (метод Павловского Н. Н.). Экран из полиэтиленовой пленки при этом заменяется пластичным фиктивным грунтовым фрагментом толщиной 0,8 м, имеющим коэффициент фильтрации  $1 \times 10^{-10}$  м/с [5]. Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации пленочный экран как правило абсолютно водонепроницаем. Поэтому расчетное положение кривой депрессии для основного сочетания нагрузок при глубоком залегании грунтовых вод всегда выше реального, что дает некоторый запас устойчивости откоса.

Вторая особенность – неоднородность расчетного профиля по составу грунтов. Чаще всего дамба вместе с основанием представляет собой напластование грунтов с различными физико-механическими свойствами. Количество пластов иногда достигало десяти и более. Если все слои состоят из песчаных грунтов, то при фильтрационном расчете можно брать осредненные характеристики (как правило требуется только коэффициент фильтрации). Точность определения положения кривой депрессии находится в данном случае в пределах точности метода. Проблема возникает тогда, когда попадаете слой глинистого грунта, который по отношению к вышележащему грунту является водоупором, и когда этот слой находится в теле дамбы. Такая ситуация иногда возникала при проектировании наращивания существующих дамб. Проблема в таком случае имеется только при расчете на особое сочетание нагрузок, т. е. при нарушении работы экрана. Проблема состоит главным образом в опасности выхода кривой депрессии на низовой откос, что требует дополнительных конструктивных решений.

При расчете непосредственно устойчивости слоистость профиля проблем не создает, так как разработанная программа позволяет учитывать сколько угодно слоев.

Еще одной особенностью является то, что шламохранилища заполнены не водой с удельным весом  $9,81 \text{ кН/м}^3$ , а глинисто-солевым шламом, который на 20–25 % тяжелее воды. Поэтому в рассматриваемом случае, по сравнению с традиционными грунтовыми плотинами, на водохранилищах при высоком стоянии кривой депрессии (особое сочетание нагрузок) уве-

личивается вес насыщенной части отсеков, соответственно увеличивается величина  $G$  в формулах (1)–(4). Кроме того здесь больше сила фильтрационного давления, удельная величина которого равна в общем случае  $f_{\phi} = \gamma_w I$ , где  $\gamma_w$  – удельный вес фильтрующей жидкости;  $I$  – фильтрационный градиент. Сравнительные расчеты показали, что это обстоятельство уменьшает коэффициент запаса устойчивости дамб шламохранилищ по сравнению с аналогичными по конструкции грунтовых водохранилищных плотин более чем на 15 %.

### Литература

1. Богославчик, П. М. Анализ методов определения фильтрационного давления при расчете устойчивости откосов грунтовых плотин / П. М. Богославчик, В. И. Селезнев // Мелиорация. – 2019. – № 4 (90). – С. 12–16.
2. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / под ред. В. П. Недрига. – М: Стройиздат, 1983. – 543 с.
3. Ничипорович, А. А. Плотины из местных материалов / А. А. Ничипорович. – М: Стройиздат, 1973. – 320 с.
4. Чугаев, Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения / Р. Р. Чугаев. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 144 с.
5. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации шламохранилищ на подрабатываемой горными работами территории Старобинского месторождения калийных солей / ВСН 03 – 90 – Солигорск: Агрохим, 1990. – 56 с.

УДК 539.51

### **Технологические основы производства заготовок для изделий медицинского назначения**

Качанов И. В., Ленкевич С. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлен комплексный подход по разработке новых технологических процессов для получения заготовок медицинских изделий на основе выбора материалов и различных способов их обработки в зависимости от требуемых функциональных свойств.*

Разработка технологических основ производства заготовок из биосовместимых металлических материалов для изготовления различных им-

плантатов и сопутствующих медицинских изделий является актуальной задачей медицинского металловедения. К числу наиболее распространенных заготовок относятся высококачественные прутки в широком диапазоне размеров, а также полуфабрикаты с переменным сечением, используемые для последующего фрезерования изделий на современных производственных линиях.

Качество медицинских изделий в основном зависит как от свойств исходных материалов, из которых они и изготовлены, так и способа их обработки. При различных способах обработки материалы не только приобретают требуемую форму, а также и новые свойства. Поэтому требуется комплексный подход при разработке новых технологических процессов, который будет учитывать как свойства исходных материалов, так и способы с возможностью их изменения в нужном направлении.

Эксплуатационная надежность медицинских изделий, применяющихся в различных сферах медицины, в основном зависит от комплекса механических свойств, которые показывает материал в реальных условиях его работы в живом организме и воздействием этого материала на окружающие ткани, биологические жидкости и организм в целом. В связи с этим наряду с механическими свойствами металлов, такими как прочность, пластичность, стойкость к циклическому нагружению, износостойкость и др., не менее важными характеристиками являются биологическая и биомеханическая совместимости материалов с живыми тканями [1].

По последнему признаку металлические материалы подразделяются на группы «биоинертных» (Ti и титановые сплавы, Zr, Nb, Ta, Pt), не оказывающих значительного воздействия на окружающие биологические ткани и жидкости, «биотолерантных» (Al, Fe, Mo, Ag, Au, нержавеющие стали и CoCr-сплавы, которые проявляют удовлетворительную биосовместимость с костной тканью, «токсичных» (Co, Ni, Cu, V), т. е. оказывающих резко негативное влияние на организм [1].

Из приведенных материалов наибольшие прочностные показатели показывают стали. Стали обладают наибольшим комплексом механических свойств, поэтому в ближайшее время трудно будет полностью отказаться от их использования в качестве материалов для различных, особенно сложных, конструкций медицинских изделий

Тем не менее, даже высоколегированные коррозионно-стойкие (например, X18H10T) стали при взаимодействии с биологическими жидкостями вызывают местную воспалительную реакцию тканей, а в некоторых случаях оказывают общее токсическое и аллергическое действие на организм. Таких недостатков лишен титан и его сплавы, уступая сталям по значениям предела текучести и прочности, сопротивления усталостному разрушению и износостойкости.

При производстве медицинских изделий чаще всего используется технически чистый титан BT1-0, а также титановые сплавы Ti-4Al-6V (BT 6), Ti-5Al-2Sn (BT 5-1) [1].

Помимо, обозначенной проблемы биосовместимости, при разработке новых технологических процессов следует учитывать такие факторы как функциональность и технологичность. Т.е. материал должен в полной мере обеспечивать работоспособность медицинского изделия в соответствии с его назначением и возможностью и удобством его производства.

Механические свойства аустенитных сталей имеют достаточные показатели применения в хирургии, однако с точки зрения металловедения конструкционных сплавов они все же далеки от совершенства. Единственный способ повысить их прочность – это холодная пластическая деформация. При степени деформации 40 % обеспечивается предел прочности  $\sigma_b$  на уровне 1050–1100 МПа, что уже достаточно для большинства случаев практического применения в медицине [2].

Определяющим преимуществом титановых является более низкий модуль Юнга в сравнении со сталями. В результате чего упругие деформации системы кость–имплантат приводят к меньшим нагрузкам на ткань, и, следовательно, резко уменьшают вероятность некроза и разрушения кости. Эти положительные характеристики титана и его сплавов определяют их широкое использование в медицине в качестве конструкционных материалов для создания имплантатов большого спектра применения [2].

Наиболее эффективными способами формирования структуры металлов, определяющей важнейшие структурно-чувствительные свойства, являются способы пластического формообразования методами обработки металлов давлением.

Традиционные процессы пластической деформации (прокатка, волочение, прессование, ковка и др.) несмотря на их широкое применение на производстве во многом исчерпали свои технологические возможности с точки зрения создания новых схем эффективного структурообразования.

В настоящее время все больше разработок ученых направлено на создание и реализацию новых способов формообразования с большими степенями деформации (порядка 80–100 %) и интенсивной пластической деформацией (методы всестороннего или равноканального углового прессования, кручения под высоким давлением, винтовой экструзии, радиально-сдвиговой прокатки и др.) [1].

В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования (свыше 12 м/с). Благодаря ряду преимуществ (повышению однородности деформированного состояния, снижению сил контактного трения, адиабатному повышению температуры, усилению резко-

сти схемы всестороннего объемного сжатия) скоростная деформация создает благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов как в холодном, так и горячем состоянии [3].

В случае с коррозионно-стойкими сталями скоростное деформирование позволяет увеличить предельные степени деформации без изменения величины удельной энергии. Также отмечается, что в стальных образцах, выдавленных с начальной скоростью деформирования 20 м/с, балл зерна повышается на 1–2 единицы [3].

Деформирование титановых сплавов в холодном состоянии связано с большими трудностями, главные из которых – необходимость применения мощного оборудования из-за большого сопротивления сплавов деформированию, значительное пружинение как следствие низкого модуля и высокой прочности и, наконец, сравнительно малая пластичность.

Эти трудности в значительной степени устраняются при применении импульсной обработки давлением. Упругая отдача при импульсной обработке очень мала, а пластичность сплавов в некоторых случаях может быть повышена как за счет резкого увеличения самой скорости деформации, так и за счет преднамеренного создания благоприятной схемы напряженного состояния, которую трудно создать при статическом деформировании из-за резкого увеличения усилий деформирования.

Особенно значительные преимущества для титановых сплавов имеет применение высокоскоростного горячего объемного деформирования. Кроме хорошего заполнения гравюры матрицы, малых штамповочных уклонов и радиусов штамповок при высокоскоростной горячей штамповке, возможно получение полуфабриката с различными сечениями, либо готового изделия за один ход пуансона при точном соблюдении заданной температуры деформации.

При определенной схеме напряженно-деформированного состояния скоростной деформации – большая скорость при высокой степени деформации – обеспечивается получение более мелкого зерна и тонких субструктур.

При разработке технологических процессов деформирования с повышенными скоростями в первую очередь встает вопрос о технологической пластичности деформируемого металла. Результаты исследования технологической пластичности титановых сплавов при низких и высоких температурах показали, что с увеличением скорости деформирования пластичность либо не изменяется, либо увеличивается [4]. Для всех титановых сплавов при температурах их горячего деформирования технологическая пластичность при высоких скоростях течения металла оказалась практически неограниченной, поэтому допустимы самые высокие степени деформации. Методом высокоскоростного деформирования можно изготавливать

поковки с тонкими стенками и ребрами, которые оформляются в направлении деформирующего удара. Успешно штамуются также поковки с тонкими полотнами, расположенными перпендикулярно удару. Хорошо проштамповываются углы с малыми радиусами закругления. Внешние штамповочные уклоны обычно можно т. е. предусматривать, внутренние уклоны должны составлять  $0,5-1,0^\circ$ . Высокоскоростной штамповкой целесообразно изготовлять не только штамповки сложных конфигураций, но и сравнительно простых форм [4].

Этапы разработки технологического процесса высокоскоростной штамповки поковок в общем сохраняют порядок технологических разработок при штамповке на обычных кузнечно-штамповочных машинах [4]. Чертеж оснастки разрабатывают после анализа особенностей конфигурации и размеров детали. В первую очередь выбирают поверхности, которые могут быть получены непосредственно штамповкой, без обработки на металлорежущих станках. Можно получить поковки по классу точности и чистоте поверхности аналогичные по качеству обработки поверхности гравюры матрицы. Однако, следует учитывать, что точность размеров и чистота поверхности штампуемых поковок с износом штампового инструмента ухудшаются.

Радиусы закруглений в плоскости удара не следует без необходимости делать менее 2 мм, чтобы не затруднять течение металла. В направлении же удара можно делать углы даже без закруглений. Припуск на механическую обработку для большинства поковок можно назначать с учетом их дальнейшей обработки минимальным (0,5–1,5 мм).

Температуру нагрева заготовок под штамповку для титановых сплавов ВТЗ-1, ВТ5, ВТ6 и др. можно назначать в пределах  $900-1100^\circ\text{C}$ . Для технически чистого титана – на  $50-100^\circ\text{C}$  ниже.

Защита металла поковок от окисления поверхности имеет особо важное значение, оптимальными являются высокочастотный нагрев и скоростное охлаждение поковок.

### Литература

1. Колобов, Ю. Р. Технологии формирования структуры и свойств титановых сплавов для медицинских имплантатов с биоактивными покрытиями / Ю. Р. Колобов // Российские нанотехнологии. Обзоры. – 2009. – Т. 4, № 11–12. – С. 69–81.
2. Полякова, В. В. Особенности структуры и механические свойства ультрамелкозернистого сплава Ti-6Al-7Nb для медицинских применений: дисс... канд. техн. наук: 05.16.01 / В. В. Полякова. – Уфа, 2015. – 154 с.
3. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 327 с.

4. Согришин, Ю. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. – М.: Машиностроение, 1978. – 164 с.

УДК 627.8.034

**Оценка экономического ущерба от затопления территории  
в период прохождения паводка катастрофической обеспеченности  
на примере Клястицкого гидроузла**

Немеровец О. В., Ивашечкин В. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Низконапорные гидротехнические сооружения (плотины IV класса с напором до 15 м и объемом водохранилища до 50 млн м<sup>3</sup>) имеют аварийность выше, чем у высоконапорные и средненапорные. Последнее десятилетие в России наблюдалось более 300 аварий ГТС, относящихся к IV классу. Такое число обусловлено неудовлетворительным уровнем технического обслуживания сооружений, недоукомплектованным штатом эксплуатационного персонала, а в некоторых случаях – потерей собственника и эксплуатирующей организации [1]. На территории Республики Беларусь согласно [2] все земляные плотины относятся к низконапорным (плотины IV класса) при этом водохранилища, образованные данными подпорными сооружениями, имеют объем более 1 млн м<sup>3</sup> [3]. Вероятность возникновения аварии на гидроузле возрастает после 40–50 лет эксплуатации гидроузла.*

Основными разрушающими факторами гидродинамических аварий при разрушении напорного фронта земляной плотины являются волна прорыва и катастрофическое затопление местности.

Волна прорыва имеет значительную скорость движения и обладает большой разрушительной силой. Волна прорыва, с гидравлической точки зрения, является волной перемещения, которая, в отличие от ветровых волн, возникающих на поверхностях больших водоемов, обладает способностью переносить в направлении своего движения значительные массы воды. Поэтому волну прорыва следует рассматривать как определенную массу воды, движущуюся вниз по реке и непрерывно изменяющую свою форму, размеры и скорость.

Поражающее действие волны прорыва проявляется в виде непосредственного ударного воздействия на людей и сооружения массы воды, движущейся с большой скоростью, и перемещаемых ею обломков разрушен-

214

ных зданий и сооружений, других предметов. Волной прорыва может быть разрушено большое количество зданий и других сооружений. Степень разрушения будет зависеть от их прочности, а также от высоты и скорости движения волны.

На затопляемой территории выделяют четыре зоны катастрофического затопления:

1. Первая зона непосредственно примыкает к гидросооружению и простирается на 6–12 км от него. Высота волны может достигать здесь нескольких метров. Характерен бурный поток воды со скоростью течения 30 км/ч и более. Время прохождения волны 30 мин.

2. Вторая зона – зона быстрого течения (15–20 км/ч). Протяженность этой зоны может быть 15–25 км. Время прохождения волны 50–60 мин.

3. Третья зона – зона среднего течения (10–15 км/ч). Протяженность до 30–50 км. Время прохождения волны 2–3 ч.

4. Четвертая зона – зона слабого течения (разлива). Скорость течения здесь может достигать 6–10 км/ч. Протяженность зоны в зависимости от рельефа местности может составлять 35–70 км.

Для моделирования течения в нижнем бьефе, которое формируется при появлении расхода в результате разрушения плотины используем модель Сен-Венана для течения воды в открытом русле произвольного профиля [4–6]. В [7] приведен пример моделирования гидродинамической аварии на Клястицком гидроузле в результате разрушения грунтовой однородной плотины и прохождения волны прорыва по прилегающей территории нижнего бьефа.

Обработав результаты разрушения грунтовой плотины и определив расход воды, проходящий через образовавшийся проран, можно получить контур затопляемой территории и отследить объекты, попадающие в эту зону. Расчетные границы зоны затопления нижнего бьефа Клястицкого гидроузла показаны на рис.



Рис. Расчетные зоны затопления территории нижнего бьефа Клястицкого водохранилища при разрушении плотины

Методика оценки экономического ущерба от затопления территории в результате гидродинамической аварии изложена в [8].

Оценка ущерба от аварии на гидроузле производится в общем виде по формуле:

$$\Pi_a = \Pi_{пп} + \Pi_{ла} + \Pi_{сэ} + \Pi_{нв} + \Pi_{экол},$$

где  $\Pi_a$  – полный ущерб от аварии, руб;  $\Pi_{пп}$  – прямые потери организации, эксплуатирующей опасный гидроузел;  $\Pi_{ла}$  – затраты на локализацию (ликвидацию) аварии, руб;  $\Pi_{сэ}$  – социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб;  $\Pi_{нв}$  – косвенный ущерб, руб;  $\Pi_{экол}$  – экологический ущерб, руб;

Каждый из ущербов, представленных в формуле, зависит от ряда факторов входящих в состав определяющего ущерба и оценивается масштабом гидродинамической аварии.

Оценка экономического ущерба является трудоемкой задачей. Так как в зону затопления попадает лесной массив, сельскохозяйственные угодья с которых сельхозпредприятия получают определенную сумму прибыли. Рассчитать экономические затраты для этих факторов с высокой точностью невозможно в силу экономических показателей сельскохозяйственного производства, которые в свою очередь зависят от климатических условий года. Оценка социально-экономических потерь и косвенного ущерба производится по данным переоценки жилищного фонда. Узнать стоимость застройки затопляемой территории можно по данным кадастра.

### Литература

1. Щедрин, В. Н. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланов, О. А. Баев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
2. ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования // Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь. – Мн., 2011 – 74 с.
3. Калинин, М. Ю. Водохранилища Беларуси: Справочник / М. Ю. Калинин [и др.]. – Мн.: ОАО Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 184 с.
4. Грушевский, М. С. Волны пусков и паводков в реках. / М. С. Грушевский. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 336 с.

5. Klohn-Crippen. Red River one-dimensional unsteady flow model: final report submitted to International Joint Commission / Klohn-Crippen // Richmond (British Columbia), 1999. May. – 88 pp.

6. Ahmad, S. Comparison of One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches for Red River Basin, final report to International Joint Commission / S. Ahmad, S. P. Simonovic // Winnipeg: University of Manitoba, 1999. December. – 52 pp.

7. Верменюк, В. В. Моделирование неустановившегося движения в нижнем бьефе гидроузла при разрушении грунтовой плотины / В. В. Верменюк, В. В. Ивашечкин, О. В. Немеровец // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 554–567. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-6-554-567>.

8. Методика по оценке размера ущерба от чрезвычайной ситуации на водохранилищах энергетического назначения / В. Е. Левкевич, З. Г. Патеева, А. В. Плискус; Институт экономики НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2011. – 47 с.

УДК 625.7/.8

### **Подземный водоотвод для предохранения земляного полотна от переувлажнения и размыва**

Копаченя С. С., Левицкий А. А., Линкевич Н. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены основные причины разрушений водоотводных конструкций, а также конструкции гидроизолирующих и капиллярпрерывающих прослоек и дренажных устройств, применяемые в дорожном строительстве и их роль в эксплуатации дороги и сооружений на ней.*

Известно, что оценка состояния автомобильных дорог определяется параметрами, установленными в нормативных документах [1, 2 и др.]. На данные параметры существенное влияние оказывает эффективность работы дорожных водоотводных сооружений. Неудовлетворительная работа сооружений дорожного водоотвода и дренажа вызывает деформации дорожного покрытия и разрушение элементов не только самого земляного полотна, но и прилегающих искусственных сооружений.

Из опыта эксплуатации водоотводных сооружений известно, что основными факторами, приводящими к разрушению их конструкций, являются: несоблюдение технологии выполнения строительных работ; ошибки, допущенные при проектировании; отклонения от проекта, необоснованные и

несогласованные с проектной организацией; недостаточный контроль качества работ; отсутствие должного ухода и надзора во время эксплуатации, а также ряд других отклонений от технологических, проектных, эксплуатационных и контрольных требований нормативной документации.

В ближайшие годы развитие автомобильных дорог в Беларуси будет осуществляться в рамках реализации Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 гг. [3]. Однако, остаются проблемными вопросы, связанные с показателями, определяющими транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог, в частности, с функционированием системы водоотвода и дренажа.

Дренажные устройства предназначены для понижения уровня грунтовых вод (УГВ) или для перехвата грунтовой и поверхностной воды, поступающей к дороге со стороны. Их необходимо применять в случаях недостаточного возвышения низа дорожной одежды над расчетным УГВ или над поверхностью земли на участках с необеспеченным поверхностным стоком, а также когда грунтовые воды могут нарушить прочность и устойчивость земляного полотна автомобильной дороги. При этом наименьшее возвышение низа дорожной одежды принимается в соответствии с [1, табл. 20]. Основаниями для использования дренажных устройств являются результаты анализа рельефа местности, геологических, гидрологических, климатических и других условий, в которых будет производиться строительство и эксплуатация дороги. Расположение и вид прослоек для прерывания перемещения капиллярной, пленочной и парообразной влаги и дренажных устройств (трубчатый дренаж, дренажные прорезы, подкюветный, закюветный, откосный, перехватывающий дренажи, а также дренирующие, гидроизолирующие и капиллярнопрерывающие прослойки [2, 4, 5]) относительно дорожного покрытия определяется, прежде всего, их назначением. Эффективность работы дренажа определяется тем, насколько труба или канава собирает и отводит воду, просачивающуюся из прилегающей части грунта. При этом дренажные трубы или канавы должны быть заглублены в грунт ниже УГВ. В результате работы дренажной системы образуется осушенная зона.

К системе дорожного водоотвода относят и подстилающий слой дорожной одежды из песка, гравия и других дренирующих материалов. Данный дренирующий слой собирают воду, проникающую через обочины, трещины и швы в дорожном покрытии. Эту воду из дренирующего слоя отводят на откосы насыпи или в боковые канавы при помощи дренажных труб или воронок, а при удельном объеме притока воды в сутки более  $0,005\text{--}0,007\text{ м}^3/\text{сут}$  на  $1\text{ м}^2$  проезжей части, а также на участках с нулевыми отметками или в выемках – поперечными дренажными трубами, изготовленными из керамики, полиэтилена или иного материала. Вместо труб мо-

гут быть устроены прорези, заполненные крупным дренирующим материалом или фильтром из геотекстильных материалов [2].

В зависимости от расположения по отношению к водоупору выделяют два типа дренажей: совершенный и несовершенный. Совершенный дренаж закладывается на поверхности водоупора или ниже его, для полного перехвата подземных вод, а несовершенный – укладывается выше водоупора глубокого залегания, или не доходит до него.

*Трубчатый дренаж* [2, 4] состоит из труб с перфорированными или пористыми стенками для отвода воды (рис. 1).

Для последующей прочистки дренажных труб в них протягивают проволоку при укладке в траншею. Концы проволоки закрепляют в смотровых колодцах из сборного железобетона, устраиваемых через каждые 50–80 м, а также на всех переломах дренажа в плане и продольном профиле. Если дренаж совершенный, то поверх уложенных труб на высоту 40 см засыпают гравий или щебень (сначала крупные фракции 40–70 мм, а потом мелкие 5–10 мм), который покрывают геотекстильным материалом для предотвращения заиливания и проникновения песка в пустоты щебня, затем до УГВ засыпают средним или крупным песком. Дренирующую обсыпку несовершенного дренажа выполняют замкнутой, а совершенного – сверху и с боков.

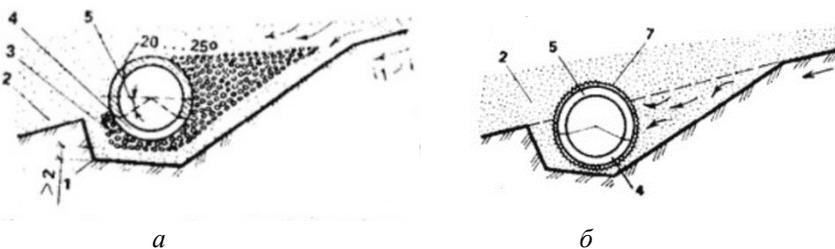


Рис. 1. Трубчатый дренаж:

- a* – с фильтровой обсыпкой; *б* – с дренажной обернутой геотекстильным материалом;  
1 – грунтовое основание; 2 – дренирующий слой; 3 – фильтровая обсыпка;  
4 – пропил в асбестоцементной трубе; 5 – дрена (перфорированная труба);  
7 – геотекстильный фильтрующий материал

Для последующей прочистки дренажных труб в них протягивают проволоку при укладке в траншею. Концы проволоки закрепляют в смотровых колодцах из сборного железобетона, устраиваемых через каждые 50–80 м, а также на всех переломах дренажа в плане и продольном профиле. Если дренаж совершенный, то поверх уложенных труб на высоту 40 см засыпают гравий или щебень (сначала крупные фракции 40–70 мм, а потом мелкие 5–

10 мм), который покрывают геотекстильным материалом для предотвращения заиливания и проникновения песка в пустоты щебня, затем до УГВ засыпают средним или крупным песком. Дренирующую обсыпку несовершенного дренажа выполняют замкнутой, а совершенного – сверху и с боков.

Для ограждения насыпи от обводнения из водоносного слоя, выклинивающегося под насыпью со стороны выемки, или от проникания воды по дренирующему слою из прилегающей выемки применяют *дренажи-прерыватели* (преградители). В сторону от земляного полотна вода может отводиться дренажными устройствами или открытой канавой [2].

При выходе водоносных слоев на поверхность откоса после разработки выемки, для предупреждения сползания водонасыщенного грунта по откосу устраивают *откосный дренаж* [6]. Воду из откосного дренажа отводят в кювет или железобетонный лоток, уложенный вдоль кювета (рис. 2). Горизонтальные дренажные лотки располагают у подошвы откоса выемки или у подошвы ее отдельных ярусов следующим образом: при глубине выемки до 4 м – в один ряд на высоте 0,5 м от подошвы; при глубине более 4 м – в два ряда.

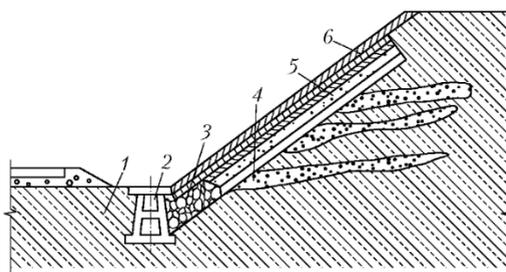


Рис. 2. Схема устройства откосного дренажа в выемке:

- 1 – глинистый грунт; 2 – железобетонный лоток; 3 – наброска из камня;
- 4 – водоносный песок; 5 – откосный дренаж; 6 – крепление откоса дерном или геотекстильными материалами

На участках дорог с продольным уклоном свыше 0,03 для устранения продольного движения воды в подстилающем слое предусматривают *поперечные перехватывающие прорезы*, которые располагают под углом 70–80° к оси дорог [6]. В прорези для отвода воды укладывают дренажные хризотилцементные, гончарные или полиэтиленовые трубы диаметром 80–100 мм с обсыпкой их дренирующим материалом (гравий, щебень, крупный песок) с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут или оборачиванием нетканым геотекстильным

материалом. При длине участка дороги с продольным уклоном свыше 0,03 не более 200 м перехватывающие прорези размещают в нижней части этого участка, а при большей длине – их располагают при удельном притоке воды в «корыто» в весенний период 1–4 л/м<sup>2</sup> в сутки и продольном уклоне участка 0,03–0,06 при подстилающем слое из песка крупного и средней крупности на расстоянии от 50 до 400 м, при этом меньшие значения расстояний между прорезями принимают при большем удельном притоке воды и меньшем уклоне, а большие значения – при меньшем удельном притоке воды и большем уклоне [2, табл. 4]. Выпуск воды из поперечных перехватывающих прорезей предусматривают в закрытый водосток, на откосы насыпей и в кюветы выемок [2].

*Ограждающие (перехватывающие) дренажи* [6] применяются для отвода грунтовых вод (верховодки) при вероятности поступления их в основание насыпи или в откос выемки. Расстояние от дренажа до ограждаемого участка земляного полотна устанавливают исходя из наименьшей глубины этого дренажа, а также из условия размещения дренажа в пределах устойчивой толщи и сохранения устойчивости земляного массива после возведения дренажа. Воду из ограждающих дренажей отводят в пониженные места местности или к водопропускным сооружениям (трубы, мосты и др.).

*Дренажные прорези* также применяют для дренирования подземных вод в верхней части косогора. Их заглубляют в водоупор при глубине перехвата водоносного слоя до 3 м и располагают перпендикулярно к направлению перехватывающих потоков подземных вод.

*Дренажные продольные прорези* [4, 5] устраивают на болотистой местности глубиной до 3 м для осушения слабых водонасыщенных грунтов, повышения устойчивости земляного полотна и снижения величины осадки при уплотнении грунта под весом насыпи. Технология устройства таких прорезей включает следующие операции (рис. 3): 1) экскаватором вырывают продольные прорези; 2) прорези заполняют песком послойно с уплотнением трамбовками; 3) сверху насыпают слой песка, который опирается на эти прорези и служит основанием земляного полотна на болоте. Для сохранения однородности отсыпанного слоя между песчаным слоем и прорезями может расстелиться нетканый синтетический материал.

При устройстве земляного полотна на болотах глубиной более 3 м применяют *конструкцию с вертикальными песчаными дренами* (рис. 4) [5], технология устройства которых включает: устройство (послойно) песчаной подушки с уплотнением виброкатками или трамбовками; устройство вертикальных дрен с заполнением их песком одновременно с виброуплотнением; возведение насыпи до высоты, обеспечивающей необходимую пригрузку; снятие пригрузочного слоя и выравнивание земляного полотна.

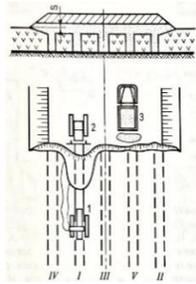


Рис. 3. Схема устройства земляного полотна с дренажными прорезями:  
 1 – устройство прорези экскаватором; 2 – заполнение прорези и послойное разравнивание грунта насыпи бульдозером; 3 – доставка грунта автомобилями;  
 I–V – последовательность устройства прорезей

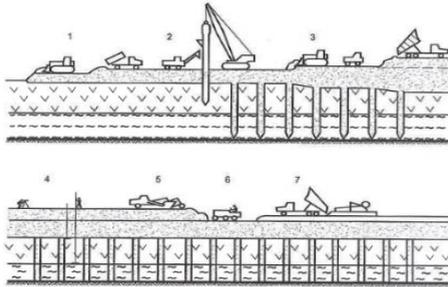


Рис. 4. Схема устройства земляного полотна с вертикальными дренами:  
 1 – надвигка бульдозером рабочего слоя; 2 – устройство дрен с загрузкой песком;  
 3 – наращивание земляного полотна до проектной отметки и устройство временной пригрузки; 4 – контроль осадки; 5 – снятие пригрузочного слоя; 6 – доуплотнение земляного полотна; 7 – устройство дорожной одежды

Вертикальные дренажи устраивают различными способами: забивкой специального рабочего органа (пуансона), а затем засыпкой образовавшейся скважины песком; забивкой или вибропогружением специальной обсадной трубы, которую заполняют песком, а затем извлекают, оставляя столб из песка в болотной массе; гидробурением скважины с последующей засыпкой ее песком; погружением дренажных лент из картона или древесных отходов. Наиболее широко применяют способ погружения обсадной трубы. При погружении конец трубы закрывают пробкой из бетона, которая остается на дне каждой дрены, или открывающимся при подъеме наконечником. При устройстве вертикальных дрен на глубину до 12 м вместо подъемного крана применяют экс-

каваторы со стрелой 18 м. Направляющая и упорная мачта фиксирует стрелу в рабочем положении и направляет движение вибропогрузителя с обсадной трубой. Песок загружают через воронку с помощью малого экскаватора с объемом ковша 0,15 м или погрузчика. Кроме этих машин необходимы электростанция для питания вибратора и передвижная буровая установка на автомобиле для устройства скважин в плотных минеральных слоях над торфом. Диаметр вертикальных дрен от 350 до 600 мм, расстояние между ними от 2 до 4 м, располагают их в шахматном порядке. Изменяя расстояние между дренами, можно изменять скорость уплотнения торфяного основания.

*Перехватывающий дренаж* [4] устраивают на отдельных участках дороги, проходящей в выемках, при глубине их ниже водоносного горизонта. Это обычно горизонтальный закрытый совершенный дренаж, имеющий со стороны откоса выемки водонепроницаемый экран из уплотненной глины или рулонных изолирующих материалов, устраиваемый для перехвата грунтовых вод, уровень которых выше уровня дорожного покрытия на участке, расположенного в выемке (рис. 5 и 6).

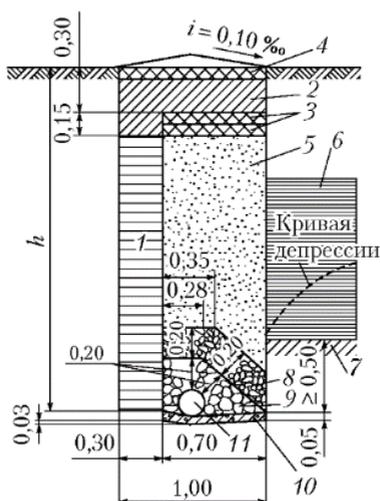


Рис. 5. Конструкция перехватывающего дренажа:

- 1 – экран из мятой глины; 2 – грунт основания дорожного полотна;
- 3 – утрамбованный глинистый грунт; 4 – крепление дерном или геотекстильными материалами; 5 – крупнозернистый песок; 6 – водоносный слой; 7 – водоупор;
- 8 – щебень или гравий фракции 5–10 мм; 9 – щебень фракции 40–70 мм;
- 10 – щебень, втрамбованный в грунт; 11 – дренажная труба диаметром 150–200 мм

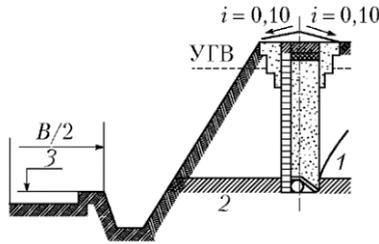


Рис. 6. Схема расположения перехватывающего дренажа:  
 1 – кривая депрессии; 2 – уровень грунтовых вод после устройства дренажа;  
 3 – отметка уровня поверхности дорожного полотна

При устройстве выемки с глубиной, превышающей глубину водоносного горизонта, необходимо устраивать дренаж до сооружения выемки. В зависимости от залегания водоносного слоя дренаж располагают в откосе выемки так, чтобы не вызвать обрушения откоса. Конструкция дренажа включает дренажную трубу, укладываемую на грунтощебенную или из гравийной смеси подушку. На толщину водоносного слоя со стороны откоса выемки в траншее дренажа создают глинистый водонепроницаемый слой, представляющий экран в виде стенки. Остальную часть заполняют песком. Поверх этой части дренажа укладывают глинистый водонепроницаемый слой, остальную часть сверху засыпают местным грунтом. Для дренажа применяют гончарные, асбоцементные и пластмассовые трубы с внутренним диаметром 50–300 мм. Вода в трубы поступает через водоприемные отверстия, продольные щели или стыки между звеньев труб. Уложенные в траншею трубы в стыках засыпают щебнем или обертывают фильтрующими материалами. Для устойчивого размещения труб целесообразно соединять их кольцевыми полимерными муфтами.

Технология устройства дренажа для перехвата грунтовых вод включает следующие операции: снятие дерна на полосе будущего дренажа; отрывка траншеи, начиная от места выпуска воды из дренажа во избежание затопления траншеи на глубину до водоносного горизонта с применением траншейного экскаватора (при глубокой траншее и неустойчивых грунтах – установка креплений с распорками); укладка подушки; устройство глиняного экрана; укладка труб с обертыванием стыков фильтрующим материалом или обсыпкой щебнем; проверка правильности укладки труб лазерным лучом; исправление искривленных мест; засыпка фильтрующим песком; укладка глинистого слоя с уплотнением; засыпка местным грун-

том с уплотнением; укладка дернового слоя по поверхности проложенного дренажа; строительство смотровых колодцев.

*Подкюветные* (рис. 7, 8) и *закюветные* (рис. 9) дренажи [2, 4–6] проектируют в выемках, нулевых местах, а также у насыпей высотой до 0,5 м на мокрых участках местности для перехвата или понижения уровня грунтовых вод земляного полотна. Подкюветный дренаж устраивается под основание кювета, в глубоких выемках, когда грунтовые воды располагаются близко к рабочему слою земляного полотна. При близком залегании водоупорного грунтового слоя устраиваются совершенные дренажи, а при глубоком залегании водоупора – несовершенные дренажи, дно которых находится выше водоупорного слоя. Совершенные дренажи при малой ширине земляного полотна могут выполняться с одной стороны. Несовершенные дренажи обычно устраивают с обеих сторон земляного полотна (рис. 7). Глубина заложения для совершенных дренажей должна быть ниже глубины расположения водоупорного слоя на 0,5–0,7 м, но не менее глубины максимального промерзания грунтов плюс 0,25–0,3 м. Для несовершенных дренажей глубину заложения принимают не менее  $3S$ , где  $S$  – требуемая величина снижения УГВ по оси дороги.

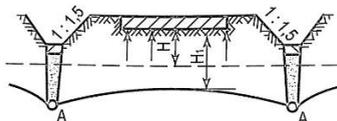


Рис. 7. Схема устройства подкюветного двустороннего дренажа:  
 $A$  – кривая депрессии;  $H$  – расстояние от основания дорожной одежды до уровня грунтовых вод до прокладки дренажа;  
 $H_1$  – тоже, после прокладки дренажа

Подкюветный и закюветный дренажи имеют одинаковую конструкцию и состоят из перфорированной трубы (гончарной, хризотилцементной или пластмассовой) диаметром 150–200 мм, обернутой в нетканый геотекстильный материал во избежание засорения отверстий, которая укладывается на дно траншеи и обезбачается сверху и с боков сначала щебнем фракции 40–70 мм, а затем гравием фракции 5–10 мм. Сверху гравия засыпается слой песка, по поверхности которого укладывают тонкий слой водонепроницаемого материала, или слой глинистого материала, или битумную пленку (норма розлива 4–5 л/м<sup>2</sup>). В соответствии с [2] продольный уклон траншей для трубчатого дренажа проектируют не менее 0,005; в исключительных случаях – 0,002–0,003; наибольший допускаемый уклон – 0,15.

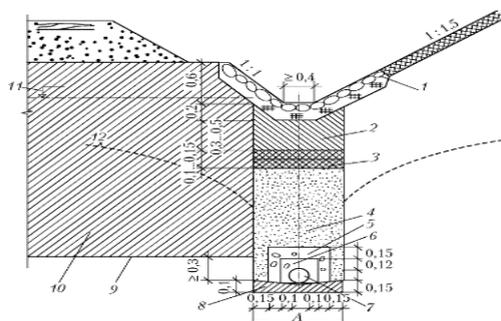


Рис. 8. Конструкция подкюветного дренажа:

- 1 – укрепление кювета; 2 – утрамбованный глинистый грунт; 3 – слой мягкой глины; 4 – среднезернистый песок; 5 – гравий фракции 5–10 мм; 6 – щебень фракции 40–70 мм; 7 – дренажная труба диаметром 150–200 мм; 8 – уплотненное основание; 9 – водоупорный слой; 10 – супесь пылеватая; 11 – горизонт воды до устройства дренажа; 12 – кривая депрессии

*Закюветный дренаж* (рис. 9) в отличие от подкюветного устраивается под откосом выемки, когда уровень грунтовых вод может превышать уровень основания кювета и вода будет просачиваться из нижней части откоса; этот дренаж менее подвержен засорению.

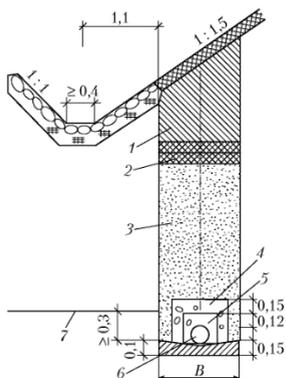


Рис. 9. Конструкция закюветного дренажа:

- 1 – утрамбованный глинистый грунт; 2 – два слоя дерна корнями вверх или слой мягкой глины; 3 – среднезернистый песок; 4 – гравий фракции 5–10 мм; 5 – щебень фракции 40–70 мм; 6 – дренажная труба диаметром 150–200 мм; 7 – водоупорный слой

В качестве мероприятий по регулированию водного режима также применяются дренирующие, гидроизолирующие и капиллярнопрерывающие прослойки [2, 4]. Их устраивают на участках дороги, где технически невозможны или экономически нецелесообразны традиционные мероприятия по регулированию водного режима грунтов земляного полотна и где имеется опасность пучинообразования.

*Дренирующая прослойка* представляет собой слой из дренирующих грунтов или нетканых синтетических материалов, способных фильтровать воду в плоскости холста с коэффициентом фильтрации более  $30 \text{ м}^3/\text{сут}$  с учетом заиливания и, обеспечивающий отвод грунтовой воды и осушение земляного полотна. При невозможности обеспечения необходимого расстояния между дорожной одеждой и уровнем грунтовых вод устраивается в земляном полотне водонепроницаемый слой – *изолирующая прослойка*. Прослойки могут быть сплошные (толщиной 3–8 см), замкнутые (в обойме), капиллярнопрерывающие (толщиной 10–15 см).

Гидроизолирующие и капиллярнопрерывающие прослойки устраиваются для 1) снижения высоты насыпи на отдельных участках дороги; 2) снижения объема земляных работ; 3) уменьшения толщины морозозащитного и дренирующего слоев; 4) уменьшения толщины основания дорожной одежды.

*Гидроизолирующая прослойка* защищает грунт земляного полотна или слой дорожной одежды от воздействия инфильтрационных и грунтовых вод (рис. 10).

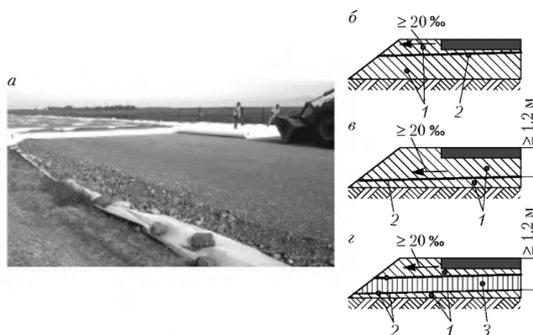


Рис. 10. Гидроизолирующая прослойка:

*а* – устройство прослойки; *б* – конструкция земляного полотна с гидроизолирующей прослойкой под дорожной одеждой на всю ширину земляного полотна; *в* – тоже, на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия, но не ниже 0,2 м от поверхности земли; *г* – тоже, состоящая из двух прослоек; 1 – глинистый грунт; 2 – гидроизолирующий материал; 3 – грунт пониженной влажности в обойме

Их устраивают под дорожной одеждой на всю ширину земляного полотна во избежание его переувлажнения от атмосферных осадков (рис. 10, б), или на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия, но не ниже 0,2 м от поверхности земли (рис. 10, в) при наличии близких к поверхности грунтовых или поверхностных вод для предотвращения переувлажнения верхней части рабочего слоя земляного полотна. При увлажнении рабочего слоя одновременно от инфильтрационных и грунтовых вод устраивают две гидроизолирующие прослойки, заключая грунт в верхней части земляного полотна в обойму (рис. 10, з).

*Капилляропрерывающая прослойка* представляет собой водонепроницаемый слой, который препятствует поднятию по порам грунта грунтовых вод от нижних горизонтов в верхние слои земляного полотна. Такие прослойки устраивают на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия и не менее 0,2 м над уровнем грунтовых вод (рис. 11).

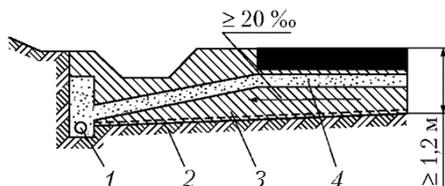


Рис. 11. Дорожная одежда с капилляропрерывающей прослойкой:  
1 – трубчатый дренаж; 2 – глинистый грунт; 3 – капилляропрерывающая прослойка; 4 – песок

Для устройства гидроизолирующих и капилляропрерывающих прослоек применяют грунты, обработанные вяжущими (битумом, цементом и др.); изол; полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 мм; нетканые синтетические материалы, пропитанные битумом; пластиковые и другие мембраны. Для капилляропрерывающих прослоек, кроме перечисленных выше, применяют слои гравия и щебня толщиной 0,10–0,15 м. Укладку рулонного материала прослойки необходимо начинать с низовой стороны, с перемещением в сторону возвышенной части, причем каждый последующий слой должен быть наложен на предыдущий не менее чем на 10 см. Отдельные полосы рулонного материала склеивают или сваривают между собой. При устройстве прослойки из битумогрунта поверхность обрабатываемого грунтового слоя профилируют. Обработку слоя толщиной не менее 8–10 см выполняют дорожной фрезой или однопроходной грунтосмесительной машиной.

Таким образом, устройство подземного водоотвода, способствует улучшению водно-теплового режима земляного полотна и, как следствие, повышению его устойчивости и долговечности.

## Литература

1. Автомобильные дороги. СН 3.03.04-2019. – Введ. 21.09.2020. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 60 с.
2. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. ТКП 200-2018. – Введ. 01.09.2018. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2018. – 189 с.
3. О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 апреля 2021 г., № 212 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://government.by/upload/docs/file653ebd78390aa875.pdf>. – Дата доступа: 17.04.2022.
4. Бабаскин, Ю. Г. Строительство земляного полотна автомобильных до-рог: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Автомобильные дороги» / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2016. – 332 с.
5. Автомобильные дороги. Устройство водоотводных и дренажных систем при строительстве автомобильных дорог и мостовых сооружений: Стандарт организации. СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013. – Введ. 24.06.2013. – М.: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «БСТ», 2014. – 55 с.
6. Рекомендации по применению геосинтетических материалов в конструкциях укреплений земляного полотна и дренажных устройств: ДМД 02191.2.063-2012. – Минск, 2012. – 58 с.

УДК 624.042.7; 624.01:550.34

### **Особенности применения горизонтальных инерционных барьеров для снижения колебаний плитных фундаментов при внешних вибродинамических воздействиях**

Повколас К. Э.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приводится способ виброизоляции фундаментов существующих зданий и сооружений за счет размещения между ними и источником вибраций на поверхности грунта горизонтальной бетонной плиты. Эффект ее применения достигается за счет отражения поверхностных волн от поверхности плиты, контактирующей с грунтом.*

Для снижения негативного влияние вибородинамических воздействий передаваемых извне, через грунтовую среду, на существующие фундамен-

ты зданий и сооружений, и далее на наземные конструкции, предлагается использовать способ виброизоляции, суть которого заключается в демпфировании поверхностных волн инерционной плитой, расположенной на поверхности грунта. Эффект демпфирования поверхностной волны при ее контакте с инерционной плитой связан с ее отражением, преломлением и частичным поглощением.

На рис. 1 приводится расчетная конечно-элементная схема грунтового массива, с расположенном на нем фундаменте под машину и инерционной плите. Расчет проводился по теории упругого инерционного полупространства с демпфированием колебаний по Релею.

Расчетная схема (рис. 1) представляет собой грунтовый массив размерами  $50 \times 30 \times 19$  м, на котором расположены бетонный фундамент мелкого заложения с размерами в плане  $1,5 \times 1,5$  м и высотой 1,0 м и инерционная плита толщиной 2 м. На фундамент вертикально действует динамическая нагрузка в виде синусоидального импульса, характерная для работы штампа или кузнечного молота с амплитудой 10 т, частотой 25 Гц и продолжительностью 0,02 сек. Грунт средний песок с динамическим модулем упругости  $E = 5000$  т/м<sup>2</sup>, коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,33$  и удельным весом 2,0 т/м<sup>3</sup>. Расчет производится в ПК «LIRA 10.8» с использованием расчетного комплекса «Динамика+». Время интегрирования – 0,5 сек.

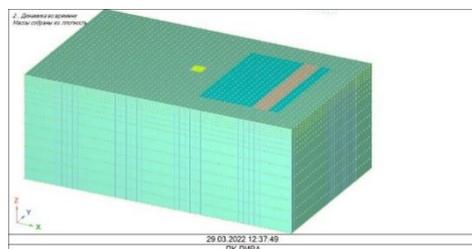


Рис. 1. Конечно-элементная схема системы «фундамент под машину – грунтовая среда»

По результатам расчета выявлены зависимости перемещений, скорости и ускорения конструкций источника, инерционной плиты и поверхности грунта за ее пределами. Изменения амплитуд вертикальных перемещений с ростом расстояния от источника колебаний представлены на рис. 2. Бетонные плиты длиной 3 и 15 м толщиной 2 м начинаются на расстоянии 5 м от точки приложения нагрузки.

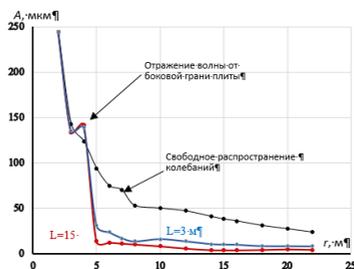


Рис. 2. Зависимость максимальной амплитуды  $A$  (мкм) колебаний от расстояния между источником и приемником колебаний  $r$  (м) при толщине бетонной плиты 2 м и длинах 3 и 15 м

Из представленных данных следует, что интенсивное снижение вертикальных перемещений происходит начиная с боковой грани инерционной плиты. Здесь амплитуда вертикальных колебаний уменьшается в 9,8 раз для бетонной плиты длиной 15 м, и в 4,2 раза для 3-х метровой плиты. На расстоянии 22 м от точки приложения динамической нагрузки амплитуды уменьшаются в 5,48 и 2,95 раз соответственно для плит длиной 15 и 3 м.

Данный способ снижения вибродинамических воздействий, возникающих от источников, расположенных в приповерхностной зоне грунтового массива, обладает простотой конструктивного исполнения и может быть использован в стесненных условиях городской застройки для защиты как существующих, так и проектируемых зданий и сооружений.

УДК 626.35

### Способы укрепления откосов синтетическими материалами

Яковлев Е. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье рассмотрены различные виды синтетических материалов, которые находят применение в строительстве, а, в частности, в конструкциях креплений откосов, их свойства и область применения.*

На сегодняшний день, как в строительстве, так и в ландшафтном дизайне, мелиорации и др. сферах возникает необходимость в решении ряда задач по повышению устойчивости откосов и склонов. Данная необходимость возникает при устройстве откосов или склонов с высоким коэффи-

циентом заложения. Однако не только это влияет на устойчивость откосов, а также внешние воздействия: осадки, ветер, движение транспорта вблизи откоса, фильтрационный выпор грунтовых вод и др. Целью укрепления откосов является стабилизация эрозионных процессов грунта и предотвращение его обрушения под собственным весом или сползания вследствие сил инерции.

При выборе метода для стабилизации склона необходимо учитывать такие факторы, как крутизна склона, нагрузка на откос, наличие или отсутствие вибрации, уровень грунтовых вод, скорость потока в канале, а также состав грунтов откоса. В зависимости от наличия того или иного фактора для решения задач по укреплению откосов применяются различные способы. Так в некоторых случаях для укрепления откосов необходимо применять тяжелые системы из железобетонных плит, а в других случаях достаточно произвести посев многолетних трав. На сегодняшний день на откосах не подверженных высоким нагрузкам на поверхность и в теле откоса для крепления активно используют синтетические материалы, которые могут обладать различными физическими свойствами и могут применяться в различных случаях, в том числе и в комбинированных конструкциях откосов. Синтетические материалы, которые используются в грунтах называются – геосинтетиками.

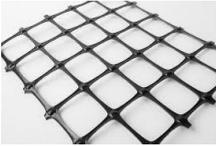
В литературных источниках встречаются различные классификации геоматериалов в зависимости от используемого материала и способа производства. Ниже на рис. приведены две наиболее часто встречаемые классификации [1, 2].



Рис. Классификации геоматериалов

В строительстве широкое применение получили именно полимерные материалы, изготовленные из синтетических или натуральных полимеров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур. В зависимости от свойств и форм материалов в работе [2] выделены виды геосинтетических материалов, а также их области применения. Все виды приведены в табл.

Основные виды геосинтетических материалов

Материал (Вид)	Название	Область применения
1	2	3
	Георешетки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– укрепление склонов дорог</li> <li>– строение подпорных стен различного назначения;</li> <li>– армирование неоднородных грунтов;</li> <li>– укрепление русел рек и прибрежной зоны водоемов;</li> </ul>
	Геосетки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– укрепление и повышение общей устойчивости крутых откосов;</li> <li>– разделение различных типов грунтов при возведении насыпи;</li> <li>– повышение несущей способности слабого основания;</li> <li>– обеспечение равномерной осадки насыпи и сокращения сроков консолидации основания;</li> <li>– повышение устойчивости грунтовых конструкций на сдвиг;</li> </ul>
	Геотекстиль	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дорожное строительство;</li> <li>– армирование откосов;</li> <li>– строительство туннелей;</li> <li>– гидротехнические сооружения;</li> <li>– производство гидро-дренажных систем;</li> </ul>
	Геоматы	<ul style="list-style-type: none"> <li>– укрепление откосов, кюветов насыпей и выемок;</li> <li>– озеленение откосов;</li> <li>– защита оползневых склонов оврагов и сооружений на участках оползней;</li> </ul>
	Геомембраны	<ul style="list-style-type: none"> <li>– водоупорные плотины;</li> <li>– водоемы и резервуары;</li> <li>– водопропускные каналы;</li> </ul>
	Геокомпози-ты	<ul style="list-style-type: none"> <li>– горизонтальный и вертикальный дренаж строительных конструкций;</li> <li>– армирование склонов, дорог, подпорных стенок;</li> <li>– стабилизация грунтов.</li> </ul>

Исходя из вышеизложенного, современное производство позволяет использовать различные высокоэффективные строительные материалы, которые помогают решать значительный круг практических задач, включая укрепления откосов и склонов.

Применение такого рода материалов позволяет повысить устойчивость грунтовых конструкций, обеспечивая стабильность грунтов.

Для эффективного выбора и применения данных материалов необходимо отталкиваться от инженерно-геологических и метеорологических условий, а также от назначения и условий эксплуатации откоса.

### **Литература**

1. Методические указания по применению геосинтетических материалов в дорожном строительстве: Междунар. семинар «Геотекстиль и геосинтетика при стр-ве автомоб. дорог» / Науч.-наслед. общество дор. и трансп. стр-ва, Германия. МАДИ. – М., 2001. – 100 с.

2. Institutional Repository NTU Dnipro Polytechnic [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/149918/285-293.pdf>. – Дата доступа: 10.04.2022.

УДК 656.621

### **Инновационные технологии на водном транспорте: анализ текущего состояния, предпосылки возникновения и основные направления внедрения**

Таболич Т. Г.

ГУ «Государственная администрация водного транспорта»  
Минск, Республика Беларусь

*Статья посвящена современному состоянию информационных технологий, цифровизации и интеллектуализации на водном транспорте за рубежом и в республике Беларусь. Уделено внимание проделанной за последние годы работе в данном направлении, а также возможным перспективам и направлениям развития и внедрения информационных технологий на водном транспорте в краткосрочной перспективе.*

Вопросам внедрения прогрессивных информационных технологий и систем автоматизации при организации работ и услуг автомобильным, воздушным, железнодорожным, а также в транспортно-экспедиционной деятельности в республике Беларусь уделяется достаточно большое внимание. Вместе с тем на международном уровне все больше обсуждаются вопросы внедрения информационных технологий, цифровизации и авто-

матизации при организации работ и услуг на внутреннем водном и морском транспорте.

Судоходство является важной опорой мировой экономики. Конкурентные преимущества, которые обеспечивает водный транспорт при перевозке больших партий грузов на дальние расстояния, включают безопасность, устойчивость и экономическую эффективность с точки зрения общих затрат на транспортировку и энергопотребления из расчета на тонно-километр, а также низкий уровень аварийности и низкую плотность движения. Водный транспорт доказал свою надежность и экологичность. Уровень выбросов барж из расчета на тонно-километр является более низким по сравнению с поездами и грузовыми автомобилями.

В этой связи вопросы внедрения автоматизированных информационных систем и технологий на водном транспорте привлекают все большее внимание мирового сообщества.

Активное развитие и внедрение автоматизированных систем и информационных технологий на внутреннем водном транспорте стран Европы произошло 17 лет назад, и зафиксированы в Директиве 2005/44/ЕС. Данный документ носит правовой характер и определяет обязательные правила для передачи данных, а также минимальный уровень речной информации для всех речных информационных служб (РИС).

В Руководстве [1] под **речными информационными службами** понимаются гармонизированные информационные службы, содействующие управлению движением судов и перевозками в сфере внутреннего судоходства во взаимосвязи с другими видами транспорта. РИС призваны способствовать безопасному и эффективному процессу перевозок и наиболее полному использованию возможностей внутренних водных путей.

Общеввропейская концепция РИС заключается в создании телекоммуникационной инфраструктуры – электронных карт внутренних водных путей, каналов связи, береговых сетей радиосвязи и радиолокации, современных автоматизированных идентификационных систем (АИС), систем доведения информации до потребителей – Web-порталов РИС и «Единого окна» получения информации РИС.

При этом европейские РИС успешно взаимодействуют с другими видами транспорта: морским, автомобильным и железнодорожным и являются собирательным понятием с согласованным на уровне ЕЭК ООН порядком предоставления информации для пользователей конкретных информационных служб, которые призваны содействовать внутреннему судоходству. В РИС ведется сбор, обработка, хранение, обработка анализ и оценка информации о состоянии судоходных путей, движении судов и перевозках, а также информирование пользователей системы полученными в результате указанных действий сведений, данных.

Текущая правовая база для речных информационных служб основана на Директиве 2005/44/ЕС [2] и определяет обязательные правила для передачи данных, а также минимальный перечень информации, отражаемый в системе информационных служб уже на протяжении 17 лет, ведется усовершенствование таких систем. И наиболее современные РИС, например портал информационной службы Голландии, позволяет в онлайн режиме видеть работу судоходных шлюзов, время проведения на них ремонтных работ, навигационные условия и гидрологическую информацию о состоянии ВВП и режимом работы портов.

Вместе с тем до недавнего времени единственным отражением информации о состоянии внутренних водных путей Республики Беларусь (ВВП) являлись навигационные карты, а также информационный бюллетень Или путевой листок, принцип создания которых и их физическое исполнение морально устарели и не соответствовали современным представлениям об информационных системах международного уровня. При этом актуальная информация о состоянии объектов инфраструктуры их характеристик, судового хода, навигационного оборудования должна своевременно и незамедлительно предоставляется судоводителю перед выходом в рейс. Ее отсутствие в свою очередь влечет за собой увеличение риска возникновения на внутренних водных путях аварийных случаев и влечет угрозу безопасности судоходству в целом.

С целью мониторинга состояния внутренних водных путей и своевременного информирования судоводителей, был разработан алгоритм предоставления информации (рис.) судоводителям и заинтересованным, путем размещения актуальной информации, сведенной в единый сводный информационный бюллетень (СИБ), на сайте ГУ «Государственная администрация водного транспорта» (Администрация) – [gawt.by](http://gawt.by).

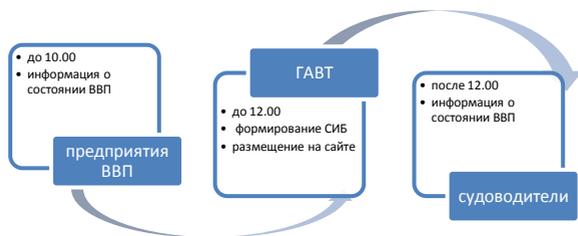


Рис. Реализованный порядок предоставления информации о внутренних водных путях

Сводный информационный бюллетень – оперативная гидрологическая и путевая информация для судовладельцев в границах речного бассейна, выпускаемая на бланке установленной формы.

Формирование СИБ по ВВП осуществляется каждый день специалистами Администрации и используется для контроля за выполнением путевых работ исполнителями, а именно за местом расположения земснарядов, при выполнении дноуглубительных работ, а также фактическими и планируемыми габаритами судового хода внутренних водных путей.

Сегодня сводный информационный бюллетень содержит следующую информацию:

- сведения об уровнях воды по основным гидропостам;
- данные о наименьших глубине и ширине судовых ходов с указанием лимитирующих участков пути;
- сведения об изменениях в расстановке навигационных знаков, об открытии или закрытии судовых ходов;
- информацию об ограничениях и особых условиях движения судов;
- сведения об условиях судоходства в местах производства строительных, подводно-технических и дноуглубительных работ;
- гидрологическую информацию, включающую данные о ледовых образованиях;
- сведения о дислокации технического флота и изыскательских партий.

Проведенная работа по формированию порядка сбора, учета и обработки информации о состоянии внутренних водных путей республики Беларусь, а также цифровизации полученных данных, и сведению их в единую систематизированную базу данных позволила в 2021 году:

– систематизировать работу по получению ежедневной информации, в навигационный период, от предприятий водных путей о судоходных условиях на внутренних водных путях Республики Беларусь и ее предоставление в виде сводного информационного бюллетеня (СИБ) на сайте учреждения;

– выполнить сбор и анализ гидрологической информации государственного водного кадастра (ГВК) по опорным гидропостам на внутренних водных путях за многолетний период: среднесуточные и среднемесячные данные по уровням, расходам воды и ледовым явлениям;

– вести и своевременно актуализировать реестр учета обустройства внутренних водных путей Республики Беларусь, который учитывает количественный и финансовый учет берегового и плавучего навигационного оборудования, а также возведенных выправительных сооружений;

– обеспечить поддержание гарантированных габаритов внутреннего водного пути, установленных Техническим заданием по обслуживанию,

улучшению и развитию внутренних водных путей на 2021 год в течение всего навигационного периода 2021 года.

В перспективе, на основании выполненной работы, планируется разработка и создание на базе Web-технологий, интернет-портала информационно-аналитической системы внутренних водных путей (ИАС ВВП), который будет позволять выполнять следующие функции:

1. Оперативно получать статистические данные и информацию о судоходных условиях по внутренним водным путям Республики Беларусь от организаций, структурировать и систематизировать ее в единой системе (уровни воды по гидропостам и ГТС, габариты судового хода по участкам и перекатам, данные о дислокации технического флота, характеристика судоходных условий, подмостовые габариты);

2. Отображать справочную информацию о технических характеристиках судоходных ГТС, гидропостов, мостов, участков водных путей, лимитирующих перекатов и др.;

3. Автоматически формировать сводный информационный бюллетень (СИБ), который будет доступен в личном кабинете авторизованных пользователей, для извещения компаний судовладельцев, предприятий водных путей и других заинтересованных пользователей;

4. Создавать аналитические отчеты по указанным критериям для принятия решений и контроля выполнения путевых работ исполнителями, а также для оперативного анализа судоходной обстановки на внутренних водных путях.

### **Литература**

1. Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб (РИС). Резолюция № 57. – Организация объединенных наций Нью-Йорк и Женева, 2005.

2. Directive 2005/44/EC of the European parliament and of the council on harmonised river information services (RIS) on inland waterways in the Community.

УДК 631.453: 421.3

### **Применение агрохимической мелиорации на загрязненных дерново-подзолистых супесчаных почвах**

Курчевский С. М.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены результаты лизиметрического опыта по изучению применения систем удобрений с целью санации дерново-подзоли-*  
238

*стой почвы загрязненной тяжелыми металлами. Экспериментально установлено, что транслокационная способность тяжелых металлов и, как следствие, накопление токсикантов в зерновых и пропашных культурах снижается при использовании органоминеральной системы удобрений.*

Все основные циклы миграции тяжелых металлов (ТМ) в биосфере начинаются в почве, поскольку именно в ней происходит мобилизация металлов и образование различных миграционных форм. Значительная реакционная поверхность минерального вещества, наличие почвенных растворов и органического вещества, насыщенность микроорганизмами, мезофауной и корнями высших растений создают сложнейшую систему трансформации соединений тяжелых металлов в почве [1, 2, 3].

Почва способна активно трансформировать соединения, поступающие в нее, повышать или понижать их миграционную способность. В процессе взаимодействия почва – металлы, они сорбируются органическим веществом, гидроксидами железа, глинистыми минералами. Подвижность катионов в почвах тем выше, чем меньше прочность и связи с почвенно-поглощающим комплексом. В настоящее время разработка научно обоснованных систем применения удобрений на техногенно измененных почвах является актуальной задачей [5].

Поведение тяжелых металлов в почвах при применении научно обоснованных систем удобрений для агрохимической санации почв, загрязненных ТМ, нами изучалось в многолетнем лизиметрическом опыте (с 2002 по 2012 года) на дерново-подзолистой почве.

В модельном опыте, комплексного загрязнения почвенного покрова поллютантами, тяжелые металлы были внесены в повышенном количестве (Cu – 90 мг/кг; Zn – 110 мг/кг; Pb – 40 мг/кг; Cd – 0,6 мг/кг). Для этого использовались химически чистые соли:  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ;  $Pb(CH_3COO)_2$ ;  $CdSO_4$ . При загрязнениях учитывалось содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах.

Многолетние стационарные опыты проводили: в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем, площадь стационарных полевых лизиметров составляла от 0,78 до 1,17 м<sup>2</sup>.

Первоначальная закладка (загрязнение ТМ и использование органоминеральной, органической и минеральной систем удобрений) состоялась в 2002 году. Фоновое известкование и внесение навоза проводилось в 2006 году, рассчитывалось и вносилось на каждый вариант. В опыте использовали мочевины (N – 46 %) или аммиачную селитру (N – 34,5 %), суперфосфат двойной (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 46 %), калий хлористый (K<sub>2</sub>O – 60 %), навоз крупного рогатого скота. Удобрения вносили под весеннюю обработку почвы.

Задача агрохимических средств заключается в создании сбалансированного питания для сельскохозяйственных культур в условиях техногенного загрязнения. Избыточные концентрации ТМ оказывают влияние на фосфорный обмен, на синтез АТФ (Аденозинтрифосфат) и АДФ (аденозиндифосфат) и, следовательно, на урожай продукции растениеводства. При этом фитотоксичное действие тяжелых металлов наиболее выражено на слабокультуренных почвах с рН ниже 5 [4].

В табл. 1–3 для картофеля и ячменя в числителе указано содержание ТМ в основной, в знаменателе – в побочной продукции; для сена – первый (числитель) и второй укос (знаменатель).

Таблица 1

Содержание свинца в растительной продукции на загрязненной дерново-подзолистой почве, мг/кг

Вариант	Картофель	Ячмень	Клевер (сено)	Биомасса зерновых	Свекла кормовая	Среднее содержание
Контроль	$\frac{0,43}{2,95}$	$\frac{0,68}{1,4}$	$\frac{1,88}{4,29}$	0,75	0,211	1,37
Навоз КРС40 N90P60K120	$\frac{0,26}{3,12}$	$\frac{0,33}{1,68}$	$\frac{1,50}{2,50}$	0,84	0,194	0,94
Навоз КРС40 N90P60K120	$\frac{0,25}{2,92}$	$\frac{0,33}{1,67}$	$\frac{1,62}{2,68}$	0,83	0,184	0,98
Навоз КРС40 N90P240K120	$\frac{0,24}{3,39}$	$\frac{0,44}{0,78}$	$\frac{1,48}{1,43}$	1,34	0,199	0,86
Навоз КРС80	$\frac{0,42}{2,50}$	$\frac{0,32}{0,96}$	$\frac{0,50}{1,79}$	1,08	0,202	0,72
Навоз КРС40 N90P480K120	$\frac{0,27}{2,39}$	$\frac{0,32}{1,03}$	$\frac{2,25}{0,71}$	0,92	0,167	0,77
ПДК <sub>п</sub>	0,5	0,5	–	–	–	–
ПДК <sub>корм.</sub>	5	5	5	5	5	–

Таблица 2

Содержание кадмия в растительной продукции на загрязненной дерново-подзолистой почве, мг/кг

Вариант	Картофель	Ячмень	Клевер (сено)	Биомасса зерновых	Свекла кормовая	Среднее содержание
Контроль	<u>0,04</u> 0,24	<u>0,21</u> 0,14	<u>0,31</u> 0,79	0,09	0,019	0,25
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>0,04</u> 0,21	<u>0,07</u> 0,10	<u>0,12</u> 0,28	0,09	0,020	0,10
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>0,04</u> 0,22	<u>0,13</u> 0,09	<u>0,24</u> 0,46	0,07	0,016	0,16
Навоз КРС40 N90P240K120	<u>0,04</u> 0,20	<u>0,07</u> 0,13	<u>0,20</u> 0,23	0,15	0,017	0,11
Навоз КРС80	<u>0,05</u> 0,23	<u>0,18</u> 0,11	<u>0,09</u> 0,26	0,10	0,025	0,12
Навоз КРС40 N90P480K120	<u>0,04</u> 0,23	<u>0,10</u> 0,11	<u>0,31</u> 0,13	0,09	0,017	0,13
ПДК <sub>п.</sub>	0,03	0,1	–	–	–	–
ПДК <sub>корм.</sub>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	–

Таблица 3

Содержание цинка в растительной продукции на загрязненной дерново-подзолистой почве, мг/кг

Вариант	Картофель	Ячмень	Клевер (сено)	Биомасса зерновых	Свекла кормовая	Среднее содержание
Контроль	<u>6,58</u> 99,5	<u>76,1</u> 59,3	<u>76,6</u> 132,2	45,7	11,4	58,1
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>6,62</u> 103,5	<u>58,7</u> 45,2	<u>25,3</u> 67,5	51,4	13,1	37,1
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>6,70</u> 74,8	<u>56,4</u> 111,2	<u>61,4</u> 55,0	72,3	16,3	44,7
Навоз КРС40 N90P240K120	<u>6,02</u> 67,9	<u>49,2</u> 106,9	<u>45,5</u> 32,5	63,1	14,4	35,1
Навоз КРС80	<u>6,10</u> 51,7	<u>37,6</u> 72,3	<u>7,7</u> 30,0	61,4	27,3	28,4
Навоз КРС40 N90P480K120	<u>9,6</u> 103,1	<u>53,0</u> 72,5	<u>75,8</u> 102,1	67,7	21,5	55,0
ПДК <sub>п.</sub>	10	50	–	–	–	–
ПДК <sub>корм.</sub>	100	50	50	50	100	–

Содержание Рb в клубнях картофеля, свеклы кормовой, биомассе зерновых, а также в побочной продукции и кормовых травах (клевер) 1 и 2 укоса не превышает нормативных значений. В основной продукции ячменя на варианте без применения удобрений зафиксировано накопление свинца более предельно-допустимой концентрации (ПДК) на 36 %.

Таблица 4

Содержание меди в растительной продукции на загрязненной дерново-подзолистой почве, мг/кг

Вариант	Картофель	Ячмень	Клевер (сено)	Биомасса зерновых	Свекла кормовая	Среднее содержание
Контроль	<u>2,06</u> 9,06	<u>6,02</u> 8,77	<u>7,19</u> 17,7	1,62	2,26	6,1
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>1,72</u> 4,72	<u>4,36</u> 2,36	<u>2,01</u> 9,16	3,67	1,53	3,7
Навоз КРС40 N90P60K120	<u>1,60</u> 8,67	<u>4,00</u> 5,68	<u>4,05</u> 6,60	2,92	1,33	3,4
Навоз КРС40 N90P240K120	<u>1,38</u> 6,55	<u>4,75</u> 4,44	<u>3,98</u> 6,18	3,02	1,93	3,5
Навоз КРС80	<u>1,86</u> 2,67	<u>3,50</u> 4,38	<u>0,59</u> 5,67	2,09	2,79	2,8
Навоз КРС40 N90P480K120	<u>1,70</u> 10,91	<u>4,43</u> 3,88	<u>5,96</u> 1,80	3,36	2,21	3,2
ПДК <sub>д.</sub>	5	10	–	–	–	–
ПДК <sub>корм.</sub>	30	30	30	30	30	–

По содержанию кадмия в растительности в опыте получены следующие результаты. Содержание данного элемента в свекле и биомассе зерновых, а также побочной продукции картофеля и ячменя находится в пределах ПДК. Значительное накопление Cd произошло в клубнях картофеля во всех вариантах опыта (на 66 % – в 4 варианте, на 33 % – в остальных вариантах). Аккумуляция данного элемента наблюдалась в основной продукции ячменя в контроле, 2 и 4 вариантах опыта (на 110 %, 30 и 80 % соответственно), а также в клевере 2 укоса в контроле и 2 варианте (на 163 % и 53 % соответственно).

Результаты опыта по влиянию различных систем удобрений на аккумуляцию цинка сельскохозяйственными растениями следующие. Содержание данного металла в свекле, основной и побочной продукции картофеля (кроме незначительного превышения – на 3,5 % в 1 и 5 вариантах) находится в пределах ПДК. В биомассе зерновых произошло накопление цинка на всех вариантах с удобрениями (максимум – во втором варианте – на 45 %). В основной и побочной продукции ячменя также наблюдалось превышение содержания данного элемента практически во всех вариантах (максимум – во втором и третьем варианте – на 122 % и 114 % соответственно). Биоаккумуляция Zn произошла в биомассе клевера 1 и 2 укосов во всех вариантах опыта, за исключением 3 и 4 вариантов, где содержание элемента не превысило 50 мг/кг. Максимальную концентрирующую ТМ в биомассе способность показали растения в варианте без удобрений 1 укос – на 53,2 %, 2 укос – на 164,4 %.

В опытах установлено, что органическая система удобрений – повышенная доза навоза (80 т/га в севообороте) и органо-минеральная система удобрений (навоз 40 т/га и фосфор (P240) периодически 1 раз на 3–4 года и ежегодно оптимальные дозы азота и калия) лучше других систем уменьшают накопление в основной продукции свинца – на 47 % и 37 %, меди – 54 % и 43 %, цинка – 51 и 40 %, кадмия – 56 и 52 % соответственно.

#### **Заключение.**

1. Агрохимические приемы рекомендуется применять в комплексе, т.е. путем внедрения научно обоснованной органо-минеральной системы удобрений;

2. В севооборотах следует отводить около 40 % многолетним и однолетним травам, корни которых будут концентрировать значительную часть ТМ. После уборки надземной части, пожнивные остатки и корни рекомендуется запахивать на всю глубину гумусового горизонта загрязненной почвы;

3. Органические и минеральные удобрения рекомендуется применять систематически в севооборотах. Для этого предложена система периодического (1 раз в четыре года) внесения органических и фосфорных удобрений. Рекомендуемая доза навоза – 40 т/га (1 раз в четыре года) является бездефицитной в балансе гумуса. Дозы минеральных удобрений, в зависимости от культуры, колеблются: N – 30–90 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 60–120, K<sub>2</sub>O – 60–120 кг/га (из расчета в год).

#### **Литература**

1. Мажайский, Ю. А. Агроэкология техногенно загрязненных агроландшафтов: монография / Ю. А. Мажайский, С. А. Тобратов, Н. Н. Дубенок [и др.]. – Смоленск: Маджента, 2003. – 384 с.

2. Ладонин, Д. В. Влияние техногенного загрязнения на фракционный состав меди и цинка в почвах / Д. В. Ладонин // Почвоведение. – 1995. – № 10. – С. 1299–1305.

3. Ганжара, Н. Ф. Содержание тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах и ЛОГ / Н. Ф. Ганжара, М. Ф. Флоринский, М. С. Озерова // Изв. ТСХА. – 1993. – № 4. – С. 64–72.

4. Большаков, В. А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами / В. А. Большаков, Н. Я. Гальпер, Г. А. Клименко [и др.]. / М.: ВНИИТЭИСХ, 1978. – 52 с.

5. Аммосова, Я. М. Охрана почв от химического загрязнения / Я. М. Аммосова, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова /. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 96 с.

**Графоаналитический метод расчета скважинного водозабора**

Крицкая В. И., Ивашечкин В. В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*Групповые водозаборы подземных вод с линейными сборными водоводами широко применяются для водоснабжения предприятий и населенных пунктов. Гидравлические расчеты групповых водозаборов выполняют как на стадии технико-экономического сравнения вариантов размещения скважин и технологических схем подачи и распределения воды, так и на стадиях проектирования выбранного варианта водозабора и его эксплуатации. При гидравлических расчетах используются аналитические и графоаналитические методы. Аналитический метод расчета требует составления специальной программы расчета на ЭВМ, а графоаналитический – обладает повышенной трудоемкостью, но более нагляден для работников эксплуатирующей организации, которых интересует прогноз влияния снижения характеристик скважин, насосов и системы распределения воды на уменьшение производительности всего водозабора и отдельных скважин во времени.*

Целью настоящей работы является анализ результатов аналитического и графоаналитического способов определения подачи насосов скважин на примере расчета режимов эксплуатации линейного скважинного водозабора.

Рассмотрим работу четырех насосов, установленных в скважинах водозабора (насосы № 1, № 2, № 3, № 4) и подающих воду в резервуар (РЧВ) (рис. 1).

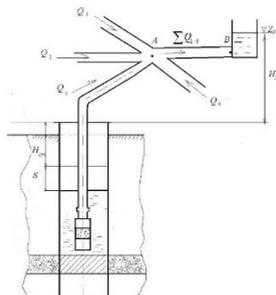


Рис. 1. Расчетная схема работы четырех скважинных насосов на резервуар

Определяем подачу воды в резервуар при совместной работе четырех насосов аналитическим и графоаналитическим способами.

Аналитический способ предполагает составление системы из четырех нелинейных алгебраических уравнений, каждое из которых представляет собой баланс напоров потока в трубопроводе (от насоса до резервуара) [1].

Напор погружного насоса  $H^H$  в функции расхода  $Q$  обычно аппроксимируют полиномиальной зависимостью

$$H^H = -aQ^2 + bQ + c, \quad (1)$$

где  $a$  – некоторый фиктивный напор насоса;  $b$ ,  $c$  – коэффициенты кривой  $H^H = f(Q)$  насоса, характеризующие собой его фиктивное гидравлическое сопротивление.

Соответственно рабочие характеристики насосов № 1, № 2, № 3, № 4 (рис. 1), установленных в скважинах соответствующих номеров можно представить в виде

$$H_i^H = -a_i Q_i^2 + b_i Q_i + c_i, \quad (2)$$

Система четырех нелинейных алгебраических уравнений имеет вид:

$$H_i^H = H_{cvi} + H_{vi} + s_i + h_{vni} + h_{lni} + h_{AB}, \quad (3)$$

где  $H_{cvi}$  – статический уровень воды в скважине;  $H_{vi}$  – высота от устья скважины до уровня воды в резервуаре;  $s_i$  – переменные во времени понижения уровней воды в скважинах с учетом кольтатационных процессов

$s_i = \frac{Q_i e^{\beta_i t}}{q_i}$ ;  $\beta_i$  – коэффициент старения;  $t$  – время;  $h_{vni}$ ,  $h_{lni}$ ,  $h_{AB}$  – потери напора по длине соответственно в водоподъемных трубах, в линиях подключения и в сборном водоводе длиной  $l_{AB}$ .

Потери напора определяют по формулам:

$$h_i = A_i l_i Q_i^2, \quad (4)$$

$$h_{AB} = A_{AB} l_{AB} \left( \sum_{i=1}^4 Q_i \right)^2, \quad (5)$$

где  $A_b$  – удельное сопротивление соответственно в водоподъемных трубах и линиях подключения;  $A_{AB}$  – в сборном водоводе.

Исходные данные для расчета представлены на рис. 2.

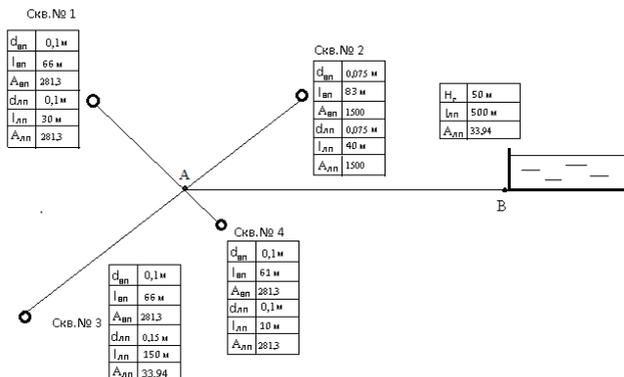


Рис. 2. Исходные данные для расчета

Для определения расходов  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  составим систему нелинейных уравнений

$$\begin{cases}
 -a_1 Q_1^2 + b_1 Q_1 + c_1 = H_{сч1} + H_r + \frac{Q_1 e^{\beta_1 t}}{q_1} + A_{лп1} l_{лп1} Q_1^2 + A_{лн1} l_{лн1} Q_1^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_2 Q_2^2 + b_2 Q_2 + c_2 = H_{сч2} + H_r + \frac{Q_2 e^{\beta_2 t}}{q_2} + A_{лп2} l_{лп2} Q_2^2 + A_{лн2} l_{лн2} Q_2^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_3 Q_3^2 + b_3 Q_3 + c_3 = H_{сч3} + H_r + \frac{Q_3 e^{\beta_3 t}}{q_3} + A_{лп3} l_{лп3} Q_3^2 + A_{лн3} l_{лн3} Q_3^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_4 Q_4^2 + b_4 Q_4 + c_4 = H_{сч4} + H_r + \frac{Q_4 e^{\beta_4 t}}{q_4} + A_{лп4} l_{лп4} Q_4^2 + A_{лн4} l_{лн4} Q_4^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2
 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases}
 833143Q_1^2 + 2305,7Q_1 + 172,42 = 38,7 + 50 + \frac{Q_1 \cdot 1}{3} + 281,3 \cdot 66 \cdot Q_1^2 + 281,3 \cdot 30 \cdot Q_1^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_2^2 + 2305,7Q_2 + 172,42 = 40 + 50 + \frac{Q_2 \cdot 1}{0,6} + 1500 \cdot 83 \cdot Q_2^2 + 1500 \cdot 40 \cdot Q_2^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_3^2 + 2305,7Q_3 + 172,42 = 43,7 + 50 + \frac{Q_3 \cdot 1}{0,8} + 281,3 \cdot 66 \cdot Q_3^2 + 33,94 \cdot 150 \cdot Q_3^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_4^2 + 2305,7Q_4 + 172,42 = 41,8 + 50 + \frac{Q_4 \cdot 1}{1,6} + 281,3 \cdot 61 \cdot Q_4^2 + 281,3 \cdot 10 \cdot Q_4^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2
 \end{cases}$$

Решаем систему уравнений численным методом на ЭВМ. При работе четырех насосов получили следующие подачи:  $Q_1 = 9,46$  л/с,  $Q_2 = 6,4$  л/с,

$Q_3 = 7,29$  л/с,  $Q_4 = 8,66$  л/с. При работе двух насосов (№ 1 и № 3) получим:  $Q_1 = 10,35$  л/с,  $Q_3 = 8,12$  л/с.

Также решить эту задачу можно и графоаналитическим способом. Пусть работают только две скважины водозабора № 1 и № 3. Определим подачи насосов ЭЦВ8-25-100, установленных в этих скважинах [2].

Начало отсчета координат  $Q-H$  располагаем на отметке статического уровня  $Z_{ст3}$  скважины № 3 и принимаем за 0. Наносим на графике линию статического уровня воды в скважине № 1, имеющую отметку  $Z_{ст1} = Z_{ст3} + 5$  м и отметку верхнего уровня воды в сборном резервуаре  $Z_p = H_{ст} + H_r$ . Строим характеристику  $s_3$  скважины № 3 по выражению  $s_3 = \frac{Q_3 e^{\beta_3 t}}{q_3}$ , при произвольных значениях  $Q_3$  и при  $t = 0$ . Аналогично стро-

им характеристику скважины  $s_1$  по выражению  $s_1 = \frac{Q_1 e^{\beta_1 t}}{q_1}$ . Для построе-

ния характеристик совместной работы скважин, насосов и водоводов от скважин до точки  $A$  строим характеристики насосов  $H_1^H$  и  $H_3^H$  по выражению вида (2), откладывая их вверх от соответствующих отметок  $z_{ст1}$  и  $z_{ст3}$ . Строим характеристики трубопроводов  $h_1$  и  $h_3$  по выражению (4), откладывая их вверх от соответствующих отметок  $Z_{ст1}$  и  $z_{ст3}$ . Отнимаем от характеристик насосов значения характеристик скважин и водоводов. Полученные характеристики совместной работы скважин, насосов и водоводов  $H_1^{H,s,h}$  и  $H_3^{H,s,h}$  называются приведенными характеристиками к точке  $A$ . Суммируем эти характеристики вдоль оси расходов  $Q$  и получаем приведенную характеристику  $H_{1+3}^{H,s,h}$  работы двух насосов. Строим характеристику  $h_{AB}$  водовода  $AB$  по выражению (5), откладывая значения напоров вверх от линии уровня воды в баке  $z_6 = H_{ст3} + H_r$  и  $z_{ст3}$ . Точка пересечения  $C$  характеристики  $h_{AB}$  с суммарной приведенной характеристикой  $H_{1+3}^{H,s,h}$  является рабочей точкой. Абсцисса точки  $C$  дает суммарную подачу  $Q_{сумм}$  двух насосов. Проведя горизонтальную линию из точки  $C$  до пересечения с кривыми  $H_1^{H,s,h}$  и  $H_3^{H,s,h}$  находим подачи насосов  $Q_1$  и  $Q_3$ .

Для лучшего восприятия аналитического и графоаналитического способов приведем пример работы двух скважин (№ 1 и № 3) (рис. 3)

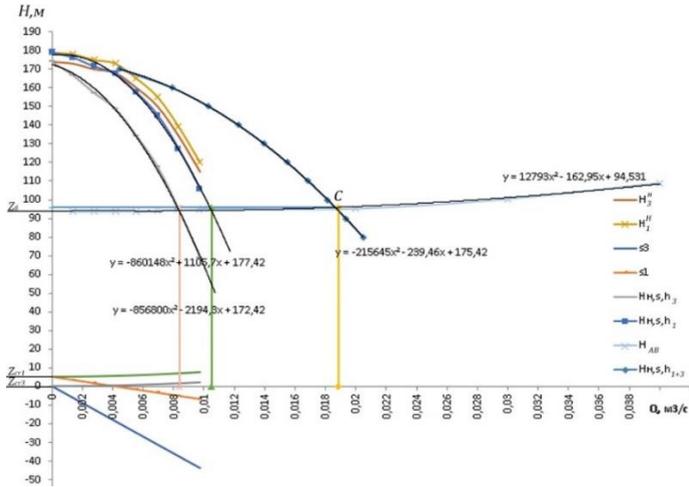


Рис. 3. График для нахождения приведенной характеристики к точке А

При решении графоаналитическим способом получены следующие расходы:  $Q_{\text{сумм}} = 18,65$  л/с,  $Q_1 = 10,39$  л/с,  $Q_3 = 8,25$  л/с.

Таким образом, в данной работе выполнен анализ результатов аналитического и графоаналитического способов определения подачи насосов скважин на примере расчета режимов эксплуатации линейного скважинного водозабора. Погрешность составила

$$(18,65 - 18,47) / 18,654 \times 100 \% = 0,96\%.$$

### Литература

1. Карасев, Б. В. Насосные и воздухоподъемные станции / Б. В. Карасев. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 325 с.
2. Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции: Учеб для вузов. – 2-е. изд., перераб. и доп. / В. Я. Карелин, А. В. Минаев – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

УДК 539.3

**Численный анализ напряженно-деформированного состояния  
высокой грунтовой плотины с учетом данных натуральных наблюдений**

Салямova К. Д.<sup>1</sup>, Амангельдиев А. Ш.<sup>2</sup>, Турдикулов Х. Х.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений  
Академии наук Узбекистана,

<sup>2</sup>Ташкентский Архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан,

<sup>3</sup>Ферганский политехнический институт  
Фергана, Республика Узбекистан

*Проектирование, строительство и эксплуатация грунтовых гидротехнических сооружений (грунтовых плотин) в сейсмических регионах ставит перед исследователями ряд задач по разработке и усовершенствованию расчетных методик оценки их прочности при различных нагрузках. Одной из главных задач по обеспечению надежной работы грунтовой плотины при нагрузках является своевременный анализ данных натуральных, визуальных наблюдений, а также контрольно-измерительной аппаратуры и устройств (КИА и У) и сверка с их критериальными значениями*

В работе сопоставлены результаты данных натуральных наблюдений с расчетными, которые позволили совершенствовать методику и алгоритмы при составлении прогнозной математической модели состояния сооружения при основных нагрузках. Исследования проведены на примере высокой грунтовой плотины Чарвакской ГЭС в Узбекистане.

Начиная с ввода в эксплуатацию (1974 г.) по сегодняшнее время в соответствии с нормами [1] на каменно-земляной плотине Чарвакской ГЭС проводятся систематические натурные наблюдения: за деформациями тела плотины; поровым давлением в ядре; напряжениями в ядре; низовой упорной призме; фильтрационным режимом в основании и ядре плотины, деформациями скального основания плотины; цементационной потерной (осадки секций, раскрытие швов и трещин, напряжения в арматуре и бетоне); состоянием грунта ядра в период эксплуатации плотины; образованием трещин в ядре плотины и сейсмическими воздействиями на плотину [2, 3].

В основном КИА и У в рассматриваемом сооружении установлены на измерительных створах и шести основных ярусах по высоте. Приборы для наблюдений за фильтрацией в основании плотины, приурочены к харак-

терным геологическим и топографическим условиям основания, а также ленточные и вертикальные дренажи.

Наблюдения за напряжениями производятся в створе, расположенном в середине горизонтальной левобережной поймы, где соблюдаются условия плоской задачи. Измерение напряжений [3] в суглинистом ядре производится жесткими датчиками на четырех горизонтах. Датчики устанавливаются в сечении, перпендикулярном продольной оси плотины, плоскими розетками (по четыре прибора в розетке) для фиксации вертикальных и горизонтальных напряжений и напряжений по наклонным (под углом  $45^\circ$  к горизонту) площадкам.

Наблюдения за поровым давлением в суглинистом ядре и на его контакте с основанием проводятся с помощью более 100 пьезодинамометров. По мере завершения процесса консолидации ядра эти приборы используются для наблюдений за фильтрацией.

Аналізу данных натуральных наблюдений за фильтрацией, поровым давлением, осадками и смещением в высоких грунтовых плотинах с ядром посвящены работы известных ученых; Анискина Н. А., Леднева М. Н., Рассказова Л. Н. [2], Денисова Г. В. и др. В качестве примера взяты грунтовые плотины Нурекской, Чарвакской, Гоцалинской, Зейской ГЭС и др.,

Для прогнозирования состояния грунтовой плотины при основных нагрузках произведено сопоставление результатов численного расчета напряженного состояния [3–5] с данными натуральных наблюдений.

В качестве численной упругой модели сооружения рассматривается плоско-деформируемая модель (поперечное сечение) грунтовой плотины, находящаяся на упругом основании. При этом учитываются конструктивные особенности сооружения, а также кусочно-неоднородные физико-механические характеристики грунтов.

Математическая постановка задачи основана на вариационном принципе Лагранжа, согласно которому [3–5]

$$\delta A = \delta A_\sigma + \delta A_p + \delta A_p = - \int_V \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} dV + \int_V \rho g \delta v dV + \int_V \gamma h \delta v dS,$$

где  $V = V_1 + V_2 + V_3$ ;  $V_1$ ,  $V_3$  – объем верхней и нижней упорной призмы;  $V_2$  – объем центрального ядра (рис. 1).

Интегралы представляют работу сил упругости (первый интеграл), массовых сил (второй интеграл) и гидростатического давления на поверхность верхового откоса (третий интеграл).

Для решения задачи по исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовой плотины при нагрузках применим численный

метод (метод конечных элементов (МКЭ)), так как практически невозможно получить аналитическое решение для кусочно-неоднородного сооружения, имеющего сложную геометрическую форму.

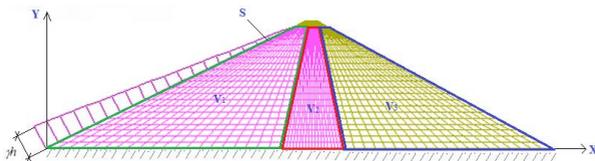


Рис. 1. Расчетная схема

Согласно МКЭ, тело делится на конечное число элементов. Элементы объединяются через узловые точки. В основу МКЭ положены относительно простые математические модели, которые приводят к большим арифметическим вычислениям. Принятая математическая модель должна достаточно точно описывать реальные свойства объектов.

Граничные условия на поверхности верхового откоса имеют вид

$$\begin{aligned} p_x &= \sigma_{xx}l_1 + \tau_{xy}m_1, \\ p_y &= \tau_{xy}l_1 + \sigma_{yy}m_1, \end{aligned}$$

где  $p_x, p_y$  – компоненты напряжений от гидростатического давления на поверхности верхового откоса, равные нулю при отсутствии гидростатического давления;  $l_1, m_1$  – направляющие косинусы площади верхового откоса.

Граничные условия на гребне плотины:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= 0 \\ \sigma_{yy} &= 0. \end{aligned}$$

Граничные условия на поверхности низового откоса

$$\begin{aligned} \sigma_{xy}l_2 + \tau_{xy}m_2 &= 0, \\ \tau_{xy}l_2 + \sigma_{yy}m_2 &= 0. \end{aligned}$$

где  $l_1, m_1$  – направляющие косинусы площади низового откоса.

При отсутствии гидростатики поверхность боковых откосов и гребень плотины будут свободны от нагрузок. Тогда статические граничные условия на этих поверхностях примут

$$\sigma_{ij}n_j = 0,$$

где  $n$  – вектор нормали к поверхности.

Учет гидростатики на поверхности верхового откоса плотины, находящейся в однородной несжимаемой жидкости водохранилища, сводится к заданию на поверхности откоса давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z,$$

где  $z$  – глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды;  $g$  – ускорение свободного падения.

Граничные условия на нижней границе основания – жесткие, что выражается в отсутствии здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y = 0 : \delta u \Big|_{y=0} = 0; \delta v \Big|_{y=0} = 0.$$

С учетом разработанной методики и алгоритма решения, задача сводится к решению системы линейных уравнений, относительно перемещений

$$[K]\{u\} = \{P\},$$

где  $[K]$  – матрица жесткости для всей модели, формирующаяся из матриц жесткости отдельных элементов;  $\{u\}$  – искомый вектор узловых перемещений;  $\{P\}$  – вектор нагрузок (силы гравитации, гидростатика).

В математическую постановку задачи входит соотношения Коши и закон Гука [3–5]. Разработанный алгоритм решения такого типа задач был протестирован путем сопоставления с решениями других авторов [3–5].

При расчетах грунтовой плотины рассматривается створ, где имеется КИА и У (данные АО Гидропроекта) высота – 131 м; коэффициенты заложения откосов – 2,2, ядра – 0,2. Физико-механические параметры грунта призм:  $E = 60$  МПа, объемный вес  $\gamma_{\text{сух}} = 1950$  кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma_{\text{нас}} = 2230$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ . Параметры грунта ядра:  $E = 30$  МПа, объемный

вес  $\gamma_{\text{сух}} = 1760 \text{ кг/м}^3$ ,  $\gamma_{\text{нас}} = 2110 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ , коэффициенты наклона 0,2.

Результатами решения поставленной задачи являются: поле распределения смещений (горизонтальных и вертикальных), нормальных напряжений (горизонтальных, вертикальных, касательных) (рис. 2) и их сопоставление с данными многолетних натуральных наблюдений. В данном варианте для рассматриваемой грунтовой плотины Чарвакской ГЭС эти материалы были предоставлены АО Гидропроект. Полученные в ходе решения задачи горизонтальные и вертикальные перемещения плотины указывают, что сооружение под собственным весом сплющивается (гребень опускается, откосы выпучиваются), об этом свидетельствуют значительные вертикальные перемещения гребня и противоположные знаки горизонтальных перемещений верхней и нижней призм сооружения. В основном, такая деформация (горизонтальное растяжение) наблюдается в верхней трети сооружения, что может привести здесь к потере прочности.

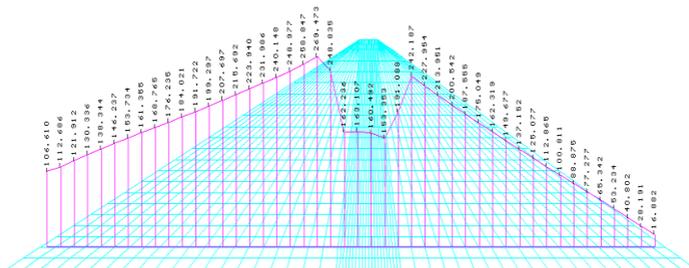


Рис. 2. Расчетные эпюры вертикальных напряжений  $\sigma_v$  ( $\text{т/м}^2$ ) на отметке уровня воды 780,0 м

Возникающее в ядре грунтовой плотины поровое давление рассчитывается различными методами, а также с учетом и без учета консолидации грунта. При расчете был рассмотрен створ плотины, где во время строительства установлены КИА – грунтодинамометры (ГД), пьезодинамометры (ПД).

Расчетные компоненты напряженного состояния – нормальные горизонтальные, вертикальные напряжения в теле плотины, находящейся под собственным весом и гидростатики при наполнении 125 м, показаны на рис. 3, 4 показания ГД, ПД – поровое давление от времени эксплуатации.

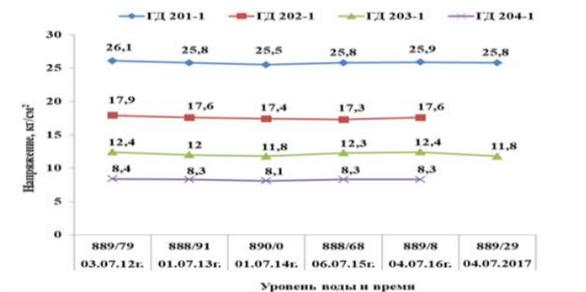


Рис. 3. Данные натуральных наблюдений вертикальных напряжений  $\sigma_y$  ( $\text{т/м}^2$ ) на отметке уровня воды 780,0 м в зависимости от срока эксплуатации

Сопоставление результатов вычислений вертикальных перемещений с натурными данными показывает разницу 8 % для створа 6 и 9 % для 9 (рис. 4, 5).

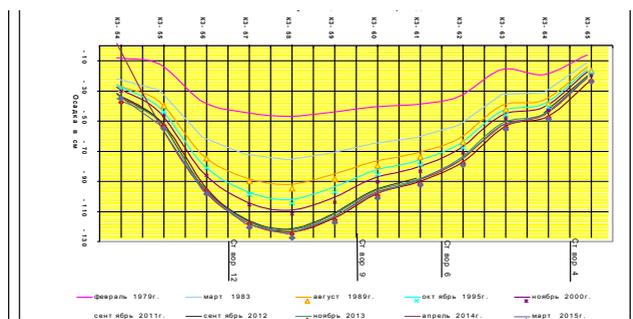


Рис. 4. Осадка бермы верхней упорной призмы плотины на отметке 872,0 м в эксплуатационный период

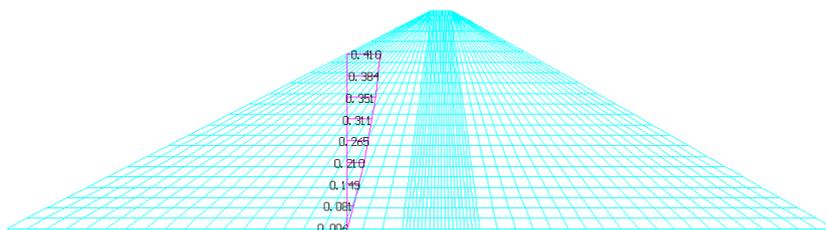


Рис. 5. Эпюры вертикальных перемещений (осадки) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (отметка 872,0 м)

Расчетные осадки грунтовой плотины с учетом гидростатики после окончания строительства указаны на рис. 5 (7 февраля 1979 г.). Сравнение результатов вычислений с данными натуральных наблюдений по определению осадок плотины при наполнении водохранилища указало их полное совпадение, что доказывает достоверность разработанной программы расчета и полную согласованность их характера с известным решением Гольдина А. С.

Сопоставление численных результатов и натуральных данных позволили сделать выводы;

- понижение порового давления по времени отмечается на отметке 780,0 м., а также в основании вблизи потерны со стороны нижнего бьефа;
- на отметке 817,0 м понижение порового давления ощущается со стороны нижнего бьефа;
- на отметке 853,0 м со стороны нижнего бьефа поровое давление не изменяется во времени, также как и на отметке 858,0 м.
- увеличение во времени порового давления ощущается в основании плотины вблизи ядра со стороны верхнего бьефа и на отметках 817,0 м, 853,0 м также со стороны верхнего бьефа.

Анализ данных натуральных наблюдений и их сопоставление с численными результатами доказывает, что остаточное поровое давление присутствует на этих отметках и образует ядро порового давления, а процесс консолидации происходит на отметке 780,0 м, которая, как заметно на рис. 3, находится практически в основании плотины, но выше основания ядра. Следовательно, на этой отметке происходит максимальное давление от ядра плотины, упорных призм и, соответственно напора в водохранилище.

Разработанная методика и алгоритмы решения статических задач по определению напряженно-деформированного состояния для грунтовой плотины позволяет определить наиболее уязвимые участки с точки зрения возможной потерей прочности, что влияет на ее безопасность.

В глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС рассеивание порового давления происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины.

## Литература

1. КМК 2.06.05-98. Строительные нормы и правила. Плотины из грунтовых материалов // Минстрой республики Узбекистан. – Ташкент. – 1998. – 136 с.
2. Рассказов, Л. Н. Осадки и смещения Нурекской плотины по данным натуральных наблюдений / Л. Н. Рассказов, Е. Ядгоров // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 2. – С. 18–24.
3. Естифеева, А. Г. Обеспечение безопасной эксплуатации грунтовой плотины Чарвакской ГЭС с учетом данных натуральных наблюдений / А. Г. Естифеева, И. Р. Мифтахова, К. Д. Саямова, Х. Х. Турдикулов // Проблемы механики. – 2020. – № 1–2. – С. 60–63.
4. Саямова, К.Д. Расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натуральных наблюдений) / К. Д. Саямова, Х. Х. Турдикулов, И. Р. Мифтахова // Вестник БГТУ. – 2019. – № 7. – С. 24–32.
5. Зенкевич, О. Э. Метод конечных элементов в технике / О. Э. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 375 с.

УДК 624.131.439; 627.43

### **Разжижение грунтов основания Загорской ГАЭС-2 при подтоплении котлована**

Колосов М. А., Моргунов К. П.  
Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*На основе анализа аварийных случаев обрушения и оползания склонов водохранилищ и котлованов сделано предположение о том, что причинами таких аварий являются водонасыщение грунтов и вызванное им разжижение. Именно разжижение грунтов основания при наполнении бассейна нижнего бьефа является причиной аварийной просадки здания Загорской ГАЭС-2*

В практике гидротехнического строительства в последние годы обратили внимание на следующее явление – при наполнении водохранилищ или котлованов строящихся объектов происходит как обрушение грунтовых массивов береговых склонов, так и просадки оснований построенных и строящихся объектов.

Так, известен случай обрушения левобережного склона берега реки Вайонт в итальянских Альпах при строительстве плотины и наполнении

256

водохранилища. Огромный объем оползня обрушился в водохранилище, практически полностью заполнив его ложе. Волна, переклестнув через плотину, промчалась по ущелью стеной высотой более 150 м, разрушая населенные пункты, погибло более 2000 человек [1].

Случай оплывания берега произошел недавно на Бурейском водохранилище (река Бурей) примерно в 100 км выше по течению от Бурейской ГАЭС – очень крупный оползень сошел с крутого левого берега. Оползень полностью перекрыл русло реки, остановив поступление воды к гидроэлектростанции. Разборка завала посредством взрывного дноуглубления потребовала времени более двух месяцев и почти сотню тонн взрывчатки.

Необходимость учета возможности паводкового подтопления в очередной раз продемонстрировала значительная осадка здания строящейся ГАЭС-2. К моменту происшествия здание станции было полностью построено, заканчивался монтаж оборудования. После разбора временной строительной перемычки нижний бьеф был заполнен водой, здание станции было поставлено под напор, строительная готовность станции составляла более 90 %. Однако в результате деформации основания произошла неравномерная просадка здания и его перекося – правая часть здания ГАЭС (вместе с одним из блоков подпорной стенки) просела на 1,17 м, а левая поднялась на 0,22 м.

После отсыпки перемычки, изолирующей здание Загорской ГАЭС-2 от нижнего бассейна, и откачки воды начались исследования причин аварии, в том числе и путем бурения скважин в районе правой части здания ГАЭС и непосредственно под самим зданием. Были обнаружены сквозные (от нижнего бьефа к верхнему) размывы грунта максимальной глубиной до 10 м. Оказалось, что при наполнении водой нижнего бьефа станции вследствие неэффективной работы противодиффузионной и дренажной систем в районе примыкания здания ГАЭС к подпорной стенке происходило насыщение грунтов основания водой, фильтрующейся из нижнего бьефа. Затем произошло выпирание грунта в верхнем бьефе, и туда прорвался разжиженный грунт из-под основания здания. Далее сформировался сквозной канал под зданием ГАЭС, через который вода поступала из нижнего бьефа в верхний. Происходило дальнейшее вымывание грунта и расширение полости под зданием ГАЭС, что и вызвало его осадку. Процесс развивался весьма быстро и завершился после уравнивания отметок воды в верхнем и нижнем бьефах.

В настоящее время разрабатываются варианты подъема здания путем подачи в грунты основания быстротвердеющих синтетических материалов [2]. Однако причины просадки здания недостаточно проанализированы. На наш взгляд, просадка здания гидроаккумулирующей станции есть результат разжижения грунтов основания при их водонасыщении после

наполнения нижнего бьефа. При этом следует учитывать то обстоятельство, что при повышении водонасыщенности грунта, то есть все более полном заполнении пор водой, на частицы грунта начинает действовать взвешивающая (архимедова) сила. Структура естественных грунтов характерна разным размером частиц (в диапазоне, определяемом характером грунта), беспорядочной их укладкой, вызывающей образование пор различного размера, различную жесткость скелета, различную степень устойчивости отдельных частиц, нагруженных в разной степени. Поэтому в массиве грунта напряжения от веса вышележащих слоев для разных точек оказываются не одинаковыми, и взвешивающее давление воды, действующее на частицы, зачастую оказывается соизмеримым с действующими напряжениями и является той силой, которая приводит к нарушению устойчивости частиц и их перемещению.

Грунты основания здания Загорской ГАЭС-2 представлены аллювиальными отложениями мелкозернистого песка в берегах и русле реки Куныя. Отмечена высокая пористость грунтов (не менее 30 %) и полное изначальное отсутствие воды в порах [3].

Разрабатывая рекомендации по строительству здания на сухом берегу, проектировщик (НИС Гидропроекта) ориентировался только на несущую способность грунтов, обусловленную трением в массиве грунта ( $\text{tg}\varphi = 0,5$ ). Влияние сил взвешивания при заполнении пор водой не учитывалось. Именно подтопление и силы взвешивания привели к практической потере трения в грунтах и разжижению аллювиального массива.

Как известно, общее сопротивление сдвигу связного грунта определяется законом Кулона – оно складывается из сопротивления трения, пропорционального нормальному напряжению (давлению), плюс сцепление, не зависящее от давления

$$\tau = \sigma \text{tg}\varphi + c,$$

где  $\tau$  – касательное напряжение в грунтовом массиве, Н/м;  $\sigma$  – нормальное напряжение, Па;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, рад;  $c$  – сцепление, обусловленное наличием в связных грунтах глинистых фракций, Па.

При подтоплении грунтового массива нормальные напряжения в грунтах снижаются, что приводит к снижению (вплоть до полной потери) трения. Действие сил взвешивания приводит к потере несущей способности грунтов, порой – к их разжижению [4].

Потеря несущей способности при подтоплении грунтов откосов, сложенных из разнородных грунтов, включая каменные обломки, пески и глины, и вызывает оползни и просадки даже в зимний период. Особенно подвержены просадочным деформациям насыпи, при возведении которых в недостаточной степени проведены мероприятия по уплотнению грунтов.

Анализ причин аварий, которые происходят в начальный период эксплуатации или в период наполнения водохранилищ [5], показал, что из 85 случаев аварий в 19 случаях наблюдалось оплывание верхового откоса в сторону верхнего бьефа.

По-видимому, причиной таких оползней являлось подтопление и разжижение грунтов откоса при их водонасыщении.

### Литература

1. Уолтхэм, Тони. Катастрофы: неистовая Земля / Тони Уолтхэм. – М.: Недра, 1982. – 60 с.

2. Восстановление Загорской ГАЭС-2. Проект восстановления и научно-техническое сопровождение. Научно-технический отчет: этап 2. // АО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – СПб., 2016. – 220 с.

3. Колосов, М. А. О причинах просадки основания строящейся Загорской ГАЭС-2 / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, П. П. Чинаков // Фундаменты. – 2022. – № 1. – С. 38–39.

4. Колосов, М. А. Исследование влияния подтопления на деформации насыпных сооружений из крупнообломочных материалов: автореф. дис. ...канд. техн. наук / М. А. Колосов; ЛИВТ. – Ленинград, 1974. – 29 с.

5. Ходей, Кодзе. Анализ аварий земляных плотин и методы контроля за фильтрацией / Кодзе Ходей. – Л.: АО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1982. – 52 с.

УДК 624.157: 626.43

### **Оценка возможных причин образования и развития трещины в бетоне устоя нижней головы шлюза № 2 Волго-Балтийского водного пути**

Моргунов К. П., Колосов М. А.

Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Причинами возникновения и развития трещин в бетоне левого устоя нижней головы шлюза № 2 являются низкое качество бетона, из которого изготовлены конструкции, формирование разуплотненной прослойки грунта в кровле пород основания в результате суффозионных процессов под действием фильтрационного потока грунтовых вод, а также динамические воздействия на грунт во время работы шлюза.*

Судоходный шлюз № 2 входит в состав сооружений Белоусовского гидроузла Волго-Балтийского водного пути. Шлюз однокамерный, одно-

ниточный, расположен в нижнем бьефе гидроузла. Введен в постоянную эксплуатацию 21.11.1963 года. Нижняя голова шлюза – докового типа длиной 34,00 м и шириной 41,20 м. Ее размеры и очертания обусловлены размещением водопроводных галерей опорожнения камеры шлюза и их затворов (на выходе и входе водопроводные галереи разветвляются на два отверстия), а также основных и ремонтных двустворчатых ворот. Помимо шахт, галерей, ниш и пазов в массивах нижней головы для экономии бетона оставлены пустоты, заполненные песком.

В 1985 году в бетоне левого устоя нижней головы шлюза обнаружена трещина. Обследование трещины в 1987 году через шурф, устроенный со стороны верхней грани устоя, показало, что она проходит до глубины 3 м, раскрытие трещины в верхней части 20 мм, на глубине 3 м она имеет волосяной характер – рис. 1. В 1989 году на трещине установлен щелемер, наблюдения за раскрытием трещины в проекции плоскостей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  выполняются каждый месяц.

В 2006 году при выполнении работ по замене штрабного бетона на нижней голове шлюза № 2 в бетоне левой верей была обнаружена еще одна трещина. Начало трещины – с напорной стороны у основания пяты ворот в горизонтальном направлении с последующим переходом в вертикальное положение. Раскрытие от 2 до 11 см, направление раскрытия – от верей в сторону ниши ремонтного затвора. Развертка стен левой верей с границами контура трещины приведена на рис. 2.

Помимо этого, фиксировалась активная фильтрация воды из нижнего бьефа во второй выход левой галереи нижней головы шлюза.

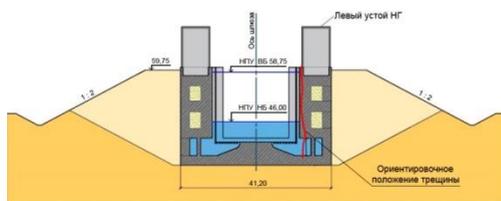


Рис. 1. Поперечный разрез по нижней голове шлюза

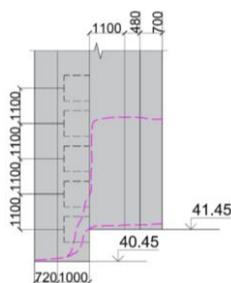


Рис. 2. Развертка стен левой верей с границами контура трещины

Анализ данных показаний приборов, установленных на конструкция нижней головы (прежде всего – осадочных марок), за период 1989–2016 гг.

показывает, что раскрытие трещины вызвано неравномерными осадками грунтов основания нижней головы. Осадки конструкций нижней головы приведены на рис. 3, на котором показаны также номера осадочных марок. Видно, что осадка левого и правого устоев имеет разнонаправленный характер: левый устой – юго-восток; правый устой – северо-запад. График осадок по маркам 120 и 121 приведен на рис. 4.

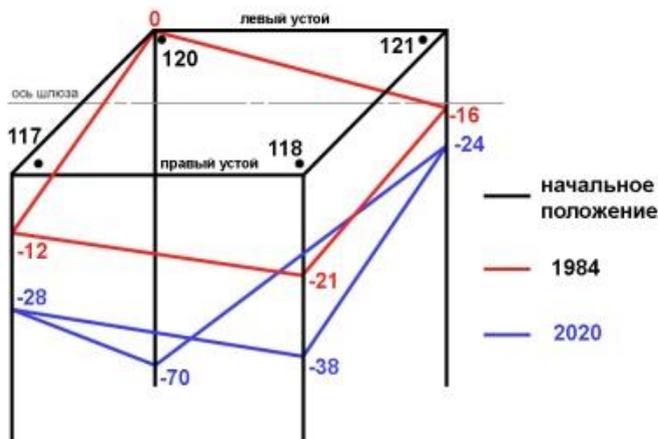


Рис. 3. Осадки нижней головы

В 1990 г. были выполнены работы по закреплению трещины в левом устое металлическими анкерными тягами, проложенными по дну кабельного канала. С 1991 по 2003 год проводились работы по цементации грунтов основания левого устоя нижней головы. Однако закрепления грунтов основания не произошло, осадки и перемещения устоя продолжились. Помимо цементации основания в период с 1975 по 2002 год проведено 38 циклов работ по цементации бетона устоев нижней головы, включая потолок и стены водопроводных галерей. В 2010 году выполнены работы по анкерровке левого устоя нижней головы шлюза, но раскрытие трещины продолжилось – рис. 5.

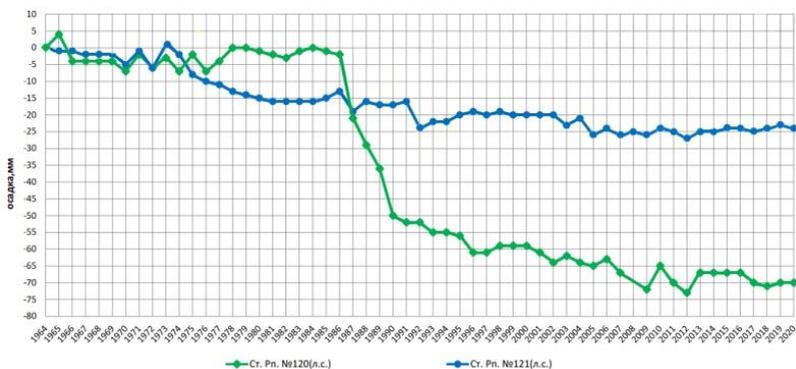


Рис. 4. Осадки левого устья нижней головы

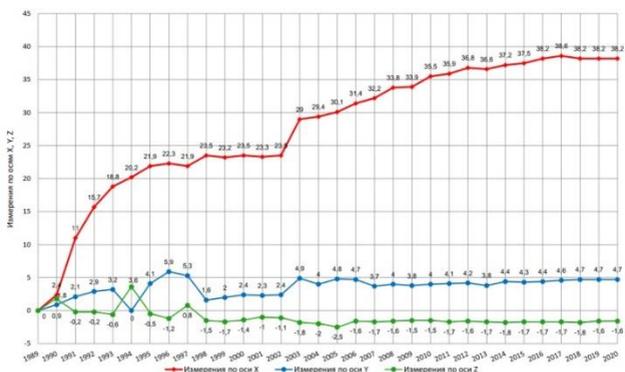


Рис. 5. Изменение размеров трещины в левом устье нижней головы

В 2019 году выполнены работы по устранению фильтрации из нижнего бьефа в левую галерею с использованием двухкомпонентной полиуретановой смолы MasterRok MP355 Thix. Активные очаги фильтрации были устранены, однако намокание бетона стен продолжается.

Таким образом, выполненные работы не привели к прекращению развития трещин в левом устье и левой водопроводной галерее нижней головы.

Анализ причин возникновения и развития трещин свидетельствует о следующем. С одной стороны, отметим, что бетон нижней головы имеет весьма разнородную структуру, что подтверждено исследованиями [1]. В бетоне имеются участки неплотного трещиноватого бетона, а также зоны высокопористого (непровибрированного) бетона. Выход кернов составил

около 65–70 %, однако в некоторых скважинах он был 30 %. В ходе выбуривания некоторые части кернов рассыпались на мелкие фрагменты, не связанные растворной составляющей. Зафиксирован существенный размах значений по прочности отбираемых образцов, коэффициент вариации прочности бетона по нижней голове составил 26,5 %, а в соответствии с нормами предельный коэффициент вариации для массивных гидротехнических конструкций не должен превышать 20 % [2].

С другой стороны, существенную роль играют фильтрационные потоки в грунтах основания шлюза и конкретно – под нижней головой. Участок шлюза № 2 в соответствии с СП-11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» по подтопляемости характеризуется как постоянно подтопленный в естественных условиях. Еще в период строительства шлюза при выполнении земляных работ по устройству котлована значительные усилия были приложены для организации специальных работ по водопонижению и водоотливу. Из-за переуглубления котлована под основанием нижней головы на разжиженный грунт (суглинки) были отсыпаны флювиогляциальные пески мощностью 1,0–1,5 м. При проведении гидрогеологических и геофизических исследований грунтов, расположенных непосредственно под шлюзом № 2 и на сопредельных территориях, отмечено наличие нескольких водоносных горизонтов. Создание напорного фронта с перепадом уровней 12,75 м при НПУ, Белоусовского водохранилища и подъем уровня грунтовых вод в районе шлюза – все это способствовало формированию в грунтах основания фильтрационных потоков со значительными градиентами напора.

В период эксплуатации гидроузла начался фильтрационный вынос мелких частиц глинистых грунтов основания нижней головы, а также суффозионный вынос мелких фракций из песчаных грунтов. Подтверждением этого является изменение гранулометрического состава пылеватых и мелких песков, которыми сложены инженерно-геологические элементы основания ИГЭ1, ИГЭ2 и ИГЭ4 – пески пылеватые и мелкие (табл.).

Таблица

Процентное содержание частиц в грунте

	0,25–0,1 мм	Менее 0,1 мм	0,25–0,1 мм	Менее 0,1 мм	0,25–0,1 мм	Менее 0,1 мм
	<b>ИГЭ1</b>		<b>ИГЭ2</b>		<b>ИГЭ4</b>	
2005	49,5	45,1	48,4	45,8		
2013	53,3	38,4	57,9	36,15	54,62	39,82
2020	50	26,7	52,1	35,1	59,0	15,6

Очевидна тенденция вымывания мелких частиц (менее 0,1 мм) и увеличение доли относительно крупных частиц. При этом следует обратить внимание на то, что с момента создания напорного фронта (строительства гидроузла) пошло более 50 лет. Это свидетельствует о том, что суффозионные процессы в песчаных слоях грунта продолжаются.

Таким образом, наличие фильтрационного потока в грунте основания шлюза, который имеет направление от верхнего бьефа гидроузла к нижнему, а также к руслу р. Вытегра, привело к появлению разуплотненной прослойки грунта в кровле пород основания нижней головы. Об этом свидетельствует и то, что при бурении скважин через пол левой галереи в 5 случаях из 16 был зафиксирован «провал» буровой штанги, при этом происходил вынос из скважин песка [2]. Вынос песка происходил и из других скважин, все это свидетельствует о наличии в грунтах основания устоя весьма водонасыщенного, «разжиженного» песка.

Помимо фильтрационного потока на характеристики грунтов оказывала динамическое воздействие и работа шлюза (заполнение-опорожнение камеры шлюза, работа механизмов рабочих ворот). В результате сформировалась разуплотненная прослойка грунта в кровле пород основания нижней головы.

Такое ослабление несущих свойств грунтов основания привело к разнонаправленным осадкам и перемещениям левого и правого устоев нижней головы шлюза. Что в сочетании с низким качеством бетона привело к возникновению трещин в бетонных конструкциях. Как уже отмечено, попытки цементации грунтов не привели к их укреплению. Поскольку причины возникновения трещин не устранены, они продолжают развиваться.

### Литература

1. Проведение исследовательских работ по выяснению причин образования и развития трещин в устоях нижних голов шлюзов №№ 2, 3, 4 ФБУ «Администрация «Волго-Балт» и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению несущей способности бетонных конструкций нижних голов шлюзов: отчет о НИР (промежуточный), этап I // АО «Акватик». – 2020. – 310 стр.

2. Проведение исследовательских работ по выяснению причин образования и развития трещин в устоях нижних голов шлюзов №№ 2, 3, 4 ФБУ «Администрация «Волго-Балт» и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению несущей способности бетонных конструкций нижних голов шлюзов: отчет о НИР (промежуточный) // ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2021. – 54 стр.

**Особенности обеспечения устойчивости вертикальных элементов на акватории**

Никитина Т. Ю.

Государственный университет морского и речного флота

имени адмирала С.О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Статья посвящена изучению процессов размыва дна вблизи строящихся на акватории гидротехнических сооружений, представляющих собой вертикальные шпунтовые стенки. Рассматривается влияние скоростей потоков воды у поверхности стенки. Исследование волновых движений ведется на основании системы Навье-Стокса, уравнения непрерывности и уравнения состояния. Применяются допущения, которые позволяют получить приближенное аналитическое решение, поясняющее физическую сущность процесса.*

В гидротехнике распространены вертикальные шпунтовые стенки, применяемые для строительства причалов и портов, шлюзов и молов, укрепления берегов, а также для защиты котлованов при земляных работах. Подобные конструкции на этапе строительства, могут представлять собой ряд шпунтовых стен незакрепленный на акватории. Такая практика привела к возникновению аварийных ситуаций при производстве работ на открытой морской акватории.

Водолазные обследования показали, что у основания шпунтовой стенки образовалась пазуха, при этом на внутренней стороне акватории вода представляла собой смесь воды с песком. Ряд свай лицевой стенки был подвержен циклическому волновому влиянию, основание сооружения, представляло собой мелкофракционные пески с низкими значениями физико-механических характеристик. Таким образом, выявлена необходимость обеспечения устойчивости и безопасности строящихся на акватории гидротехнических сооружений (ГТС), при этом особый интерес представляет изучение процессов размыва дна вблизи сооружений.

В первом приближении эти процессы обусловлены вытеснением частиц грунта, вызванным колебанием балки, под действием волн [1, 2] и выносом частиц, за счет воздействия скоростей воды у поверхности стенки. Аналогичные явления наблюдаются при проектировании откосных грунтовых сооружений. Для определения границы крепления откоса и обеспечения неразмываемости грунтов у основания шпунтовых стенок необходимо оценить значения фактических донных скоростей в районе заделки

шпунтовой стенки в грунт и соотнести их с неразрывающимися скоростями грунтов, слагающих дно.

При рассмотрении волновых движений принято традиционное расположение системы координат [3]. Схема задачи показана на (рис. 1).

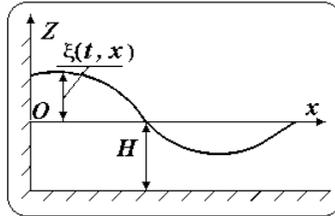


Рис. 1. Система координат и схема задачи

Водный слой характеризуют: смещением свободной поверхности воды  $\xi(t, x)$ , скалярным полем давления  $P(t, \rho, x, y, z)$  и компонентами  $u$ ,  $v$  и  $w$  векторного поля скорости течения по осям  $0x$ ,  $0y$  и  $0z$  [3]. Для невязкой, несжимаемой жидкости, без учета вращения земли, уравнения Навье-Стокса, непрерывности и состояния, с граничными условиями «не протекания» и однородными начальными условиями заменяют следующей линейной системой, аналитическое решение, которой поясняет физическую сущность процесса [3, 4]

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + g, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \\ P = P(t, \rho, x, z) \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  и  $\rho$  – время, с и плотность среды, кг /м<sup>3</sup>;  $g$  и  $\omega_z$  – ускорение свободного падения, м /с<sup>2</sup>. и угловая частота вращения земли рад/с;  $\nu$ ,  $\zeta$  – коэффициенты статической и динамической вязкости, м/с<sup>2</sup>.

Наиболее интересна горизонтальная компонента скорости. Исследование системы (1) проведено на основе: теории потенциала и теории «длинных волн». В рамках потенциальной теории [3] получены следующие соотношения, автоматически удовлетворяющие условиям «не протекания» и однородным начальным условиям

$$\begin{cases} u = \frac{Agk}{\omega} Km \sin(kx) \sin(\omega t) \\ Km = \frac{\omega}{ch(2\pi(z+H)/\lambda)} / \frac{\omega}{ch(2\pi H/\lambda)}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $A$ ,  $\lambda$  и  $H$  – амплитуда, длина волны и глубина акватории, м;  $Km$  – коэффициент уменьшения амплитуды скорости в зависимости от глубины и длины волны;  $\omega$  и  $k$  – угловая частота волны, рад/с, и волновое число, м<sup>-1</sup>.

Величина горизонтальной компоненты скорости, полученная на основе теории «длинных волн» [4] соответствует выражениям (2) при условии  $Km = 1$ . Взаимодействие фронтально подходящих волн с вертикальной стенкой эквивалентно встречному взаимодействию волн [5, 6], при котором образуется стоячая волна с амплитудой, близкой к двойной амплитуде подходящей волны [6]. В работах [7, 8] приведены выражения для скорости волновых движений, полученные для плоских волн с учетом вязкости и нелинейных взаимосвязей переменных. Из этих формул в пределе при  $\nu \rightarrow 0$ , с учетом сдвига фазы получена формула

$$u = Ue^{-\alpha t} e^{-kz} \sin(kx) \sin(\omega t), \quad (3)$$

где  $U$ ,  $W$  и  $\alpha$  – амплитудные значения скоростей, м/с и логарифмический декремент затухания, с<sup>-1</sup>, соответственно.

Выражения (2), (3) структурно близки. Однако, линеаризованная модель приводит к замкнутым траекториям движений, в то время как фактические траектории близки к спиральям, что обусловлено вкладом добавочного дрейфового течения [9]. В случае, когда горизонтальная скорость превышает величину, допустимую по условию размыва дна, потребуются дополнительные меры по укреплению ГТС.

Рассмотрим частный случай задачи при глубине акватории  $H = 5$  м, амплитуде  $A = 0,5$  м и длине волны  $\lambda = 10$  м, и угловой частоте волны  $\omega = 4,4$  рад/с. Фазовая скорость такой волны составляет около 7 м/с, и является типичной, так как она близка к характерной скорости ветра на поверхности. Зависимости коэффициента  $Km$  при  $\lambda = \text{const}$  и  $H = \text{const}$  показаны на рис. 2, а, б.

Горизонтальная скорость в придонном слое составила  $U \approx 0,06$  м/с, что близко к предельно допустимой величине для мелкодисперсного грунта. При более жестких режимах волнения скорости частиц с высокой вероятностью превысят скорости размывания грунта. Для рассмотренного частного случая выполнено численное моделирование. Была рассчитана следующая начально-краевая задача

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2\pi g A}{\lambda} \sin(\omega t) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \\ u(0, x) = 0; u(t, 0) = 0 \\ 0 \leq x \leq \lambda; 0 \leq t \leq 2\pi / (\omega\lambda) \end{cases}$$

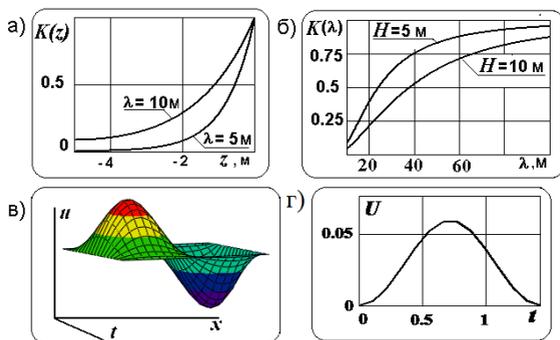


Рис. 2. Зависимости коэффициента  $Km$ : а –  $\lambda = \text{const}$ ; б –  $H = \text{const}$

Результат расчета представлен на рис. 2, в, г. Получена максимальная скорость в придонном слое  $U = 0,059 \text{ м / с}$ . Расхождение с линейной моделью не превысило 3,3 %, что подтверждает допустимость линейного приближения в рассмотренной задаче.

Поскольку волновые движения воды в окрестности шпунтовых стенок, наряду с колебаниями таких стенок под воздействием волн и вытеснением частиц грунта из полости в районе защемления шпунта в грунт являются существенной составляющей процесса образования воронки размыва целесообразно включать расчет этих движений в общую математическую модель физического явления. С этой целью востребованы дальнейшие исследования волновых движений с учетом свойств грунтов и типичных волновых режимов, характерных для конкретных регионов и водоемов.

### Литературы

1. Никитина, Т. Ю. Проблема обеспечения устойчивости вертикальной шпунтовой конструкции на этапе строительства / Т. Ю. Никитина // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей: сб. науч. тр. / ГУМРФ им. Адмирала С. О. Макарова; под ред. Г. Л. Гладкова, К. П. Моргунова. – СПб., 2021. – Ч. 2, № 5. – С. 82–87.

2. Никитина, Т. Ю. Определение средних скоростей потока у основания шпунтовой стенки при образовании воронки / Т. Ю. Никитина // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России: материалы III межвуз. науч.-практ. конф. студ. и аспирантов / ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. – СПб., 2013. – С. 46–50.
3. Сретенский, Л. Н. Теория волновых движений жидкости / Л. Н. Сретенский. – М.: Наука, 1977. – 816 с.
4. Носов, М. А. Введение в теорию волн цунами / М. А. Носов – М.: Янус-К, 2019. – 170 с.
5. Родин, А. А., Динамика длинных волн в прибрежной зоне моря с учетом эффектов обрушения / А. А. Родин, Е. Н. Пелиновский. – Н. Новгород: НГТУ, 2014. – 93 с.
6. Чижиумов, С. Д. Проблемы гидродинамики корабля (численное моделирование) / С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО КнАГТУ, 2016. – 122 с.
7. Баринов, В. А. Распространение волн по свободной поверхности вязкой жидкости / В. А. Баринов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2010. – Вып. 2. – С.18–31.
8. Басинский, К.Ю. Траектории частиц вязкой жидкости при волновом движении / К. Ю. Басинский // Вестник удмуртского университета. – 2015. – Т. 2, вып. 2. – С. 248–253.
9. Белоножко, Д. Ф. О расчете скорости переноса вещества периодическими волнами, распространяющимися по поверхности вязкой жидкости / Д. Ф. Белоножко, А. В. Козин // Журнал технической физики. – 2010. – Т. 80, вып. 4. – С. 32–40.

УДК 627

### **Опыт и перспективы возведения наплавных конструкций транспортно-энергетических ГТС**

Гарибин П. А., Федяшов А. В.

Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С. О. Макарова  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Рассмотрены примеры реализованных на практике транспортно-энергетических гидротехнических сооружений, возведенных на внутренних водотоках и прибрежных зонах морей РФ. Приведены габаритные параметры использованных наплавных элементов. Обобщен опыт и проведен анализ методологии строительства. Предложены варианты эколо-*

*гически безопасных технологий по реновации судоводных шлюзов в составе Единой глубоководной системы Европейской части РФ.*

Метод строительства гидротехнических сооружений из имеющих плавучесть крупных сборных элементов основывается на изготовлении на стапелях секций ГТС в форме железобетонных ящиков, которые затем транспортируются к месту установки с помощью буксирных судов.

В прошлом веке большое распространение получили плавучие доки из монолитного железобетона. Толщина обшивки таких доков изменялась в диапазоне от 6 до 10 см. Во второй половине XX века плавучие доки грузоподъемностью от 5000 т до 15 000 т проектировались и строились из сборного железобетона на Городецкой Судоремонтно-судостроительной корпорации (ПАО ССК).

В последние годы получило очень широкое развитие строительство железобетонных доков различной конструкции грузоподъемностью от нескольких сот тонн до 80 000 т.

Например, транспортно-передаточный плавучий док доставлен и пришвартован к причалу Судостроительного комплекса «Звезда» (г. Большой Камень Приморского края).

Транспортно-передаточный плавучий док предназначен для спуска со стапеля на воду крупногабаритных судов длиной 300 метров и шириной более 50 метров со спусковой массой до 40 000 тонн, а также буровых платформ и их элементов (оснований и верхних строений).

Продление срока службы плавучих доков достижимо при строительстве композитных конструкций. Их преимущество состоит в том, что железобетон, из которого изготавливается понтонная часть доков, хорошо работает на сжатие, а работа на растяжение его понтона обеспечивается арматурной сталью, которая защищена от коррозии защитным слоем бетона. Поэтому стального проката расходуется в этом случае меньше, чем при строительстве стального корпуса дока. Поскольку железобетон не корродирует в морской воде, понтон композитного дока не требует покраски. Башни дока, при необходимости, могут быть отремонтированы без вывода из эксплуатации самого дока. Обеспечение работы композитных доков без вывода из эксплуатации в течение всего длительного срока службы приносит большую экономическую выгоду их владельцам.

Внедрение в производство поперечного и продольного сращивания наплаву доков большей подъемной силы позволяет создавать плавучие доки подъемной силы конструктивного ряда 13 500–50 000 т.

Большой экономический эффект и увеличение срока службы сооружения может быть достигнуто за счет использования неметаллической композитной арматуры. Высокая коррозионная стойкость базальтопластико-

вой арматуры, позволяет увеличить эффективность конструкций сооружения из композитбетона за счет увеличения межремонтного цикла. Это приводит к уменьшению стоимости конструкции на единицу эксплуатационного времени до 30 % [1, 2], что было подтверждено для конкретного объекта «Сухой док на территории судовой верфи Звезда-ДСМЕ» в г. Большой камень.

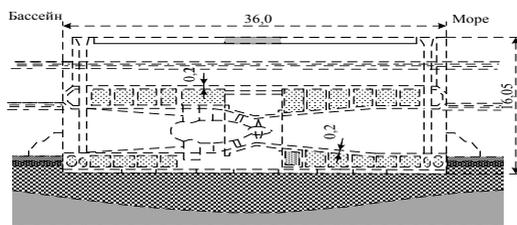
Пионерная в России Кислогубская ПЭС (рис. 1) была сооружена в 1968 году по проекту института «Гидропроект» впервые в мировой гидроэнергетической практике наплавным способом (без перемычек), что позволяет экономить при строительстве ПЭС до 43 % капитальных затрат.

Железобетонное здание ПЭС было сооружено в доке вблизи Мурманска, а затем отбуксировано к месту установки по морю [3]. Наплавной блок здания Кислогубской ПЭС имеет размеры  $36 \times 18,3$  м в плане и 15,35 м по высоте. Здание ПЭС представляет собой тонкостенную железобетонную коробку докового типа.

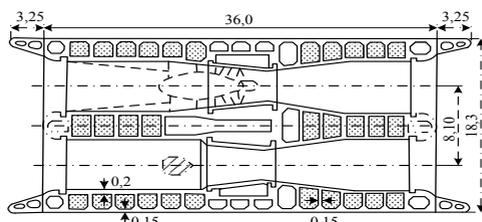


Рис. 1. Кислогубская приливная электростанция (ПЭС)

Конструкция образована днищевой плитой размером в плане  $18,3 \times 36$  м и толщиной 20 см, на которой параллельно ее торцевому обрезу расположены переборки толщиной 15 см. Шаг переборок 1,5–2 м. Вдоль длинной стороны плиты на всю высоту блока идут две бортовые стены толщиной 15 см (рис. 2).



поперечный разрез по оси агрегата I



план по оси агрегатов

Рис. 2. Продольный разрез наплавного блока по оси I агрегата Кислогубской ПЭС

Основной принцип этой конструкции основан на компоновке плавучего дока. Нижняя плита блока аналогична доку-понтону, а бычки – башням дока. Отличие от дока состоит в том, что блок здания ПЭС имеет плиту, перекрывающую турбинный тракт. Простота конструктивной схемы позволяет осуществить ее из сборных элементов.

В 90-х годах прошлого столетия ведущими проектными и научно-исследовательскими организациями интенсивно разрабатывалась проблема транспортно-энергетического освоения рек восточной Сибири, в рамках которой рассматривалось возведение гидроузлов из наплавных блоков. Результаты исследований были апробированы на комплексе защитных сооружений г. Санкт-Петербург от наводнений.

Водопропускные сооружения В-2 и В-4 были созданы в виде наплавных блоков с размерами в плане  $132 \times 51,14 \text{ м}^2$  и высотой 12 м, по 2 блока на каждое сооружение. Каждый блок включает 5 водопропускных отверстий (рис. 3). Сооружения В-2, В-4 имеют по 10 водопропускных пролетов шириной 24 м и глубиной дна на пороге 5 м. Все водопропускные пролеты оборудованы сегментными затворами массой 280 т каждый [4]. Плавучесть блоков обеспечивалась закрытием указанных затворов и установкой с противоположной стороны временных заграждений. Основание под сооружения подготавливались насухо под прикрытием перемычек. После

затопления перемычек блоки наплаву транспортировались через прорезь к месту установки и затоплялись. Далее прорезь закрывалась, котлован осушался, после чего выполнялись работы по завершению сооружений [4, 5].

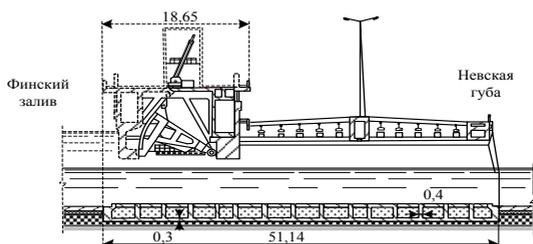


Рис. 3. Разрез водопропускного сооружения В-2 по оси канала

В настоящее время актуальными являются задачи реновации судоходных шлюзов ЕГС европейской части РФ, что вызвано как изменением габаритов расчетных судов, так и истечением нормативного срока службы сооружений. Требуется изменение габаритов камер шлюзов при строгих экологических и социальных ограничениях.

Первый опыт использования наплавных блоков для увеличения полезной длины камеры шлюза был осуществлен во время реконструкции Кочетовского шлюза № 1 в 1960–70-х гг. С этой целью была установлена новая нижняя голова шлюза – тонкостенный железобетонный массив гигант, изготовленный на берегу, и наплаву отбуксированный и установленный впритык к старой нижней голове. Старая голова с забетонированными полостями галерей и шкафов вошла в состав камеры. Отметка верха площадки устоев – 6,700 м. Отметка основания – минус 4,300 м. Длина головы – 22,30 м. Ширина по устоям – 32,00 м.

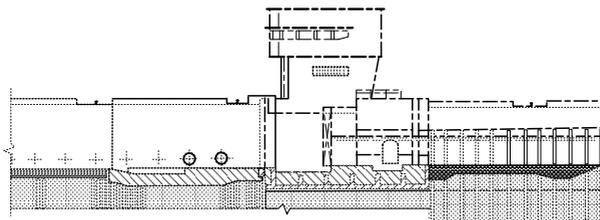


Рис. 4. Удлинение нижней головы шлюза № 1 Кочетовского гидроузла

Ограниченные полезные габариты камер (недостаточная глубина на пороге) наиболее существенно влияют на снижение пропускной способности Городецких шлюзов на реке Волге. Проработками ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова установлено, что для данных условий самым эффективным решением является строительство третьей нитки шлюзов из наплавных элементов.

### Литература

1. Уманский, А. М. Применение базальтопластиковой арматуры в конструкциях морских гидротехнических сооружений / А. М. Уманский, А. Т. Беккер // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2016. – Т. 282. – С. 61–75.

2. Jason, Duic. Performance of concrete beams reinforced with basalt fibre composite rebar / Duic Jason, Sara Kenno, Das Sreekanta // Construction and Building Materials. – 2018. – V. 176. – P. 470–481.

3. Приливные электростанции / Л. Б. Берштейн [и др.]; под ред. Л. Б. Берштейна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 296 с.

4. Кураев, С. Н. Защита устьевых участков рек и прибрежных территорий от морских наводнений (Обобщение опыта проектирования, исследований и строительства) / С. Н. Кураев, Л. В. Мошков, Ю. К. Севенард. – в СПб: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1992. – 37 с.

5. Наплавные конструкции комплекса защиты Ленинграда от наводнений (проект и осуществление) / Л. Б. Бернштейн [и др.] // Энергетическое строительство. – 1985. – № 11. – С. 26–31.

УДК 627.23; 627.25

### **Определение устойчивости оградительного мола откосного профиля при сейсмических воздействиях**

Мишукова О. А., Краснонос В. В.

Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова  
Санкт-Петербург, Россия

*В статье затронуты вопросы проектирования морских портов в сейсмоопасных районах. Для создания безопасных условий стоянки судов, а также сохранности береговой инфраструктуры, одним из ключевых факторов является обеспечение общей устойчивости сооружений. Рассматривается методика расчета устойчивости оградительного мола откосного профиля, расположенного в акватории морского порта на Черноморском побережье. Приводятся результаты расчета в программ-*

274

*но-вычислительном комплексе, позволяющем учесть сейсмические воздействия.*

Ежегодно на Земном шаре происходит свыше 300 тыс. землетрясений, в результате которых подвергается разрушению инфраструктура городов и населенных пунктов [1]. Гидротехнические сооружения морских портов также подвержены влиянию сейсмических воздействий, и их разрушения могут привести к серьезным последствиям.

С развитием яхтенного туризма стала заметна проблема нехватки промежуточных пунктов стоянки судов (т. н. порты-убежища), что привело к потребности возведения портовых сооружений, в частности на Черном море. Развитая сеть морских портов позволит обеспечить наличие безопасных маршрутов для быстрого и удобного плавания.

Побережье Черного моря является одним из быстроразвивающихся экономических центров России, однако это район с повышенной сейсмической активностью, которая оценивается в 7–9 баллов по шкале MSK-64 [2].

Неотъемлемой частью защитных сооружений портов является оградительный мол, обеспечивающий безопасные условия стоянки судов, а также сохранность причальной и береговой инфраструктуры. Общая устойчивость оградительного мола – ключевой фактор в безопасности инфраструктуры морского порта. Во время стихийных бедствий, таких как землетрясение, значительная часть ущерба приходится именно на оградительные сооружения.

Оценим устойчивость оградительного мола при сейсмических воздействиях для одного из проектируемых морских портов на черноморском побережье. Конструкция рассматриваемого мола представляет собой отсыпку из несортированного камня и слой из каменной наброски со стороны моря (рис. 1).

Сейсмические расчеты отличаются от расчетов на другие динамические нагрузки использованием специфических методов задания возмущающего воздействия и определения ответной реакции конструкции. Наибольшее распространение в практике получили три расчетных методики [1]:

- статистическая теория сейсмостойкости;
- линейно-спектральная теория сейсмостойкости;
- «прямой» динамический анализ.

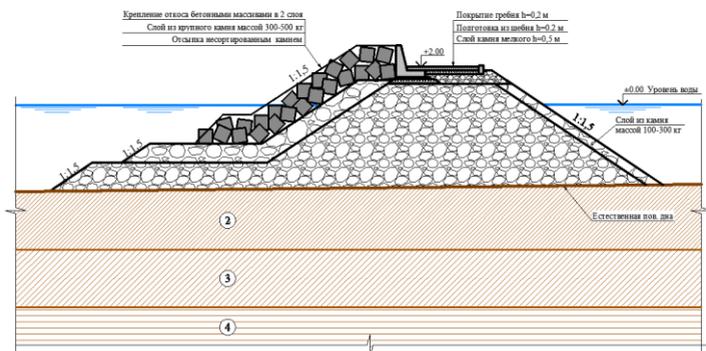


Рис. 1. Конструктивный разрез оградительного мола

В используемом для расчета программно-вычислительном комплексе реализуется две методики: статическая (добавление к весу сооружения дополнительной инерционной силы) и динамическая (введение в модель графиков расчетного землетрясения: велосиграны, акселерограммы или сейсмограммы).

На начальном этапе проектирования морских гидротехнических сооружений в условиях отсутствия достаточного количества исходных данных можно воспользоваться методикой статической теории сейсмостойкости. Ее использование считается целесообразным решением, позволяющим получить предварительные данные о влиянии сейсмических нагрузок на сооружение и при этом сократить сроки проектирования.

Нагрузка от сейсмического воздействия при расчете в используемом программно-вычислительном комплексе задается инерционной силой, вычисленной при сейсмическом ускорении.

Для этого в программе используется специальный коэффициент  $K$  в долях от ускорения свободного падения  $g$ , являющийся множителем к горизонтальному ускорению, прикладываемому в основании расчетной схемы. Для имеющихся условий с учетом зависимостей [3] для определения узловой инерционной силы  $K = 0,21$ .

Общая устойчивость обеспечивается при выполнении следующего условия:

- для основного сочетания нагрузок (период эксплуатации)

$$K_{уст} \geq [K_{уст}] = \frac{\gamma_{1c} \gamma_n}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,2}{1} = 1,2,$$

– для особого сочетания нагрузок

$$K_{уст} \geq [K_{уст}] = \frac{\gamma_{1c} \gamma_n}{\gamma_c} = \frac{0,95 \cdot 1,2}{1} = 1,14,$$

где  $K_{уст}$  – фактический коэффициент общей устойчивости;  $[K_{уст}]$  – нормативный коэффициент общей устойчивости; коэффициенты  $\gamma_{1c}, \gamma_n, \gamma_c$  определены согласно [4].

Результаты расчета устойчивости рассматриваемого оградительного мола откосного профиля без учета и с учетом сейсмического воздействия приведены ниже на рис. 2 и 3.

По результатам расчета можно сделать вывод, что при сейсмическом воздействии на сооружение коэффициент устойчивости снижается на 31 % по сравнению с коэффициентом устойчивости без сейсмической нагрузки. При этом общая устойчивость мола обеспечивается в обоих случаях.

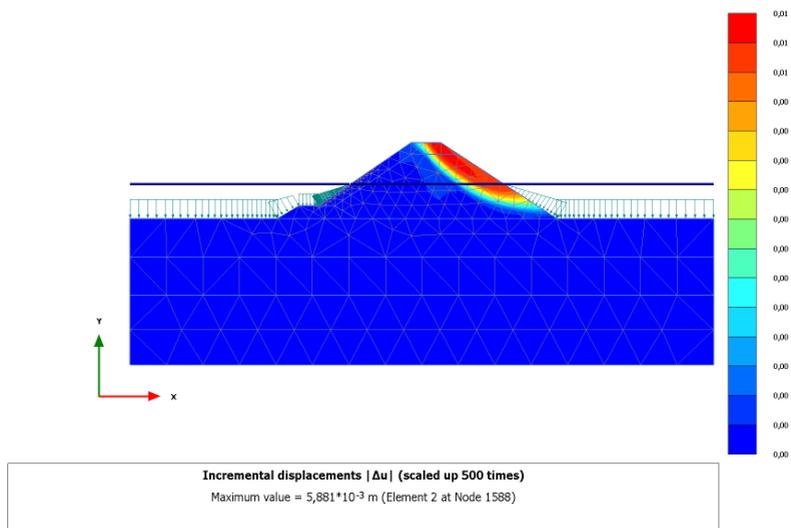


Рис. 2. Изополю наиболее вероятного сценария потери устойчивости (без сейсмического воздействия)  $K_{уст} = 1,675$

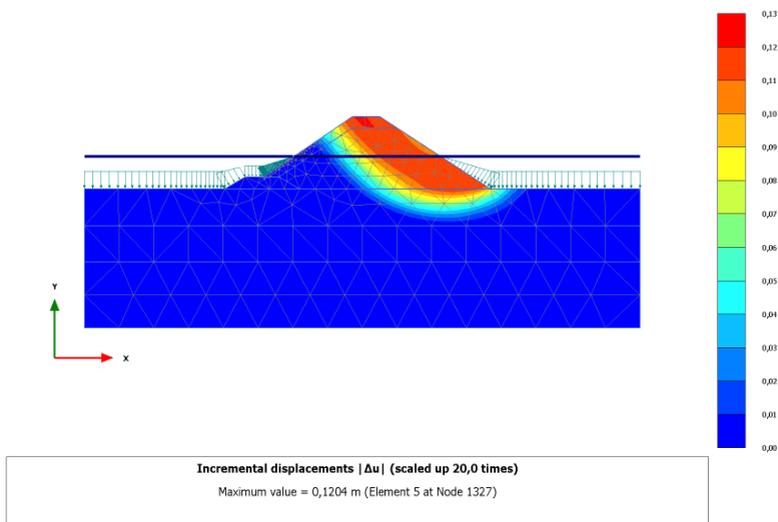


Рис. 3. Изополю наиболее вероятного сценария потери устойчивости (с учетом сейсмического воздействия)  $K_{уст} = 1,369$

Благодаря использованию программно-вычислительного комплекса на начальном этапе проектирования можно оценить устойчивость оградительного мола с учетом сейсмической нагрузки без достаточного количества исходных данных, что позволит ускорить процесс принятия конструктивных решений.

### Литература

1. Ещенко, О. Ю., Демченко В. А. Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 91 с.
2. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с Изменением № 1).
3. СП 358.1325800.2017 Правила проектирования и строительства в сейсмических районах.
4. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003.

**Методология визуального определения технического состояния  
лицевой стенки больверков**

Гарибин П. А., Егоров С. В.  
Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С.О. Макарова  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Рассмотрены вопросы органолептического обследования портовых гидротехнических сооружений. Приводится оценка эффективности инструментальных методов мониторинга, носящих дискретный характер, и привязанных к организованной системе контрольно-измерительной аппаратуры. Показано, что решению данной проблемы способствует включение в систему мониторинга визуальных наблюдений, профессиональных экспертов с минимальным участием аккредитованных испытательных лабораторий.*

Важнейшими звеньями транспортной инфраструктуры внутренних водных путей (ВВП) являются судоходные и портовые гидротехнические сооружения.

В зависимости от естественных условий и назначения на ВВП эксплуатируется большое количество причалов, представляющих собой подпорные стенки или сквозные свайные сооружения. Наибольшее число среди всех конструктивных типов составляют причалы в виде тонких подпорных стенок – больверки.

Основными материалами распорных шпунтовых стенок являются металл, железобетон, композит. Срок службы причальных сооружений устанавливается на период использования их по назначению [1].

В соответствии с действующими нормативными документами [2, 3, 4] причалы подлежат регулярным обследованиям и экспертизе эксплуатационной надежности. Обследование наиболее ответственного элемента сооружения – лицевых стенок больверка предусматривает контроль:

- изгибов стенки по высоте и перемещений стенки в плане;
- нарушений целостности стенки: разрыва замков, наличия трещин и разрушения элементов стенки, нарушения грунтозащиты;
- коррозионных разрушений материала элементов стенки, остаточную толщину шпунтовых свай стенок;
- вымывания засыпки через щели в свайном ряду;
- состояния анкерных устройств;
- состояния ростверка.

Вышеуказанные контрольные операции выполняются с определенной периодичностью, обозначенной в паспорте сооружения.

В соответствии с [5] работы по комплексному обследованию сооружения проводятся в три связанные между собой этапа:

- подготовительные (рекогносцировочные) работы;
- органолептический (визуальный) осмотр;
- детальные (инструментальные) исследования для верификации происходящих физических процессов.

Визуальное обследование объектов причала дает возможность выявить те повреждения конструкций и сооружений, которые могли бы вызвать аварию и разрушения элементов сооружений.

Прогноз и оценка риска аварии объекта осуществляются на основе экспертной системы сочетающей математические методы и информационные технологии с опытом, знаниями и интуицией экспертов.

В рамках экспертной системы основной функцией эксперта является предоставление формализованной информации о техническом состоянии несущего каркаса объекта, что требует от эксперта владения методами анализа предельных состояний несущих конструкций и методом принятия технических решений в условиях неопределенности, углубленных знаний законов юриспруденции.

Мероприятия по проведению визуального осмотра следует проводить только специализированными организациями, имеющими лицензию на данный вид работ.

Данный вид обследования сооружения имеет следующие достоинства:

- он малозатратен;
- не отнимает много времени на проведение осмотра;
- не требует применения дорогостоящего измерительного оборудования и инструментов.

На современном этапе развития систем мониторинга технического состояния причалов определяющим корректность исследований является визуальное обследование с широким использованием результатов развития информационных технологий (цифровизация).

Инструментальные методы в большинстве случаев играют вспомогательную роль получения исходных данных необходимых для выполнения в случае необходимости поверочных расчетов.

Чаще всего они необходимы не более чем для составления протокола испытаний аккредитованным испытательным центром (лабораторией), как это предписывает, например, технический регламент ТР № 623 «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта», и не несут никакой

дополнительной информации к предварительной оценке технического состояния.

Среди инструментальных работ исключением является геодезический мониторинг за геометрическими параметрами сооружения и измерения уровня воды в пьезометрах, анализ отклонения этих параметров от критических значений. Учитывая, что деформации являются интегральным показателем изменения технического состояния практически любого сооружения, принципиально важным для причалов является измерение планового смещения деформационных марок, установленных на оголовке сооружения.

Многие представленные методы обладают одним общим недостатком – получаемые в ходе работ данные характеризуют состояние объекта в отдельных точках, которые могут отстоять друг от друга на значительные расстояния.

Излишняя формализация состава и объема работ, а также способов оценки технического состояния, с учетом реформы (технического регулирования) как пример [3] приводит зачастую к неоправданному увеличению трудоемкости и неадекватным результатам.

Проиллюстрируем это на примере первичного обследования больверка: Предположим, что имеется проектная и исполнительная документация.

Состав и объем работ по обследованию однозначно определяется совокупностью двух групп параметров, которые однозначно определяют:

1. Устойчивость сооружения и прочность его элементов.

2. Способность причала выполнять предусмотренные проектом функции (швартовка и стоянка судов, погрузо-разгрузочные операции).

Для одноанкерного больверка в 1-ю группу параметров входят:

1.1. Параметры, характеризующие состояние анкерных тяг.

1.2. Параметры, характеризующие состояние элементов лицевой стенки (металлический или железобетонный шпунт);

1.3. Параметры, по которым можно оценить устойчивость сооружения;

1.4. Параметры, по которым можно оценить влияние внешней среды на конструктивные элементы сооружения.

Во 2-ю группу параметров входят:

2.1. Наличие и состояние швартовных и отбойных устройств;

2.2. Состояние основания подкрановых путей и самих крановых путей.

Вид определения параметров при обследовании:

1.1. Состояние анкерных тяг:

а) *инструментально* – соответствие крепежного узла тяги к стенке проектной величине (при внешнем распределительном поясе вне шапочного бруса);

б) *визуально* – наличие крепежных гаек тяги (при внешнем распределительном поясе вне шапочногo бруса);

в) *визуально* – деформации (поперечные трещины) шапочногo бруса.

1.2. Состояние элементов лицевой стенки:

а) *визуально* определяемые повреждения элементов лицевой стенки;

б) *визуальное* уточнение типа элементов лицевой стенки;

в) *инструментально* – остаточная толщина металлического шпунта; степень деструкции защитного слоя бетона;

г) *инструментально* – прочность элементов лицевой стенки (железобетонный шпунт).

1.3. Параметры, по которым можно оценить устойчивость сооружения:

а) *визуально* – деформации оголовка и лицевой стенки.

б) *визуально* – деформации и просадки покрытия территории;

в) *инструментально* – отметка дна акватории перед кордоном причала.

1.4. Оценка влияния внешней среды на конструктивные элементы сооружения.

а) *инструментально* – агрессивность воды акватории;

б) *инструментально* – величина блуждающих токов;

в) *инструментально* – величина избыточного гидростатического напора.

2.1. Наличие и состояние швартовых устройств

а) *визуально* – повреждения и наличие причальных устройств.

2.2. Состояние основания крановых путей и самих крановых путей.

а) *визуально* – просадки территории в основании подкрановых путей.

Группу параметров, характеризующих состояние самих подкрановых путей и крепежных элементов, определяют специализированные организации, выдающие на крановые пути отдельный паспорт.

Таким образом, имеем 16 параметров, по которым можно дать оценку техническому состоянию сооружения, 7 из которых определяются по результатам инструментального обследования, а 9 визуального. Если исключить параметры, не влияющие прямо на техническое состояние сооружения (1.4, а, б), то получим соотношение 5:9.

То есть количество значимых параметров, влияющих на техническое состояние сооружения и определяемых визуально, почти в 2 раз больше, определяемых инструментально.

Из опыта проведения надзорных работ известно, что при повторном обследовании, например через 5 лет, инструментально определяемые параметры (1.1, а, 1.2, б, в, 1.4, а) изменяются пренебрежимо мало и их определение является чисто формальным. Фактически при повторном обследовании можно ограничиться визуальным обследованием сооружения по 9 указанным выше параметрам, измерив только:

– отметку дна акватории перед лицевой стенкой (1.3, в);

- величину блуждающих токов (1.4, б);
- величину избыточного гидростатического напора (1.4, в).

Обследование подводной части сооружения сводится к визуальному обнаружению: повреждений элементов лицевой стенки, расхождений замковых соединений лицевых элементов, наличию конусов выноса грунта обратной засыпки. Из инструментальных наблюдений здесь можно только отметить измерение остаточной толщины шпунта в подводной зоне [6].

На основании визуального осмотра причального сооружения по результатам обследования специалистами-экспертами составляются специальные формуляры – дефектные ведомости, с помощью которых можно распланировать дальнейшие ремонтные работы.

Все проведенные мероприятия по визуальному осмотру причального сооружения должны быть тщательно зафиксированы в специальных видах документов – журналах, актах, пополняемой части технического паспорта причала.

В паспорт причала также вносятся выводы, сделанные на основании полученных данных по визуальному осмотру объекта. Как правило, результатом должно стать заключение о степени готовности к эксплуатации причала в навигационный период.

Исходя, из вышеизложенного можно констатировать, что адекватная оценка технического состояние больверков по результатам визуального обследования с минимальными капитальными затратами происходит при должной организации экспертной службы в сочетании с непрерывным деформационным мониторингом.

### **Литература**

1. Гарибин, П. А. Срок службы ГТС водного транспорта и проблемы их рациональной эксплуатации / П. А. Гарибин, С. В. Егоров, А. В. Федяшов // Гидротехника. XXI век. – 2021. – № 3 (50). – С. 38–43.
2. Федеральный закон 184-ФЗ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г.
3. ГОСТ Р 54523-2011 Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 2012-03-01. – М.: Стандартинформ, 2012.
4. ГОСТ Р 55561-2013 Внутренний водный транспорт. Портовые гидротехнические сооружения. Требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015.
5. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004.

6. Подводное обследование гидротехнических сооружений. – Режим доступа: <http://www.baltic-centre.com/doc1.htm>.

УДК 656.62

**Обоснование продления навигации на трассе Каспий-Азов:  
гидрологические и гидрометеорологические аспекты**

Гладков Г. Л., Беляков П. В., Конопацкий С. В., Ржаковская П. С.  
Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С.О. Макарова  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*В работе дана оценка возможности организации круглогодичной навигации на внутренних водных путях Российской Федерации в направлении Каспий – Азов через Волго-Донской судоходный канал. Изучены и исследованы условия прохождения судов в зимний период в ледовых условиях по основной трассе, в том числе расположенной в водохранилищах и озеровидных бьефах, в бьефах искусственных судоходных каналов, включая подходные каналы к судоходным шлюзам, незарегулированных участках рек Волга и Дон.*

Объектом научного исследования [1] является участок внутренних водных путей в направлении Каспий-Азов общей протяженностью 1043,6 км, в том числе:

– по реке Волга от н.п. Стрелецкое Волго-Донской судоходный канал, протяженностью 498,3 км;

– Волго-Донской судоходный канал через Варваровское, Береславское и Карповское водохранилища и искусственные судоходные каналы №№ 101-122 ВДСК – Цимлянский гидроузел (шлюзы № 14 и № 15) протяженностью 300 км;

– р. Дон от Цимлянского гидроузла до 3121 км (г. Аксай) протяженностью 245,3 км.

Необходимость увеличения грузопотока на Волго-Донском и Азово-Донском водном пути [2] ставит задачу увеличения продолжительности навигационного периода при обеспечении безопасных условий судоходства, максимального использования провозной способности транспортного флота, повышения пропускной способности судоходных гидротехнических сооружений и уменьшение ущерба судоходным компаниям от сезонности навигации, недогруза и простоев в ожидании необходимых глубин.

Общая характеристика участка водного пути в направлении Каспий – Азов показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема водного пути Каспий – Азов

По материалам многолетних наблюдений на стационарных метеостанциях и гидрологических постах, расположенных в бассейнах нижней Волги и нижнего Дона [1, 3, 4], были определены основные климатообусловленные тренды изменения климатических, гидрологических и ледовых характеристик (рис. 2–4).

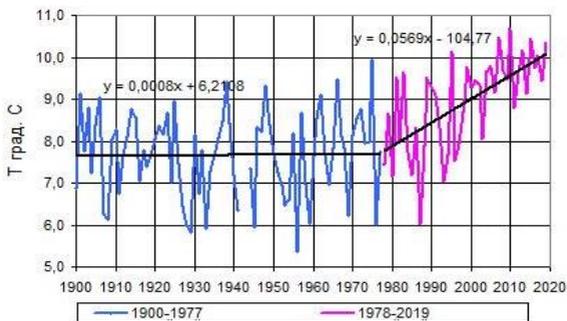


Рис. 2. Временной ход среднегодовой температуры воздуха по м/с Волгоград за 1900–2019 гг. Прямыми линиями показаны линейные тренды за 1900–1977 и 1978–2019 гг.

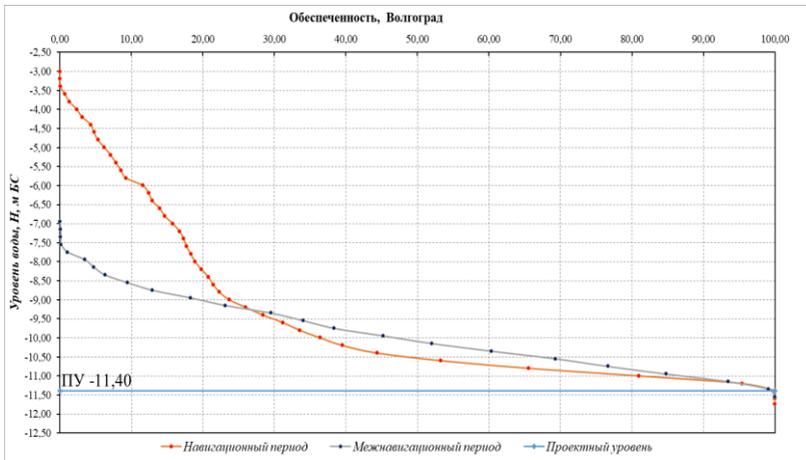


Рис. 3. Графики среднегогодовой обеспеченности среднесуточных уровней воды за навигационный и межнавигационный периоды по гидрологическому посту р. Волга – г. Волгоград за 1999–2019 годы

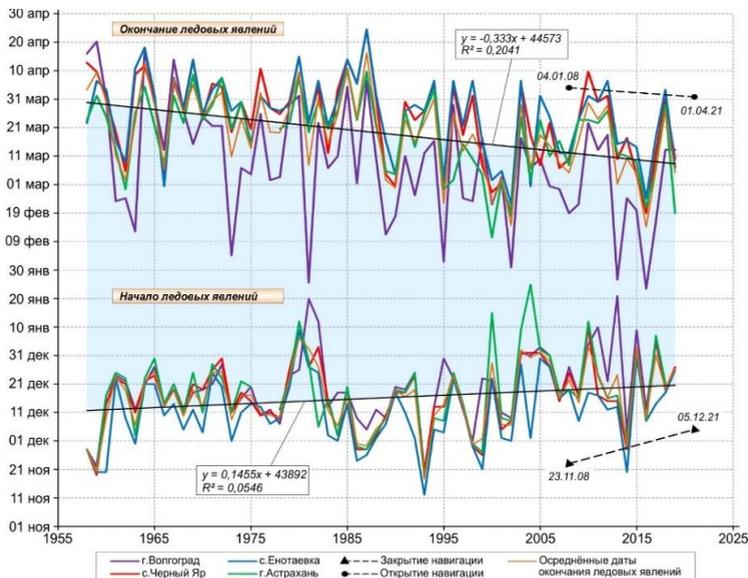


Рис. 4. Совмещенные графики ледовых явлений (р. Волга)

Главной особенностью изменения внутригодового распределения стока воды в пределах значительной части равнинной территории ЕТР [3, 4] стало уменьшение роли половодья в формировании годового стока рек, уменьшение максимальных и очень значительное увеличение минимальных расходов воды. Типичный для рек региона восточно-европейский тип водного режима с одним годовым максимумом стока трансформируется в режим, для которого характерен гребенчатый тип гидрографа в периоды формирования максимального стока.

Ранее таких изменений водного режима не происходило вследствие доминирующей роли стока за период весеннего половодья. В этих районах в результате повышения зимних температур воздуха возросло число и продолжительность оттепелей, уменьшились предвесенние запасы воды.

Результаты исследований показали, что в бассейне нижней Волги:

- произошло повышение температуры воздуха с конца 70-х годов XX века со значимым положительным трендом;

- имеет место тенденция увеличения зимнего стока рек. При этом относительная доля весеннего стока в годовом стоке уменьшается;

- средние даты начала ледовых явлений сместились на более поздние сроки, а средние даты окончания ледовых явлений за последний 30-летний период сместились на более ранние сроки; наблюдаются более длительные периоды шугоходов;

- происходит уменьшение средних и особенно максимальных значений толщины льда.

В зимний период времени на нижней Волге отсутствует необходимость осуществления дополнительных попусков воды из Волгоградского водохранилища для обеспечения круглогодичной навигации с учетом обеспеченности водными ресурсами в современных условиях и на перспективу. Организация круглогодичной навигации на нижней Волге не затрагивает интересы других водопользователей.

Со второй половины 1970-х годов отмечается увеличение притока речных вод в Цимлянское водохранилище в летне-осенние и зимние месяцы [4, 5], и снижение – в весенние. Вследствие уменьшения притока в период весеннего половодья среднемесячные уровни водохранилища в последние десятилетия не достигали отметки нормального подпорного уровня.

Многолетние данные о месячных расходах воды в нижнем бьефе Цимлянской ГЭС в межнавигационный зимний период времени указывают на дефицит водных ресурсов, необходимых для обеспечения судоходства в период продленной навигации. Дефицит водных ресурсов для обеспечения

судоходства в нижнем бьефе Цимлянской ГЭС будет ликвидирован после ввода в эксплуатацию Багаевского гидроузла на реке Дон.

Изучение гидрологических условий зимнего периода в Варваровском, Береславском и Карповском водохранилищах, судоходных каналах и озеровидных бьефах Волго-Донского канала и анализ возможности использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища для обеспечения продленной навигации позволяют сделать следующие выводы.

В водораздельных бьефах и слабопроточных водохранилищах, расположенных на основной трассе Волго-Донского судоходного канала, климатообусловленные изменения характеристик водного режима происходят с меньшей интенсивностью, чем на речных участках Волги и Дона.

Лимит водопотребления на шлюзование Волго-Донского судоходного канала в среднемноголетнем укрупненном водохозяйственном балансе Цимлянского водохранилища установлен равным 128.9 млн м<sup>3</sup>, что составляет около 0,65 % от общего объема приточности к водохранилищу. Дополнительный водозабор на обеспечение работы ВДСК в период круглогодичной (продленной) навигации составит менее 1/3 этой величины и не окажет заметного влияния на расходную часть водохозяйственного баланса водохранилища.

Для оценки климатических рисков при организации продленной (круглогодичной) навигации на трассе водного пути Каспий-Азов были определены основные факторы, влияющие на безопасность судоходства.

### Литература

1. Проведение исследований и разработка предложений по организации круглогодичной навигации на внутренних водных путях в направлении Каспий – Азов через Волго-Донской судоходный канал: отчет о НИР / ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. – СПб., 2022. – 1056 с.

2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утв. Распоряжением Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. №3363-р.

3. Георгиевский, М. В. Прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших рек Российской Федерации на основе данных поречному стоку проекта СМР5 / М. В. Георгиевский, О. Ф. Голованов // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2019. – Т. 64. – Вып. 2. – С. 206–219.

4. Георгиевский, В. Ю. Водные ресурсы и гидрологический режим рек РФ в условиях изменения климата / В. Ю. Георгиевский, Н. И. Коронкевич, Н. И. Алексеевский // Пленарные доклады VII Всероссийского гидрологического съезда, 19-21 ноября 2013 г. СПб: ГГИ, 2014. С. 79–102.

5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. – 104 с.

**Энергосберегающие технологии контактов электрических аппаратов  
в энергетическом строительстве**

Каюмов С. Н., Хакимов С. Х.

Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассмотрены электрические контакты, применяемые в энергетических системах и сетях электрических подвижных составах железнодорожного транспорта, с учетом режимов работы и тяговой характеристики тягового электрического двигателя. Приведены основные виды контактов и материалы, используемые для изготовления контактов, работающие в электрических и электронных аппаратах ЭПС.*

Контактами в аппаратах называют токоведущие детали, при соприкосновении которых в процессе работы аппарата замыкается электрическая цепь. Контакты аппаратов, используемые для замыкания и размыкания цепи без тока, обычно называют разъединяющими или размыкающими.

В аппаратах, кроме того, имеются разъемные контактные соединения, которые в процессе работы аппаратов не размыкаются, а служат только для отсоединения части или всего аппарата при замене или ремонте. Такие соединения осуществляют посредством зажимов (болтов, гаек и т. п.) и поэтому их называют контактными зажимами.

Контактные соединения, осуществляемые пайкой, называют неразъемными. В месте соприкосновения контактов возникают дополнительное контактное сопротивление  $r_k$  и потери  $P_n$  энергии. Эти потери в основном и определяют нагрев контактов [1].

Физическая природа контактного сопротивления выявляется при рассмотрении места соприкосновения контактов, изображенного с большой степенью увеличения. Независимо от качества обработки рабочих поверхностей контактов они имеют микронеровности, в результате чего контакты соприкасаются между собой не по всей поверхности, а в ограниченном количестве точек [2]. При увеличении нажатия контактов микроскопические выступы в точках соприкосновения деформируются, укорачиваются, а площадь и количество точек соприкосновения – увеличиваются, что приводит к уменьшению контактного сопротивления. Эта зависимость подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Электрическое сопротивление контактов обратно пропорционально контактному нажатию и не зависит от площади их соприкосновения. Этим объясняется преимущественное применение линейных и точечных контак-

тов, при которых большое удельное нажатие способствует лучшей очистке поверхности контактов от окиси.

Несмотря на большое разнообразие геометрических форм контактов тяговых аппаратов, их можно разделить в зависимости от вида контактной поверхности в месте электрического контакта на три разновидности, условно называемые поверхностными, линейными и точечными. На рис. 1 показано некоторые разновидности контактов.

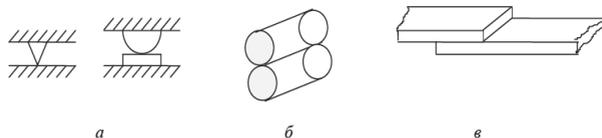


Рис. 1. Разновидности контактов:  
*a* – точечный; *b* – линейный; *c* – поверхностный

Поверхностный контакт образуется путем соприкосновения двух плоских поверхностей. Поверхностные контакты допускают без повреждения очень большие нажатия, благодаря чему контактное сопротивление снижается до минимума. В частности, поэтому их используют в некоторых мощных автоматических выключателях.

Линейный контакт образуют токоведущие детали, касающиеся по линии. Фактически контактная поверхность представляет узкую прямоугольную полоску. В таких контактах создаются высокие удельные нажатия и поэтому легко обеспечить смятие окисленных контактных выступов и получить относительно низкое контактное сопротивление при сравнительно небольших нажатиях. Линейные контакты применяют в большинстве тяговых аппаратов.

Точечный контакт. Соприкасающиеся две поверхности сферической формы образуют точечный контакт, который вследствие смятия металла контактов практически имеет форму небольшого кружка. Точечные контакты обеспечивают высокие удельные нажатия и малое контактное сопротивление даже в случае очень небольшого нажатия. Поэтому точечные контакты особенно широко используют в аппаратах, где сила нажатия мала (реле, блокировочные контакты) [3].

Контактные материалы. Основные необходимые свойства контактного материала – высокая электрическая проводимость и дугостойкость – не могут быть получены за счет сплавов таких материалов, как серебро и вольфрам, медь и вольфрам.

Серебро. Положительные свойства: высокие электро- и теплопроводность, пленка окисла серебра имеет малую механическую прочность и

быстро разрушается при нагреве контактной точки [2]. Контакт серебра устойчив, благодаря малой механической прочности достаточны малые нажатия (применяется при нажатиях 0,05 Н и выше). Устойчивость контакта, малое переходное сопротивление являются характерными свойствами серебра.

Отрицательные свойства: малая дугостойкость и недостаточная твердость серебра препятствуют использованию его при наличии мощной дуги и при частых включениях и отключениях.

Применяется в реле и контакторах при токах до 20 А. При больших токах вплоть до 10 кА серебро используется как материал для главных контактов, работающих без дуги.

Алюминий. Этот материал имеет достаточно высокие электрическую проводимость и теплопроводность. Благодаря малой плотности токоведущая часть круглого сечения из алюминия на такой же ток, как и медный проводник, имеет почти на 48 % меньшую массу. Это позволяет уменьшить массу аппарата.

Недостатки алюминия:

1) образование на воздухе и в активных средах пленок с высокой механической прочностью и высоким сопротивлением;

2) низкая дугостойкость (температура плавления значительно меньше, чем у меди и серебра);

3) малая механическая прочность;

4) при контакте с медью образуется пара, подверженная сильной электрохимической коррозии.

В связи с этим при соединении с медью алюминий должен покрываться тонким слоем меди электролитическим путем либо оба металла необходимо покрывать серебром.

Алюминий и его сплавы (дюраль, силумин) применяются главным образом как материал для шин и конструктивных деталей аппаратов.

Вольфрам. Положительными свойствами вольфрама являются высокая дугостойкость, большая стойкость против эрозии, сваривания. Высокая твердость вольфрама позволяет применять его при частых включениях и отключениях.

Недостатками вольфрама являются высокое удельное сопротивление, малая теплопроводность, образование прочных оксидных и сульфидных пленок. В связи с высокой механической прочностью и образованием пленок вольфрамовые контакты требуют большого нажатия.

В электромагнитных реле на малые токи с небольшим нажатием применяются стойкие против коррозии материалы – золото, платина, палладий и их сплавы

Металлокерамические материалы. Рассмотрение свойств чистых металлов показывает, что ни один из них не удовлетворяет полностью всем требованиям, предъявляемым к разрывным контактам. Для контактов аппаратов высокого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А60, КМК-Л61, КМК-Б20, КМК-Б21 [4].

В аппаратах низкого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А10 из серебра и окиси кадмия  $CdO$ . Отличительной особенностью этого материала является диссоциация  $CdO$  на пары кадмия и кислород. Выделяющийся газ заставляет дугу быстро перемещаться по поверхности контакта, что значительно снижает температуру контакта и способствует деионизации дуги.

Металлокерамика, состоящая из серебра и 10 % окиси меди, КМК-А20 еще более стойка к износу, чем КМК-А10.

Серебряно-никелевые контакты хорошо обрабатываются, обладают высокой стойкостью против электрического износа. Контакты дают низкое и устойчивое в эксплуатации переходное сопротивление. Однако они легче свариваются, чем контакты из материала КМК-А60, КМК-Б20, КМК-А10. На рис. 2 показано некоторые конструкции контактов.

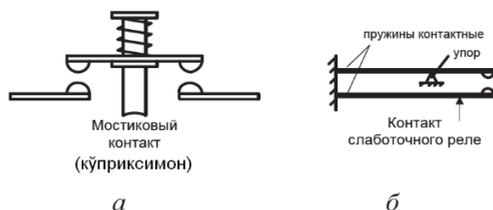


Рис. 2. Конструкции контактов:

*a* – мостиковый контакт; *б* – контакт слаботочного реле

При работе аппарата в его токоведущей цепи, изоляции и деталях конструкции возникают потери электрической энергии, которые превращаются в тепло. Тепловая энергия частично расходуется на повышение температуры аппарата и частично отдается в окружающую среду.

При увеличении температуры происходит ускоренное старение изоляции проводников и уменьшение их механической прочности. Так, например, если при данной допустимой длительной температуре, срок службы изоляции проводников сокращается (при длительной работе и возрастании температуры всего лишь на 8 °С, срок службы сокращается в 2 раза). При увеличении температуры меди со 100 до 250 °С, механическая прочность снижается на 40 %. Следует иметь в виду, что при коротком замыкании,

когда температура может достигать предельных значений (200–300 °С), токоведущие части подвержены воздействию больших электродинамических сил.

Работа контактных соединений также сильно зависит от температуры.

Нагрев токоведущих частей и изоляции аппарата в значительной степени определяет его надежность. Поэтому во всех возможных режимах работы температура частей аппарата не должна превосходить таких значений, при которых обеспечивается его длительная надежная работа. В аппаратах постоянного тока нагрев происходит только за счет потерь в активном сопротивлении токоведущей цепи.

Для однородного проводника сопротивление  $R$ , зная свойства материала, длину и сечение проводника, легко найти.

При переменном токе активное сопротивление проводника отличается от сопротивления при постоянном токе из-за возникновения поверхностного эффекта и эффекта близости.

В аппаратах переменного тока высокого напряжения, помимо потерь в проводниковых и ферромагнитных материалах, необходимо учитывать потери, возникающие в изоляции. Эти потери определяются формулой

$$P = 2\pi f C U^2 \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $f = 50$  Гц частота сети;  $C$  – емкость изоляции;  $U$  – действующее значение напряжения на изоляции;  $\operatorname{tg} \alpha$  тангенс угла диэлектрических потерь.

Изоляция аппарата нагревается как за счет потерь в токоведущей цепи, так и за счет потерь в диэлектрике.

Способы передачи тепла внутри нагретых тел и с их поверхности:

Различают три вида теплообмена: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность. Теплопроводностью называется процесс распространения тепла между непосредственно соприкасающимися частицами, обусловленный тепловым движением молекул или атомов вещества, а в металлах – свободных электронов.

Влияние контактного сопротивления на производительность устройств становится все более заметным по мере масштабирования устройств до наноуровня. Эта реальность требует от ученых-материаловедов повышенной изобретательности для управления межфазными реакциями и проектирования интерфейса. Судя по темпам, с которыми новые материалы и процессы проникают в микроэлектронную и наноэлектронную промышлен-

ленность, прогноз поиска решений для смягчения этих проблем довольно хороший.

### **Литература**

1. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.
2. Заболотный, Н. Г. Электрические аппараты электровозов постоянного и переменного тока / Н. Г. Заболотный. – М.: Маршрут, 2005. – 36 с.
3. Ривкин, Г. А. Преобразовательное устройство / Г. А. Ривкин. – М: Энергия, 1970. – 544 с.
4. Розанов, Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники / Ю. К. Розанов. – М: Энергия. 1979. – 392 с.

УДК 627.82:628.16.067

### **Теоретические и экспериментальные исследования неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах**

Файзиев Х., Рахимов Ш. А., Жураев К. Т.

Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах при снижении уровня воды в водохранилище. Даны результаты решения данной нестационарной задачи методом конечных разностей и их сравнение с экспериментальными методами.*

С точки зрения устойчивости плотин из малопроницаемых грунтов наибольшую опасность представляют обводненные откосы верховых упорных призм грунтовых плотин в случаях быстрого снижения (сработки) горизонта воды верхнего бьефа. В практике эксплуатации водохранилищных гидроузлов такие случаи нередки и, как правило, вызываются условиями неравномерной загрузки ГЭС, периодическим забором воды в деривационные системы, предупредковой сработкой водохранилища, различными аварийными ситуациями и т. п.

Указанные обстоятельства приводят в плотинах рассматриваемого вида к существенному отставанию депрессионной поверхности фильтрационного потока от уровня воды верхнего бьефа и как следствие, к появлению опасных гидродинамических давлений воды, направленных в верховых упорных призмах в сторону водохранилища, неучет которых в расчете может привести к нарушению устойчивости откосов.

Задача неустановившейся фильтрации является одной из наиболее сложных в области теории фильтрации. Впервые общие уравнения неустановившейся фильтрации были предложены Н. Е. Жуковским [1], но решение их чрезвычайно сложно и поэтому в общем виде они пока не нашли практического применения.

Упрощенный вывод уравнения неустановившейся фильтрации был предложен Й. Буссинеском [2].

При горизонтальном водоупоре и постоянном коэффициенте фильтрации среды нелинейно уравнение Буссинеска для одномерной задачи принимает следующий вид [2]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K_t}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где  $h$  – гидродинамический напор;  $x$  – абсцисса точки кривой депрессии;  $t$  – текущее время;  $K_t$ ,  $\mu$  – коэффициенты фильтрации и водоотдачи грунта, соответственно.

Решения уравнение Буссинеска нами была осуществлено методом конечных разностей. Результаты решения были опубликованы ранее [3]. При этом уравнения (1) рассматриваются вместе со следующими начальными и граничными условиями:

$$h|_{t=0} = h_{cp}, \quad (2)$$

$$(1 - \alpha_1) \left( h(0, t) \Big|_{x=0} - h_{cp} \right) + \alpha_1 \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad (3)$$

$$(1 - \alpha_2) \left( h(L, t) \Big|_{x=L} - h_{cp} \right) + \alpha_2 \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0, \quad (4)$$

где  $h_{cp}$  – средний гидродинамический напор,  $x$  и  $t$  – переменные величины;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – параметры, принимающие значения ноль или 1 для граничных условий 1-го и 2-го рода, соответственно. Условия (1)–(4) называются краевыми задачами математической физики.

Уравнение (1) с приведенными начальными граничными условиями (2)–(4) решено методом конечных разностей. Были рассмотрены однородные грунтовые плотины без дренажа и с дренажной призмой и трубчатым дренажем с непроницаемым и проницаемым основанием. Составлена программа расчета неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах на языках C# и получено свидетельство об официальной регистрации про-

граммы в агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

В целях проверки обоснованности принятых предпосылок при выводе зависимостей для фильтрационного расчета грунтовых плотин и оценки точности полученных решений были проведены экспериментальные исследования комбинированными методами с использованием физического и физико-математического моделирования некоторых видов плотин.

Физическое моделирование проводилось на грунтовых моделях в большом металлическом грунтовом лотке размером  $0,8 \times 0,12 \times 4,0$  м<sup>3</sup> с прозрачной одной стороной из стекла.

Физико-математическое моделирование схем фильтрации проводилось на сплошных электрических моделях из электропроводной бумаги на интеграторе ЭГДА 9/60.

Исследования моделей области фильтрации в грунтовом лотке приближаются к натурным условиям работы плотин. В данном случае исследования грунтовых моделей являлись предварительными, цель которых заключалась в получении недостающих граничных условий таких, как действительное положение кривой депрессии и высоты, выкачивания воды на верховой откос при сработке уровня воды, для дальнейшего моделирования и решения задач неустановившейся фильтрации на электрических моделях методом ЭГДА.

Модель плотины в грунтовом лотке для принята с постоянным заложением откосов 1:4 по профилю подобной Чардаринской. Для исследований был привезен барханный песок. Из него формировались грунтовые модели плотины и берегового массива. Грунт в лоток укладывался послойно с трамбованием, влажностью 4 % и плотностью 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Моделирование неустановившейся фильтрации для плотины на сплошных электрических моделях отличается от решения стационарных задач лишь тем, что необходимо учитывать время процесса. Наиболее удобно и проще решать задачи такого рода дискретном представлении процесса во времени. Методика моделирования подробно разработана В. М. Шестаковым [4]. В нашем случае решение задачи упрощено тем, что не приходится искать поверхность депрессии на конечный момент времени путем приближения. Эта задача на электрических моделях довольно сложна и грубо приближена. Положение поверхностей депрессии как недостающее граничное условие для каждого расчетного случая с нами приняты по результатам исследований в большом грунтовом лотке.

Возможности разработанной методики, программы расчета неустановившейся фильтрации и оценка достоверности получаемых результатов иллюстрируются ниже на примере фильтрационных задач.

Расчет неустановившейся фильтрации однородных плотин с трубчатым дренажем, схема которой показана на рис., выполняем при следующих начальных и граничных условиях.

Определение участка высачивания фильтрационного потока производим по методу В. М. Шестакова [5]. В качестве объекта для этой задачи рассматривалась однородная плотина с трубчатым дренажем при следующих параметрах: высота плотины 17,0 м; заложение верхового откоса  $m = 4$ ; заложении низового откоса  $m = 3$ ; начальная глубина воды верхнего бьефа  $H_1 = 15$  м.

Результаты решения данной нестационарной задачи методом конечных разностей и их сравнение с экспериментальными методами на различные моменты времени и соответствующие им уровни верхнего бьефа представлены на рис. Как видно, результаты, полученные с помощью МКР достаточно точно совпадают с результатами экспериментов выполненных на физических и физико-математических моделях. Расхождения в отметках депрессионной поверхности в расчетных сечениях не превосходят допустимых пределов. Это позволяет утверждать об обоснованности выбранных расчетных схем и принятых исходных допущений в численных исследованиях.

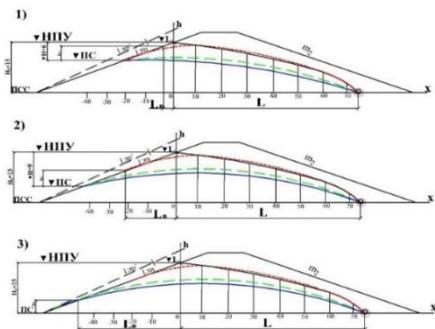


Рис. Результаты расчетов неустановившейся фильтрации в однородной грунтовой плотине с трубчатым дренажем:

- 1 – на момент времени 40 суток после начала сработки водохранилища;
- 2 – на момент времени 60 суток после начала сработки водохранилища;
- 3 – на момент времени 100 суток после начала сработки водохранилища;
- — — — положение депрессионной поверхности по МКР;
- \_\_\_\_\_ положение депрессионной поверхности по эксперименту

Положения депрессионной кривой в момент времени  $t = 0$  определяем по формуле

$$h = \sqrt{2 \frac{q}{kt} (L - x + L_d)}. \quad (5)$$

При  $x = -m_1^1 \vartheta t$ ,  $h = h_1 = H_1 - \vartheta t$ ; при  $x = L$ ,  $h = 0$ .

Полученные решения позволяют проследить динамику изменений положения депрессионной поверхности, градиентов и скоростей фильтрационного потока, происходящих при сработке водохранилища.

Используемый метод конечных разностей позволяет получить подробную картину изменения положения депрессионной кривой, фильтрационных градиентов и скоростей при снижении уровня воды водохранилища. Это необходимо для оценки фильтрационной прочности элементов грунтовых плотин и проверки устойчивости их откосов.

### Литература

1. Аравин, В. И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. – М.: Гостехиздат, 1953. – 616 с.
2. Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
3. Файзиев, Х. Численное решение краевой задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах методом конечных разностей / Х. Файзиев, С. Бабакаев, М. Норматов // Известия вузов: строительство. – 2016. – № 1. – С. 43–51.
4. Лукнер, Л. Моделирование геофильтрации / Л. Лукнер, В. М. Шестаков. – М.: Недра, 1976. – 407 с.
5. Шестаков, В. М. Определение гидродинамических сил в земляных сооружениях и откосах при падении уровней в бьефах / В. М. Шестаков // Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. – 1956. – № 2. – С. 98–128.

УДК 626.35

### Экспериментальные исследования конструкции крепления земляных каналов

Яковлев Е. А., Синиченков А. П., Михалькевич Д. Д.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основании проведенных испытаний конструкции бокового крепления земляных каналов польдерных мелиоративных систем получено сни-*  
298

*жение уровня грунтовых вод в теле откосов при сработке воды в канале. Данная конструкция может быть применена на участках магистральных каналов, непосредственно примыкающих к насосной станции.*

В Белорусском Полесье построено большое количество мелиоративных каналов. Участки магистральных каналов ранее крепили только железобетонными плитами. Создание долговечного эффективного крепления магистральных каналов актуально до настоящего времени. Проблема повышения устойчивости земляных каналов актуальна, поскольку в Беларуси в сельскохозяйственном использовании находится около 30 % мелиорированных земель, поэтому 1/3 производимых в стране продуктов питания получена благодаря осушенным землям. Ирригация в нашей стране развивается недостаточно интенсивно, поэтому основным методом мелиорации является осушение избыточно увлажненных территорий. Применению в Беларуси преимущественно осушительных мелиораций способствует также географическое расположение страны. Северо-западный ветер приносит в Республику дождевые облака, формирующиеся над Атлантикой. Ежегодно годовая сумма осадков, выпадающих на нашей территории, превышает годовую сумму испарений. Однако, неравномерность их выпадения по времени иногда не позволяет интенсивно развивать сельскохозяйственное производство. Поэтому для обеспечения растений влагой на всех стадиях вегетации требует орошения или подпочвенного увлажнения мелиорированных земель. Плодородные торфяные почвы находятся в Белорусском Полесье, в пойме р. Припять. Здесь устраивают польдерные осушительно-увлажнительные системы.

Припятское Полесье является физико-географическим районом Белорусского Полесья. Структура поймы р. Припять расположена на территории пяти областей (рис. 1). Вся территория поймы р. Припять оценивается в 425 тыс. гектаров.

Повышение эффективности использования мелиорированных земель можно достигнуть путем устройства осушительно-увлажнительной системы на мелиоративной сети, которая имеет возможность регулирования водного режима.

При работе канала в режиме осушения в весенний период его откосы, непосредственно примыкающие к зданию насосной станции, испытывают фильтрационное давление при снижении уровня воды в канале. Для уменьшения фильтрационного давления были разработаны различные конструкции. Например, дренающе-разгрузочное устройство для облицовок (рис. 2), которое позволяет повысить надежность работы магистрального канала за счет предупреждения выпора плит при быстрой сработке уровня воды в канале.

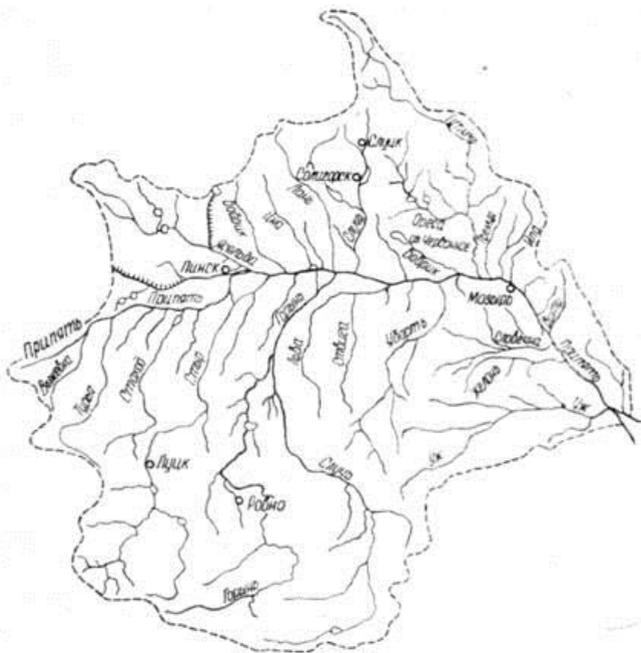


Рис. 1. Схема р. Припять с притоками

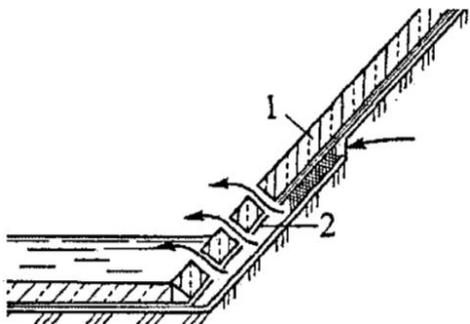


Рис. 2. Дренажирующе-разгрузочное устройство облицовок каналов [1]

Разработан и предложен другой тип крепления: с устройством в нижней части откоса щебеночной призмы, позволяющей снизить фильтрационное давление на материал облицовки каналов. Данная конструкция была испытана в лабораторных условиях и получены графики (рис. 3) снижения уровня грунтовых вод в теле откоса.

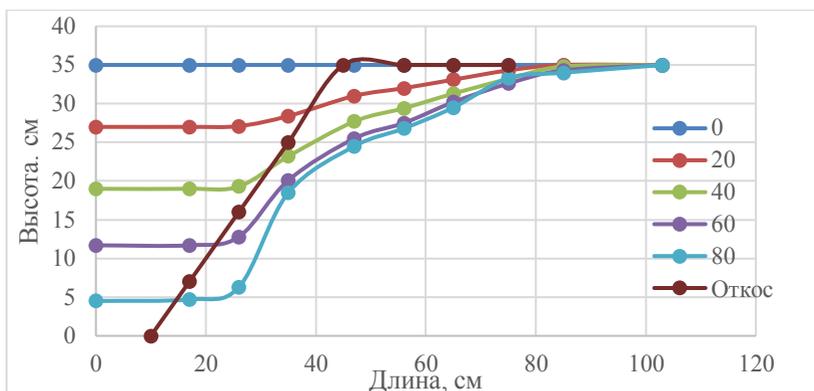


Рис. 3. График и его описание

Анализируя данный график, можно заметить, как в теле откоса распространяется кривая депрессии на разных этапах. Показания пьезометров в разных точках модели отображают эффективность работы данной конструкции: на откосе не наблюдается выход грунтовых вод. Это защищает откос от возникновения фильтрационного выпора и дальнейшего оползания откоса.

Вывод. Испытанная конструкция бокового крепления земляных каналов польдерных мелиоративных систем работоспособна и позволяет уменьшить величину фильтрационного давления до приемлемого уровня. Данная конструкция может быть применена на участках магистральных каналов польдерных осушительных и осушительно-увлажнительных систем.

### Литература

1. Ищенко, А. В. Обоснование рациональных конструкций противо-фильтрационных устройств гидротехнических сооружений: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.07 / А. В. Ищенко; Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева». – Санкт-Петербург, 2010. – 32 с.

УДК [574+ 594]

**Оценка эффективности эксплуатации берегозащитных сооружений на основе данных полевых обследований и технико-экономического анализа**

Левкевич В. Е.<sup>1</sup>, Бузук А. В.<sup>2</sup>, Сударева Т. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь

*В представленной работе приведены результаты технико-экономических исследований по оценке эффективности различных типов крепления откосов дамб и плотин, используемых на водохранилищах Беларуси.*

Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных конструкций и сооружений по данным натурных обследований, проведенных в период 2013–2021 гг., оценивается в пределах 120 км, что составляет около 50 % протяженности всех креплений на водохранилищах. Ниже на рис. представлены типичные примеры повреждения крепления берегов и откосов дамб и плотин, наблюдаемые в условиях Беларуси, которые получены и зарегистрированы при натурном обследовании ряда водохранилищ страны.



Рис. Характерные разрушения сборных и сборно-монолитных креплений

В процессе исследований была оценена стоимость берегозащиты различных конструкций и типов, имеющих наибольшее распространение в Беларуси:

– тип «георешетка»;

- тип «гибкое бетонное крепление»;
- тип «искусственная самоотмостка»;
- тип «шпунтовая стенка»;
- тип «железобетонные плиты»;
- тип «каменная наброска».

При выделении величины годовых расходов на эксплуатацию берегозащитных сооружений в отдельную статью затрат, не входящую в расходы всего гидроузла, определение экономической эффективности рассматриваемых вариантов защиты производится путем сопоставления суммы капитальных вложений и эксплуатационных расходов:

$$\Pi_i = M_i + k_i E_n,$$

где  $\Pi_i$  – приведенные затраты (ПЗ) по каждому варианту, тыс. руб/год;  $M_i$  – годовые эксплуатационные расходы (по вариантам), тыс. руб/год;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимается 0,12;  $k_i$  – капитальные вложения (затраты) по типам, тыс. руб.

Главной составляющей экономической эффективности применяемых креплений откосов являются капитальные вложения  $k_i$ . Для определения капитальных вложений по строительству отдельных типов креплений на основании объемов работ составлялись локальные сметы. Расчет смет производился по НРР 2017 г. в текущих ценах на июль 2021 г. Нормативы расхода ресурсов (НРР) – нормативы, устанавливающие расход ресурсов в натуральном выражении, и нормативы, определяемые в процентном выражении, в том числе нормы общехозяйственных и общепроизводственных расходов, плановой прибыли, транспортных расходов, определялись на основе Приказа Минстройархитектуры от 31.10.2016 № 238 «Об утверждении нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении» и сборников НРР-2017. В расчетах НРР объединены по зонам строительства, видам работ и конструкций. Ежегодные эксплуатационные расходы  $C$ , тыс. руб., определялись по формуле

$$C = C_T + C_{з/п} + C_{з/п}^{нач} + C_{пр},$$

где  $C_T$  – транспортные расходы на доставку группы работников для мониторинга состояния берегозащиты, которые включают в себя стоимость топлива и амортизацию автотранспорта, составляют 0,04 тыс. руб. Расстояние до расчетного водохранилища туда и обратно принимается равным 15 км,  $C_{з/п}$  – заработная группы работников из 5 чел. Средняя заработная плата в 2021 г. составляет в среднем 1400 руб. Выезд работников для мо-

ниторинга состояния крепления принимался два раза в год, т. е. два рабочих дня, тогда  $C_{з/п} = (5 \cdot 1,4) / 21 \cdot 2 = 0,67$  тыс. руб.  $C_{нач з/п}$  – налоговые начисления на заработную плату, принимались равными 40 % от  $C_{з/п}$ ;

$$C_{нач з/п}^{нач} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.}$$

где  $C_{пр}$  – прочие расходы, включающие текущий ремонт, износ приборов измерения, командировки и так далее. Величина  $C_{пр}$ , тыс. руб., ориентировочно определяется в размере 40 % от суммы затрат на зарплату:

$$C_{пр} = 0,4 C_{з/п},$$

$$C_{пр} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда ориентировочные эксплуатационные расходы составят

$$C = 0,04 + 0,67 + 0,27 + 0,27 = 1,25 \text{ тыс. руб.}$$

Практика показала, что расходы на текущий ремонт инновационных типов берегоукрепления определить не представляется возможным. После сметных расчетов составлялись ведомости ресурсов по каждому из видов креплений. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы (ОХР и ОПР) – сумма средств, предназначенных для возмещения затрат подрядным организациям, связанных с созданием общих условий строительного производства.

К нормам ОХР и ОПР применялись корректирующие коэффициенты (1,0 и 0,57), доводимые в составе республиканской нормативной базы, рассчитанные исходя из изменения уровня размера заработной платы по строительству, материальных и иных затрат. Результаты расчета капитальных вложений при строительстве инновационных типов крепления («гибкое бетонное крепление», «георешетка», «искусственная самоотмостка», «шпунтовая стенка»), а также для классических методов («железобетонные плиты», «каменная наброска») приведены ниже. Сравнительный расчет стоимостей капитальных вложений  $k_i$  в крепления откосов различного типа производился на 10 м пог. условного берега (откоса) и составил:

- тип «георешетка» – 2,759 тыс. руб.;
- тип «гибкое бетонное крепление» – 7,817 тыс. руб.;
- тип «искусственная самоотмостка» – 6,548 тыс. руб.;
- тип «шпунтовая стенка» – 5,882 тыс. руб.;
- тип «ж/б плиты» – 8,290 тыс. руб.;
- тип крепления «каменная наброска» – 3,861 тыс. руб.

Анализ показал, что самый экономически выгодный типом крепления является на этапе строительства – крепление георешеткой, самое дорогое – крепление железобетонными плитами.

Наряду с оценкой экономической эффективности на стадии строительства была проведена оценка эффективности конструкций различных типов креплений с учетом определенного периода эксплуатации. Период оценки составлял 5 лет с момента ввода в эксплуатацию объекта. Для оценки был предложен коэффициент эффективности крепления при эксплуатации ( $k_{эф}$ ), который определяется по формуле:

$$k_{эф} = m_2 \cdot St / m'_2 \cdot L_{отк},$$

где  $m_2$  – заложение исходного расчетного профиля, покрытого креплением;  $St$  – величина линейной переработки (деформации) надводной части профиля;  $m'_2$  – заложение профиля откоса, покрытого креплением после 5 лет эксплуатации;  $L_{отк}$  – расчетная полоса участка откоса ( $L_{отк} = 1$  м).

Значения  $k_{эф}$  для различных типов креплений приведены ниже в табл.

Таблица

Коэффициент эффективности крепления  $k_{эф}$

Типы крепления берегов и грунтовых откосов	Форма крепления	Состояние крепления после 5 лет эксплуатации	Коэфф. эффективн. крепления ( $k_{эф}$ )
1	2	3	4
1. Георешетка			0,43
2. Каменная наброска			0,65

1	2	3	4
3. Железобетонное крепление гибкое			0,5
4. Плиты железобетонные			0,65
5. Крепление самоотмосткой			0,9
6. Шпунтовая стенка			1,0

В практике отечественной берегозащиты применяются стандартные (классические) крепления откосного типа различных конструкций – асфальтобетонные, бетонные или железобетонные, каменная наброска. Обследование объектов с различными типами креплений показало, что бетонные и железобетонные крепления за время эксплуатации, зарекомендовали себя как надежное средство защиты откосов. Деформации таких креплений представлены раскрытием межплиточных строительных, температурных и осадочных швов. Однако существует необходимость применения инновационных типов крепления: георешетки, гибких бетонных матов, самоотмостки, шпунта из ПВХ.

В результате обобщения материалов натуральных обследований берегозащитных сооружений страны, находящихся в эксплуатации не менее 5 лет, можно отметить:

– крепление в виде георешетки – страдает тем, что в результате вымыва грунта из-под геотекстиля происходит просадка крепления. Это крепление требует периодической подсыпки щебня и замены разрушенных ячеек георешетки;

– крепление каменной наброской – требует постоянной подсыпки дорогостоящего камня и гравия в местах локальных размывов. Распространено, т. к. имеет простую технологию возведения и использование только природных материалов;

– крепление «гибкий бетон» – наблюдаются разрушения крепления при воздействии ледовой нагрузки, характеризуется дороговизной материала крепления;

– крепление «железобетонными плитами» – страдает повышенным раскрытием межплиточных швов, через которые вымывается грунт обратный фильтр. Имеет широкое распространение и проверенную временем положительную эффективность;

– крепление «искусственная самоотмостка» – наблюдения показали экономическую эффективность (практически отсутствуют эксплуатационные затраты при этом используются только природные материалы – грунты с повышенной неоднородностью), стабилизирует берег. Используется только в грунтах с включениями гравия, гальки, валунов и т. п.;

– крепление «шпунтовая стенка» – долговечное и надежное крепление, не подверженное размыву и коррозии. Требуется наличие специальной техники. При использовании металлических (а не ПВХ) шпунтов при большой глубине забивки стоимость возведения крепления очень дорогостоящая.

Проведенный анализ капитальных затрат показал, что самый экономически выгодный тип крепления на этапе строительства – крепление георешеткой, самое дорогое – крепление железобетонными плитами.

После анализа состояния креплений по натурным наблюдениям крепления после 5 лет эксплуатации наблюдаются локальные разрушения креплений, которые могут привести в будущем к разрушению берегозащиты в целом. Для оценки эффективности сравнивается  $k_{эф}$  – коэффициент эффективности крепления. Как оказалось наиболее высокий коэффициент имеют крепления типа «искусственная самоотмостка» ( $k_{эф} = 0,9$ ) и «шпунтовая стена» ( $k_{эф} = 1,0$ ). Наиболее низкой эффективностью обладает тип «георешетка» ( $k_{эф} = 0,43$ ) и «гибкий бетон» ( $k_{эф} = 0,5$ ). Можно сделать вывод о неэффективности использования данных креплений ниже уровня

воды по склону, однако эффективность возрастает при использовании выше уровня воды (например, при комбинированном креплении).

УДК [574+504](576)

**Экспериментальное исследование подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью дистанционных методов**

Левкевич В. Е.<sup>1</sup>, Мильман В. А.<sup>2</sup>, Решетник С. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены некоторые результаты полевых исследований процессов подтопления и абразии прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).*

Для оценки подтопления территории в прибрежной зоне водоемов различного хозяйственного назначения и прогнозирования процессов абразии (переработки берегов) с применением БПЛА был определен ряд тестовых водоемов. К ним были отнесены: Заславское, Дубровское, Чижовское водохранилища, а также водохранилище Волковичи (Птичь). Для дистанционной съемки был использован БПЛА модели DJI Phantom 3 Professional, представленный ОИПИ НАН Беларуси. Аппарат оборудован цветной 12-мегапиксельной камерой, позволяющей выполнять видеосъемку формата HD и делать 12-мегапиксельные фотографии. Внешний вид квадрокоптера показан на рис. 1.



Рис. 1. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэросъемок с БПЛА, были использованы результаты наземного мониторинга, полученные ранее [1, 2].

В качестве примера на рисунке 2 приведен снимок, полученный с использованием видеокамеры БПЛА на одном из тестовых водных объектах. На рисунке представлен пример проявления абразии берегов и подтопления прибрежных территорий тестового водохранилища.



Рис. 2. Заславское водохранилище: юго-западный берег

Полученные результаты полевых натурных исследований позволяют говорить о возможности применения дистанционных средств, в частности, БПЛА для сбора информации, необходимой для мониторинга прибрежных территорий и эксплуатации водных объектов страны.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и данных, полученных в процессе обработки снимков с БПЛА, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения переработки берегов тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водоем водохранилища	Измеренная средняя линейная переработка по тестовым участкам $S_t$ , м	Данные съемки о линейной переработке с БПЛА $S_t$ , м	Погрешность абсолютная, %
Заславское	8,50	8,0	5,9
Дубровское	4,50	4,0	11,10
Чижевское	5,30	5,0	5,70
Волковичское (Птичь)	4,0	3,5	12,5

Ниже в табл. 2 приведены результаты сравнения прогнозных расчетов подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий тестовых водоемов, и реальным гидрогеологическим условиям побережий водохранилищ Беларуси и данных, полученных с помощью БПЛА.

Как видно из приведенных результатов табл. 2, точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА – значения ширины зоны подтопления является достаточной, обеспечивающих среднюю погрешность в пределах 15 %, что является допустимой для проведения практических инженерных расчетов.

Таблица 2

Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод в прибрежной зоне тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водоем (водохранилище)	Прогноз подпора УГВ по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность абсолютная, %
	Высота подпора на расстоянии 20 м от уреза воды, м	Ширина зоны подтопления, м	Ширина зоны подтопления, м	
Заславское	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское	0,50	35,0	35,0	0
Чижевское	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское (Птичь)	0,40	40,0	35,0	12,5

Полученные данные позволили сделать вывод о том, что регистрация и наблюдение за развитием процесса разрушения естественных берегов водохранилищ и подтопления территорий с помощью беспилотных радиоуправляемых квадрокоптеров, оснащенных камерами с высоким разрешением, возможны, причем результаты получаются достаточно точные, что подтверждают как измеренные наземные данные и прогнозныe расчеты, так и полученные БПЛА (табл. 1, 2).

На основании набора полученных с БПЛА аэрофотоснимков была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (ЦМР). Для создания трехмерной модели местности и цифровой модели рельефа (ЦМР) была использована программы Agisoft PhotoScan. Начальным этапом создания трехмерной модели местности является импорт фотоматериалов, настройка параметров и калибровка фотокамеры. Далее определяют-

ся координаты центров снимков и выполняется расстановка на исходных снимках маркеров, с помощью которых осуществляется трансформация модели. После расстановки маркеров, на всех снимках указываются их координаты. Следующим этапом является автоматическое построение трехмерной модели местности. Последним этапом является построение текстуры модели и процесс «насаживания» ее на трехмерную модель (драпировка). В результате проделанных действий получается трехмерная модель местности. Фрагмент ЦМР показан на рисунке 3. Затем на основании полученных данных строится ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями. В результате получается следующая картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, прогнозных расчетов.

На основе материалов натурных обследований и наблюдений, а также съемок с БПЛА на тестовых водохранилищах, были определены прогнозные зависимости, достаточные для моделирования береговых процессов и подтопления территорий, вызванного подпором грунтовых вод. Предложен метод построения цифровой модели местности (ЦМР), который может быть использован для расчета и прогноза деформаций берегов и их устойчивости.



Рис. 3. Трехмерная модель местности с маркерами

Выполненное обследование и аэрофотосъемки с БПЛА позволили оценить степень подтопления и заболачивания прибрежных территорий водохранилищ.

Результаты оценок процессов подтопления и деформаций берегов с учетом данных, получаемых с помощью БПЛА, показали эффективность применения современных дистанционных методов. Разработанные алго-

ритмы и программные средства для интерпретации отоматериалов могут быть в дальнейшем использованы совместно с любой геоинформационной системой (ГИС-системой).

### **Литература**

1. Левкевич, В. Е. Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики / В. Е. Левкевич, А. В. Бузук, В. А. Лосицкий, В. А. Мильман, С. В. Решетник, Ф. Н. Саидов // Материалы науч.-практич. конф., посвящ. 50-летию созд. Брест. гос. техн. ун-та, Брест, 6–7 октября 2021 г. – Брест, БрГТУ. – 2021. – С. 45–54.

2. Левкевич, В. Е. Использование средств дистанционной диагностики для мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений систем водоснабжения и водоотведения / В. Е. Левкевич [и др.] // Экологическая безопасность: 1991–2021: материалы науч.-практич. конф., посвящ. юбил. дате образ. РУП Бел НИЦ Экология, БелНИЦ Экология. – Минск, 2021. – С. 58–62.

УДК 656.621

### **Анализ информационных систем управления внутренним водным транспортом**

Щербакова М. К.<sup>1</sup>, Таболич Т. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>ГУ «Государственная администрация водного транспорта»

Минск, Республика Беларусь

*Инновационный путь развития транспортных систем требует новых методов контроля, эксплуатации и управления. Современным подходом модернизации внутреннего водного транспорта становится внедрение интеллектуального управления транспортными системами. В статье рассмотрено понятие и классификация информационных систем по различным признакам. Приведены определения интеллектуальной информационной системы и интеллектуальной транспортной системы.*

Создание современной транспортной инфраструктуры с использованием самых передовых инновационных и информационных технологий относится к числу приоритетных направлений государственной политики Республики Беларусь. Так же важно интегрировать транспортную систему страны в мировое транспортное пространство и реализовать ее транзитный потенциал.

Современное развитие внутреннего водного транспорта невозможно без применения новых информационных технологий, обеспечивающих высокую точность определения местоположения судов, контроль за их движением в реальном режиме времени и эффективность перевозок. Для этого создаются речные информационные системы (РИС). Основываясь на определениях понятия «информационная система» (табл. 1), делаем вывод, что РИС – это совокупность технических и программных средств, средств связи, людских, финансовых и организационных ресурсов, содействующая управлению движением судов и перевозками в сфере внутреннего судоходства во взаимосвязи с другими видами транспорта.

Сравнительный анализ РИС, применяемых в различных странах следует проводить по следующим направлениям: функционал, используемые технические, программные и средства связи, количество и качество человеческих ресурсов, необходимых для функционирования системы, потребность в финансовых ресурсах для разработки (приобретения) и эксплуатации.

Таблица 1

Официальные определения «Информационной системы»

Источник	Описание
Закон Республики Беларусь № 455-З. Об информации, информатизации и защите информации.	совокупность банков данных, информационных технологий и комплекса (комплексов) программно-технических средств
Стандарт ISO/IEC 2382-1:1993. Термины и определения	система обработки информации, работающая совместно с организационными ресурсами, такими как люди, технические средства и финансовые ресурсы, которые обеспечивают и распределяют информацию
ur asiancommission.org/tu (ЕЭС)	совокупность информационных технологий и технических средств, обеспечивающих обработку информационных ресурсов

Современные РИС состоят из одной или более согласованных систем на основе информационных технологий (ИТ).

Рассмотрим подходы к классификации информационным систем (ИС) (табл. 2). В дальнейшем мы будем принимать их во внимание при сравнительном анализе существующих РИС.

Таблица 2

## Классификация информационных систем

Признак классификации	Виды информационных систем
По степени автоматизации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ручные;</li> <li>– механизированные;</li> <li>– автоматизированные;</li> <li>– системы автоматической обработки данных</li> </ul>
По характеру представления и логической организации хранимой информации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– фактографические;</li> <li>– документальные;</li> <li>– геоинформационные</li> </ul>
По функциональному признаку	<ul style="list-style-type: none"> <li>– автоматизированные;</li> <li>– системы поддержки принятия решений (СППР);</li> <li>– информационно-вычислительные системы (ИВС);</li> <li>– информационно-справочные системы (ИСС);</li> <li>– системы обучения</li> </ul>
По уровням управления	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ИС оперативного уровня;</li> <li>– ИС специалистов;</li> <li>– ИС тактического уровня;</li> <li>– ИС стратегического уровня</li> </ul>
По характеру использования результатной информации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– информационно-поисковые системы;</li> <li>– информационно-советующие системы;</li> <li>– информационно-управляющие системы</li> </ul>
По сфере применения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ИС организационного управления;</li> <li>– ИС управления технологическими процессами (ТП);</li> <li>– ИС автоматизированного проектирования (САПР);</li> <li>– интегрированные (корпоративные) ИС</li> </ul>
По видам обрабатываемой информации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– текстовые процессоры и редакторы (текст);</li> <li>– графические процессоры и редакторы (графика);</li> <li>– системы управления базами данных (СУБД);</li> <li>– табличные процессоры;</li> <li>– алгоритмические языки программирования;</li> <li>– экспертные системы (знания);</li> <li>– мультимедийные системы</li> </ul>
По признаку структурированности задач	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ИС для решения структурированных задач;</li> <li>– ИС для решения частично структурированных или неструктурированных задач;</li> <li>– ИС моделирования;</li> <li>– экспертные ИС</li> </ul>
По форме собственности [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>– государственные;</li> <li>– негосударственные</li> </ul>

Однозначной классификации информационных систем не существует. Одна и та же информационная система может быть отнесена к различным классам в зависимости от выбранного признака.

На внутреннем водном транспорте внедряются инфокоммуникационные системы следующего типа: корпоративная речная информационная служба (КРИС); речная информационная система (РИС) и автоматизированная система управления движением судов (АСУ ДС).

Обеспечение безопасности судоходства, мониторинг и управление транспортным процессом на внутренних водных путях (ВВП) ведется с помощью береговой инфраструктуры иерархической триады КРИС-РИС-АСУДС.

Анализ литературы показал, что РИС активно внедряют в Российской Федерации, Украине и Европейском союзе (в Нидерландах, Германии, Бельгии, Чехии, Словакии, Румынии, Венгрии, Болгарии).

В 2012 году создан и введен в эксплуатацию веб-портал РИС по Волго-Балтийскому водному пути в России (ФБУ «Администрация «Волго-Балт»). В Санкт-Петербурге открыт центр управления движением судов на реке Неве с использованием АИС и системы радарного контроля в п. Отрадное на Неве.

В Украине веб-портал Речной информационной службы (РИС) внутренних водных путей предназначен для обеспечения пользователей оперативной и справочной информацией: об условиях плавания на водном пути; о движении и дислокации транспортного и технического флота; о состоянии гидротехнических сооружений и водных путей; о грузопотоках и судопотоках на участках водного пути. Он предназначен для использования в Государственном предприятии «Дельта–Лоцман».

Голландский портал РИС содержит информацию о голландском фарватере, водных путях (размеры водных путей и шлюзов, время работы этих объектов). Информация о водных путях охватывает не только Нидерланды, но и также Германию, Бельгию и Францию.

В Бельгии открыт вебсайт, где можно получить извещения судоводителям, уровни воды и различные статистические данные.

В Германии созданы электронные навигационные карты Рейна и водного пути Майн-Дунай; модернизирована существующая система электронных извещений судоводителям (проект ELWIS).

Развитие информационных и коммуникационных технологий привело к развитию интеллектуальных информационных систем (ИИС). Интеллектуальная информационная система – это взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, имеющая возможность хранения, обработки и выдачи информации, а также самостоятельной настройки своих пара-

метров в зависимости от состояния внешней среды (исходных данных) и специфики решаемой задачи [2].

Интеллектуальные информационные системы являются естественным результатом развития обычных информационных систем, сосредоточив в себе наиболее наукоемкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для принятия решений, но и самих процессов выработки вариантов решений, опирающихся на полученные информационной системой данные [2].

В транспортной отрасли (преимущественно в наземном транспорте) активно развиваются интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Существуют следующие определения ИТС (табл. 3).

Таблица 3

Официальные определения «Интеллектуальные транспортные системы»

Источник	Описание
Директива Еврокомиссии 2010/40/EU от 7 июля 2010 года	системы, в которых применяются информационные и коммуникационные технологии в области автомобильного транспорта, в том числе в инфраструктуре, на транспортных средствах, а также в дорожно-транспортном регулировании, управлении мобильностью, и при взаимодействии всех видов транспорта
ECE/TRANS/2016/10 Европейская экономическая комиссия. Комитет по внутреннему транспорту	системные изменения, направленные на предоставление различных инновационных услуг для различных видов транспорта; достижение устойчивой мобильности через повышение эффективности, безопасности и экологичности транспорта.
Постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 85 от 4 августа 2015 года	это подсистема транспорта для управления дорожным движением и осуществлением транспортной деятельности, основанная на применении информационных и коммуникационных технологий
Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 2531–2018 «Перевозки пассажиров. Термины и определения»	совокупность технических средств и программного обеспечения с информационно-интеллектуальным технологическим управлением объектами транспортной деятельности

ИТС пока еще не получили широкого распространения в речном транспорте. Актуальной задачей является создание единого информационного пространства, объединяющего речные транспортные средства, береговое

оборудование, диспетчерские залы и центры организации движения по всей стране.

Конечной целью внедрения ИТС является создание надежных и эффективных транспортно-логистических цепочек, глобальных навигационных систем мониторинга и автоматизированных систем учета товарно-сырьевых потоков.

### Литература

1. Об информации, информатизации и защите информации: Закон Респ. Беларусь от 10 ноября 2008 № 455-3: с изм. и доп.

2. Козлов, А. Н. Интеллектуальные информационные системы: учебник / А. Н. Козлов; Мин-во с-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 278 с.

УДК 626.86:631.442

### Из опыта исследований осушительной способности дренажа на тяжелых почвах

Митрахович А. И.<sup>1</sup>, Казьмирук И. Ч.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Институт мелиорации»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье проанализированы причины ухудшения работоспособности дренажа на слабопроницаемых почвах, а также признаки неудовлетворительной работы дренажа и факторы их обуславливающие. Установлены наиболее существенные мероприятия и конструктивные решения дренажных систем, повышающих эффективность его работы в сложных природных условиях.*

Актуальной задачей мелиоративной отрасли республики во все времена являлось повышение эффективности действия мелиоративных систем по регулированию водного режима почв. В первую очередь это касается систем горизонтального дренажа, которым осушено в Беларуси более 2 млн га переувлажненных земель. При этом, если осушение переувлажненных легких почвогрунтов не является проблемой, то мелиорация тяжелых – тема постоянных дискуссий и споров.

Почвы с низкой водопроницаемостью формируются на суглинистых и глинистых почвообразующих породах – моренных, покровных лессовидных, озерно-ледниковых и пермских отложениях. Формирование таких почв происходит под влиянием процессов подзоло- и глееобразования.

Коэффициенты фильтрации на них обычно не превышают 0,005–0,1 м/сут., наблюдается застаивание гравитационной влаги, которая затрудняет или исключает любые сельскохозяйственные работы. Чаще всего такие почвы имеют атмосферное водное питание, где переувлажнение поверхности и корнеобитаемого слоя происходит за счет скопления поверхностной воды при весеннем снеготаянии, летних и осенних затяжных дождях [1].

Исследованиями и опытами многих ученых доказано, что при осушении слабопроницаемых грунтов горизонтальным дренажем вода поступает в дрены преимущественно по контакту пахотного и подпахотного слоев через дренажную засыпку [2, с. 24–25].

«Сток через подпахотные слои в сравнении со стоком по пахотному горизонту незначителен (менее 30 %) ...» [3] и водный режим корнеобитаемого слоя зависит от водопроницаемости дренажной засыпки. Поэтому, с точки зрения осушительной способности дренажа, весьма важна высокая водопроницаемость траншейной засыпки.

Эффективность работы дренажной системы зависит от многих факторов. В течение длительного времени во многих странах мира, в том числе и в нашей, ведутся работы по совершенствованию дренажных систем на тяжелых слабопроницаемых почвах для повышения эффективности их действия. Достижение этой цели сводится к разработке конструкций систем дренажа, обеспечивающих необходимую интенсивность осушения и высокую их надежность, а также улучшению водно-физических свойств почвогрунтов.

Основной причиной неудовлетворительного действия дренажа на тяжелых почвогрунтах является низкая водопроницаемость подпахотного горизонта и дренажной засыпки. Установлено, что в 50 случаях из 100 коэффициент фильтрации дренажной засыпки менее 0,2 м/сут, при этом максимальный модуль стока не превышает 0,3 л/с с га. В связи с тем, что более 70 % избыточной воды поступает в дренаж через дренажную траншею, то для обеспечения надежной гидравлической связи верхнего водопроницаемого слоя с дренажной трубой важна засыпка траншеи хорошо фильтрующим некольматируемым материалом.

В результате проведенных СевНИИГиМ экспериментов на опытных участках с различными вариантами конструкций дренажа было установлено [4]:

- поглотительные колонки из крупнопористых материалов на систематическом дренаже повышают дренажный сток в 1,2 раза осенью и до 2,8 раза весной и зимой;
- двухъярусный дренаж отводит в среднем в 3,8 раза больше воды, чем систематический с междренним расстоянием 10 м и объемным фильтром

из песчано-гравийной смеси слоем 0,2 м при наличии мерзлоты двухъярусный дренаж отводит в 12 раз больше воды, чем на контрольном варианте.

По данным К. Алеханда [5] при строительстве дренажа на почвах тяжелого гранулометрического состава для присыпки дрен используется отвал грунта траншеи, где гумусовая почва перемешивается с глиной. При экскавации мокрого грунта создается смесь, представляющая собой водонепроницаемый, а не фильтрующий материал.

Не оправдала себя обсыпка дрен из фрезерного торфа, хотя в первые 2 года эксплуатации она обеспечивала в 1,7 раза более высокие модули дренажного стока по сравнению с присыпкой из пахотного слоя. Однако, после 17 лет работы разложившийся фрезерный торф представлял собой слабодопроницаемую студенистую массу.

В Эстонии [6] исследования осушительной способности дренажа на тяжелых почвах, в подпахотном слое этих почв содержится 75–85 % физической глины с  $K_f = 0,008$  м/сут, на глубине 0,3–0,5 м показали, что закрытый дренаж в этих условиях работает в режиме поверхностного осушения. Переформировать поверхностный сток во внутрпочвенный при помощи глубокого дренажа на глинистых почвах практически не удалось. Средняя глубина дрен составляла 0,9–1,2 м с расстоянием между ними 10–12 м. Дрены присыпались гумусовым горизонтом, слоем 15 см. Траншейная засыпка состояла из вынутаго грунта, содержащего 75–78 % глины. При сумме осадков за три месяца порядка 465 мм большая часть дренажа в 1978–1981 годах оказалась малоэффективной, повсеместно наблюдалось недоосушение: засыпка и подпахотный слой из-за переувлажнения и давления тяжелой уборочной техники сильно переуплотнились. Анализируя фильтрационную способность элементов дренажа было отмечено, что пахотный слой тяжелых почв является составной его частью, поэтому для хорошей осушительной способности дренажа важна его высокая водопроницаемость.

### Литература

1. Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель центра нечерноземной зоны России и Беларуси: монография / Под общ. ред. Ю. А. Можайского, А. П. Лихацевича. – Рязань, 2005. – 582 с.
2. Юрченко, И. Ф. Об эффективности защиты стыков дренажных труб стеклохолстом / И. Ф. Юрченко // Гидротехника и мелиорация. – 1973. – № 6. – С. 24–25.

3. Аверьянов, С. Ф. Приближенная оценка фильтрации в зоне «капиллярной» каймы / С. Ф. Аверьянов. – Доклады АН СССР. – 1949. – Т. 69, вып. 3. – С. 309–312.

4. Штыков, В. И. Мероприятия по повышению экологической безопасности осушительных систем / В. И. Штыков // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 1. – С. 8–11.

5. Алеканд, К. Ф. О методике оценки интенсивности осушения и определения причин неудовлетворительного действия дренажа / К. Ф. Алеканд // Вопросы мелиорации и водного хозяйства: сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад. – Тарту, 1976. – С. 23–31.

6. Томсон, Х. Ю. Осушительная способность дренажа на глинистых почвах Эстонии / Х. Ю. Томсон // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству. – 1991. – № 10. – С. 37–39.

УДК 631.67

### **Фильтрационно-гидравлический расчет малоуклонных дрен при подпочвенном увлажнении**

Селезнев В. И., Корбут О. Б.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Дается характеристика осушительно-увлажнительных систем при подпочвенном увлажнении, анализируются методы их расчета, предлагаются формулы для расчета длин малоуклонных дрен. Обосновывается необходимость применять дренажи переменного по длине сечения, приводится методика совместного фильтрационно-гидравлического расчета такого дренажа.*

Конструкции осушительно-увлажнительных систем с подпочвенным увлажнением обладают рядом существенных преимуществ: они дешевы, требуют меньших затрат энергии и дефицитных материалов, задерживают вынос удобрений дренажными водами, обеспечивают поддержание комковатой структуры почвы и не вызывают ее эрозию, исключают повреждение посевов дождевальными установками. В большинстве построенных осушительно-увлажнительных систем вода при шлюзовании подается в устье коллекторов (дрен) при закрытых подпорных сооружениях на каналах (рис., б, в), что не обеспечивает равномерность увлажнения по длине дрен из-за движения воды против уклона.

Новые конструкции систем (рис., а, г, д, е) предполагают использование дрен с малым уклоном, что актуально для равнинных территорий. Эф-

фektivность мелиоративных систем с малоуклонным дренажом исследовалась на опытно-производственных участках «Хвоецкое» (рис., а, з, д, е) Лунинецкого района площадью 400 га, «Озерцы» (рис., в, д) Слуцкого района площадью 50 га, «Великое Село» Молодечненского района (рис., б) площадью 80 га. Вода для увлажнения поступает из открытых каналов-увлажнителей 3 в дрены 1 (рис., а) или в коллекторы-увлажнители 2 (рис., з, д, е) при закрытых подпорных сооружениях 5 на этих каналах и открытых колодцах-регуляторах 4, что вызывает подъем грунтовых вод на всей площади до проектной нормы осушения вегетационного периода.

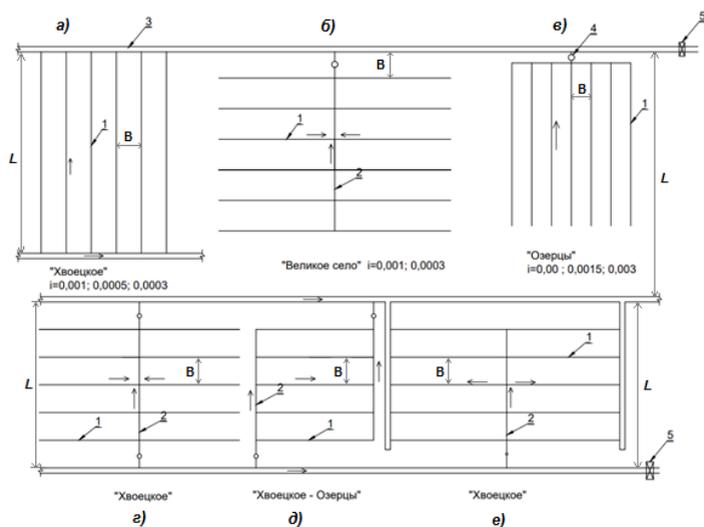


Рис. Схемы увлажнительных систем опытно-производственных участков:  
а, з, д, е – «Хвоецкое» Лунинецкого района; б – «Великое Село» Молодечненского района; в, д – «Озерцы» Слуцкого районов

При расчете дренажа с нормативным уклоном ( $i \geq 0,003$ ) сначала вычисляют расстояния между дренами в режиме осушения и увлажнения, а затем рассчитывают диаметр дрен (коллекторов) по формуле Шези в безнапорном режиме, т. е. фильтрационный расчет проводят независимо от гидравлического расчета, состоящего в определении длины и диаметра дрен при известном расстоянии между дренами. Для малоуклонного ( $i < 0,001$ ) дренажа в осушительно-увлажнительных системах (для условий белорусского Полесья), работающего в напорном режиме, необходимо

проводить совместный фильтрационно-гидравлический расчет в следующем порядке:

- на плане участка размещают открытые каналы;
- выбирают конструкцию малоуклонного дренажа;
- устанавливают необходимость учета действия проводящей сети;
- определяют расстояние между дренами при работе как в режиме осушения, так и в режиме увлажнения;
- вычисляют длину дрен, задаваясь их диаметром, или при заданной длине дрен вычисляют их диаметр;
- наносят регулирующие малоуклонные дренажи на план участка;
- рассчитывают коллекторы по формуле Шеши.

Для однородных грунтов разработаны и широко применяются формулы Костякова А. Н., Аверьянова С. Ф., Ведерникова В. В. и др. В условиях Полесья фильтрационные расчеты для определения расстояний между дренами должны проводиться для схем двухслойных грунтов, где первый слой – маломощный торф (глубина до 0,6 м), ниже – песчаные грунты с коэффициентом фильтрации 3 м/сут и более.

Для неоднородно-слоистого грунта расстояние между дренами-увлажнителями при неустановившемся режиме грунтовых вод можно определить по формуле Ивицкого А. И., учитывающей потери напора по длине:

$$B = 2 \cdot \sqrt{\frac{2(h_0 - h_c) \cdot tT}{\gamma \cdot (u - H_p) + P_0 - \frac{8(h_{ок} - h_k) \cdot tT}{L(L + 8\Phi_k)}} + 4\Phi^2 - 4\Phi}, \quad (1)$$

где  $h_c$  и  $h_k$  – средние за расчетный период времени напор между дренами и превышение УГВ над дном дрен и каналов, м;  $h_0$  и  $h_{ок}$  – средние превышения пьезометрического уровня воды у дрены над ее дном и глубина воды в канале, м;  $L$  – расстояние между каналами, м;  $t$  – время, в течение которого требуется повысить УГВ на средние полосы между дренами от первоначального значения  $u$  до заданного  $H$ , сут;  $T$  – гидравлическая проводимость, м<sup>2</sup>/сут;  $\gamma$  – коэффициент недостатка увлажнения;  $\Phi$  – фильтрационное сопротивление, м;  $P_0$  – разность между осадками и испарением за расчетный период, м.

Практический интерес представляет определение длины малоуклонных дрен, которая с учетом действия проводящей сети получена Бузиным В. Г. на основе формулы (1):

$$L_d = \sqrt[5]{\frac{3h_l \cdot K^2 (l \cdot \Phi + L_d \cdot \Phi_k)^2}{(2\Phi_k \cdot \varepsilon \cdot l)^2}}, \quad (2)$$

без учета действия проводящей сети

$$L_d = \sqrt[3]{\frac{3h_l \cdot K^2}{(2 \cdot \varepsilon \cdot l)^2}}. \quad (3)$$

Упрощенную зависимость для безуклонных и малоуклонных дрен предложил Скрипник О. В.:

$$L_d = \left[ \frac{\Delta h \cdot (1+m)}{m} \cdot \left( \frac{10^7 \omega \cdot a}{qB} \right)^{1/m} \right]^{1+m}. \quad (4)$$

Указанные выше формулы пригодны для определения длины дрен постоянного диаметра, однако экономичнее менять диаметр трубок по мере изменения расхода воды. Расчетные зависимости для вычисления длины малоуклонных дрен с переменным диаметром (6), (7) выведены из дифференциального уравнения (5), описывающего Петровым Г. А. движение воды в дренах с переменным по пути присоединением или расходом

$$-\frac{dh}{dx} = \frac{2\alpha_0 Q}{qw^2} \cdot \frac{dQ}{dx} + i_f. \quad (5)$$

Авторами предлагаются зависимости для режима увлажнения

$$L_d = \sqrt[3]{\frac{3h_l k^2}{q^2 - \frac{3Q_0 q}{L_d} + \frac{3Q_0^2}{L_d^2}}} \quad (6)$$

и осушения

$$L_d = \sqrt[3]{\frac{3h_l k^2}{q^2 + \frac{3Q_0 q}{L_d} + \frac{3Q_0^2}{L_d^2}}}. \quad (7)$$

Для оценки приведенных зависимостей в качестве примера произведен сравнительный анализ расстояний между дренами для условий опытного участка со следующими характеристиками: почва мелиорируемого участка двухслойная, верхний слой мощностью 0,5 м – торф с коэффициентом фильтрации 2 м/сут, нижний слой мощностью 17,5 м – песок с коэффициентом фильтрации от 1 до 8 м/сут; дренаи гончарные с глубиной заложения 1,2 м, не сквозные; глубина каналов 1,7 м, ширина по дну 0,6 м, заложение откосов 1:2; расстояние между каналами 500 м, глубина воды в канале 0,4 м; потери напора по длине дрены составляют 0,15 м; интенсивность питания грунтовых вод 0,006 м/сут. Требуется понизить уровень грунтовых вод на 50 см за 10 суток. Фильтрационно-гидравлический расчет выполнен по формулам (2)–(4) и (7).

Таблица

Сравнение длин малоуклонных дрен

Исходные данные			Длина дрен, м			
коэффициент фильтрации второго слоя $K_2$ , м/сут	расстояние между дренами $B$ , м	диаметр дрен $D$ , см	по Бuzинному В. Г.		по Скрипнику О. В.	при переменном диаметре
			ф-ла (2)	ф-ла (3)	ф-ла (4)	
1,0	34	5		143	167	
1,0	34	7,5		300	306	238
1,0	34	10		498	616	108
						$\Sigma l = 346$
2,0	62	7,5		200	208	159
2,0	62	10		330	418	106
2,0	62	12,5		496	572	$\Sigma l = 265$
3,0	84/98	7,5	208	164	171	130
3,0	84/98	10	306	270	344	88
3,0	84/98	12,5	430	403	471	$\Sigma l = 218$
4,0	104/124	7,5	192	142	149	113
4,0	104/124	10	286	234	300	81
4,0	104/124	12,5	394	350	411	$\Sigma l = 194$
6,0	135/180	7,5	180	119	126	95
6,0	135/180	10	258	197	253	78
6,0	135/180	12,5	354	294	348	$\Sigma l = 173$
8,0	160/264	7,5	146	106	113	84
8,0	160/264	10	248	176	227	71
8,0	160/264	12,5	332	262	312	$\Sigma l = 155$

Из табл. видно, что формулы Скрипника О. В. и Бuzинного В. Г. дают хорошее совпадение, но не учитывают транзитный расход, тогда как суммарная длина дрены, обеспечивающей определенную пропускную способ-

ность, при переменном ее диаметре значительно меньше, чем при постоянном.

### Литература

1. Ивицкий, А. И. Проектирование и расчеты регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах / А. И. Ивицкий, Г. И. Афанасик, А. И. Михальцевич. – Минск: Ураджай, 1979. – 80 с.
2. Ивицкий, А.И. Основы проектирования осушительных и осушительно-увлажнительных систем / А. И. Ивицкий. – Минск: Наука и техника, 1988. – 311 с.

УДК 624.827

### **Оценка прочности и устойчивости новых конструкций креплений откосов канала при неустановившейся фильтрации**

Файзиев Х., Жураев К. Т., Рахимов Ш. А.  
Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республики Узбекистан

*В статье рассматриваются новые конструктивные решения крепления откоса, работающих в условиях изменения уровня грунтовых вод. Приведена методика расчета определения количества фильтрационных стаканов, обеспечивающих необходимую прочность облицовки и устойчивость откосов канала.*

В практике эксплуатации гидротехнических сооружений оросительных и осушительных систем наблюдались деформации оснований, а также имелись местные нарушения устойчивости откосов облицованных и необлицованных каналов. На основе анализа выявлено, что все нарушения связаны с неустойчивостью креплений, неэффективной дренажной и противофильтрационной защитой. Обычно трассы каналов проходят в выемках различной глубины, в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях. Первоначально уровень грунтовых вод в этих каналах находится ниже отметки каналов. Поэтому основной задачей на первом этапе эксплуатации сооружений является исключение фильтрационных потерь из канала. В дальнейшем за счет инфильтрации из вышерасположенных каналов, водохранилищ и орошения прилегающих территорий происходит питание грунтовых вод и возможен подъем уровня грунтовых вод выше отметки канала. Очевидно, что такое положение может привести к неблагоприятным последствиям, особенно при быстром снижении уровня воды в канале. При этом на облицовку должны будут

действовать значительное гидродинамическое давление грунтовых вод, которое может привести к выпору отдельных плит и нарушению целостности облицовки канала. Следовательно, изучение вопроса защиты облицовки каналов от воздействий указанных фильтрационных сил имеет большое практическое значение.

Наиболее надежными креплениями откосов каналов в аналогичных условиях являются те, которые при нормальном режиме работы канала, когда отсутствует подпор со стороны грунтовых вод, исключают фильтрации из канала, т. е. фильтрационные потери орошаемой воды, а при наличии подпора и при быстром снижении уровня воды в канале облицовка должна обеспечивать свободный выход грунтового потока в русло канала или отвод его в другую сторону. Благодаря этому исключается возникновение значительных гидродинамических давлений, и разрушение креплений откосов канала.

С целью обеспечения надежности работы крепления на восприятие основных нагрузок, действующих на облицовку при их наихудшем сочетании, принимают различные конструкции фильтрационных стаканов.

Нами разработана новая конструкция облицовок с фильтрационными стаканами, а также получен патент Республики Узбекистан [1]. Данная методика позволяет обеспечить организованный выход фильтрационных вод при сработке уровня воды в верхнем бьефе с заданными расходами из-под бетонной облицовки на ее поверхность и снизить взвешивающее давление воды на саму облицовку до допустимых значений, исключить суффозии в грунтах. Эти условия должны быть обеспечены достаточными размерами стаканов и их количеством на рассматриваемом участке. Исключение суффозии материала тела откоса обеспечивается правильным подбором материала фильтров стакана.

На рисунке изображена схема крепления откоса, разрез с фильтрационным стаканом (патент РУз № 332), полость которого перекрыта водонепроницаемой пробкой, находящейся в перфорированной конусообразной трубе оголовка в крайнем нижнем положении; на рис., б то же с открытой полостью при поднятии пробки до упора в фильтрующую ткань и перфорированную металлическую крышку в фильтрационном оголовке стакана.

Конструкция крепления представляет собой облицовку из бетонных плит, уложенных на песчаный грунт откоса, с зачеканенными в нее фильтрационными стаканами.

Конструкция фильтрационного стакана состоит из двух основных частей: трубчатого фильтра, заходящего в грунт, и непроницаемого оголовка. Трубчатый фильтр представляет собой полиэтиленовую трубу с перфорационными отверстиями в нижней ее части, обшитую фильтрующим нетканым синтетическим материалом типа дорнит или стеклотканью, на

верхнюю часть надевается оголовка, внутрь которого вставляется полиэтиленовая труба конусообразной формы, образуя при этом межтрубное пространство. В полиэтиленовую конусообразную трубу оголовка вставляется песчано-битумная (асфальт) пробка, обернутая пергаментом, перемещаемая при перемене направления действующего давления по каналу полиэтиленовой трубы оголовка до упора сверху выступами в перфорированную металлическую крышку, имеющую снизу прокладку из фильтрующего материала (типа дорнит или стеклоткани) и прикрепляемую к оголовку болтами.

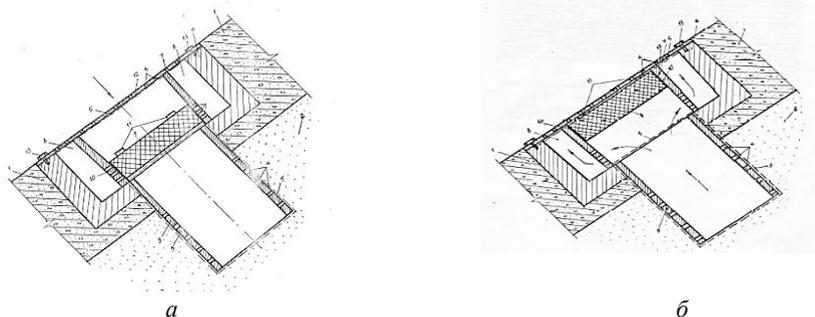


Рис. Крепления откоса с фильтрационным стаканом:

- а* – закрытое положения стакана; *б* – открытое положения стакана; 1 – бетонная монолитная плита; 2 – песчаный грунт откоса; 3 – полиэтиленовая труба; 4 – перфорационные отверстия; 5 – фильтр из синтетического материала; 6 – оголовка; 7 – полиэтиленовая труба конусообразной форме; 8 – межтрубное пространство; 9 – песчано-битумная пробка; 10 – пергаминовая прокладка; 11 – упорный выступ; 12 – металлическая крышка; 13 – болт

Конструкция крепления откоса работает следующим образом. В начальный период эксплуатации канала с максимальным уровнем его наполнения и при отсутствии грунтовых вод под облицовкой она должна быть водонепроницаемой и исключать потери воды на фильтрацию из канала. Это достигается тем, что фильтрационные отверстия полиэтиленовой трубы стаканов сверху в оголовке герметически закрыты непроницаемой асфальтовой пробкой, имеющей пергаминовую прокладку. В последующий период эксплуатации канала, связанный с подъемом уровня грунтовых вод до наивысшего его стояния, когда максимальный фильтрационный напор, взвешивающий облицовку, достигается при быстрой сработке уровня и полного отсутствия воды в канале ( $H = 0$ ), крепление должно обеспечить общую и фильтрационную устойчивость грунтового откоса.

Эта цель достигается тем, что под действием фильтрационного напора гидроизоляционная пробка с пергаминовой прокладкой, снижающей трение, выходит из нижней части полиэтиленовой трубы и автоматически перемещается в вертикальном направлении в конусообразном оголовке до упора в перфорированную крышку, открывая при этом отверстия в нижней части трубы, и грунтовая вода поступает по ним в межтрубное пространство, затем через перфорированную крышку в канал, снижая тем самым фильтрационное давление (рис., б). Образуя между поверхностью оголовка и пробки зазоры, и грунтовая вода быстро выходит из-под плит, через них в канал, снижая фильтрационное давление (рис., б)

В случае, когда гидростатическое давления в канале вновь окажется выше давления грунтового потока, пробка под действием гидростатического давления воды и собственного веса опускается до крайнего нижнего положения, перекрывая отверстия в полиэтиленовой конусообразной трубе, и перекрывает полость трубы стакана, предотвращая фильтрацию воды из канала.

Фильтрационная прочность откоса, исключение заиливания стаканов и предотвращение механической суффозии обеспечиваются синтетическими фильтрами. Свободное перемещение пробки вверх-вниз обеспечивается за счет пергаминовой прокладки и придания внутренней поверхности полиэтиленовой трубы оголовка конусообразной формы.

Количество фильтрационных стаканов на участке канала устанавливается исходя из обеспечения устойчивости плит облицовки. В поперечнике канала устанавливается две группы стаканов – на левом и правом его бортах с шагом по высоте  $h$ . Шаг установки стаканов по высоте должен быть не больше допустимой разницы уровней воды под облицовкой и канала  $h$ , которая устанавливается из условия устойчивости плит при равенстве моментов всех сил относительно верхнего ребра и соблюдения условия предельного равновесия сил согласно зависимости [2]:

$$h^2 + 3(H_1 - l \sin \alpha)h^2 + 3H_1(H_1 - 2l \sin \alpha)h + [2(R_1 + R_2) + G \cos \alpha]l \sin^2 \alpha = 0, \quad (1)$$

где  $H_1$  – уровень воды в канале над нижнем концом плиты;  $G$  – вес плиты;  $R_1$  и  $R_2$  – равнодействующие элементарных сил сопротивления в межплитных швах (т. к.  $R = R_2$  и  $R_3 = R_4$  то в (1) суммарная величина этих сил учитывается выражением  $2(R_1 + R_2)$ , она принимается равной 10 % от веса плиты);  $l$  – длина плиты поперек канала;  $f$  – коэффициент трения плиты по грунту (пленке);  $\alpha$  – угол наклона откоса (плиты) над горизонтом.

Количество устанавливаемых стаканов  $n$  в одном поперечнике канала в левом и правом откосах вычисляется по формуле

$$n = \frac{2(H_c - h_0)}{h}, \quad (2)$$

где  $H_c$  – максимальная глубина сработки уровня воды в канале;  $h_0$  – высота установки первого стакана в откосе над уровнем дна канала, принимаемая в пределах допустимой величины  $h$ , вычисленной по (1).

Расстояние между поперечниками ближайших групп стаканов устанавливаются из условия непревышения над допусковой величиной взвешивающего фильтрационного напора  $h_c$  в центре

$$h_c = h. \quad (3)$$

Фильтрационный напор между поперечниками стаканов вычисляют по зависимости [3]:

$$h_c = \sqrt{H^2 - 0,73 \frac{Q_c}{k} \lg \frac{R}{0,5\sqrt{a^2 + b^2}}}, \quad (4)$$

где  $H$  – мощность водоносного слоя песчаного массива над уровнем дна канала ( $H \approx H_c$ );  $R$  – радиус влияния группы стаканов, принимаемый для песчаного массива  $R \approx 200$  м;  $K$  – коэффициент фильтрации песков;  $Q_c$  – дебит групп стаканов ( $Q_c = \sum Q_p$ );  $a$  – расстояние между группами стаканов в одном поперечнике.

Фильтрационный расход через фильтрационный стакан:

а) с плоским нижним торцом вычисляют по зависимости [3]:

$$Q = 4kr_0(H_c - h'), \quad (5)$$

б) с перфорированным в нижней части фильтром вычисляется по зависимости

$$Q = 2\pi kr_0(H_c - h'), \quad (6)$$

где  $r_0$  – радиус стакана;  $H_c$  – напор воды на облицовку в точке установки стакана;  $h'$  – уровень воды в стакане.

Таким образом, исследованиям подтверждено, что предлагаемая конструкция крепления откосов канала позволяет исключить выпор плит избыточным гидродинамическим давлением при высоком стоянии грунтовых вод и резком сбросе воды в канале, обеспечить надежность и долговечность облицовки в период эксплуатации, уменьшает фильтрационные потери из канала при любом стоянии уровня грунтовых вод.

### **Литература**

1. Крепление откосов канала. Патент Республики Узбекистан № 332 опубликован в бюл. № 2, 1993 г.
2. Тугай, В. М. Влияние колебаний уровня воды в каналах на устойчивость сборного железобетонного крепления / В. М. Тугай // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1983. – вып. 58. – С. 59–63.
3. Аравин, В. И. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. – М.-Л: Гослитиздат по строительству и архитектуре, 1955. – 292 с.

УДК 628.112

### **Конструктивные особенности скважин для забора воды из подземных источников**

Медведева Ю. А., Ивашечкин В. В., Кондратович А. Н.,  
Чиникайло А. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье авторами представлены типовые и усовершенствованные конструкции водозаборных скважин, применяемых в рыхлых водовмещающих породах.*

Скважины наиболее часто используются для нужд водоснабжения, гидротехнического строительства и мелиорации и являются более распространенными типами водозаборных сооружений.

Водозаборная скважина предусматривает соответствие основным требованиям: обеспечить заданное количество воды с качеством, соответствующим составу воды выбранного водоносного горизонта, быть надежной в эксплуатации и иметь возможность проведения ремонтных и восстановительных работ [1].

Скважина состоит из следующих основных конструктивных элементов: направляющая колонна, кондуктор, промежуточные колонны (технические

колонны обсадных труб), эксплуатационная колонна, цементная или иная защита и водопримемная часть (рис.).

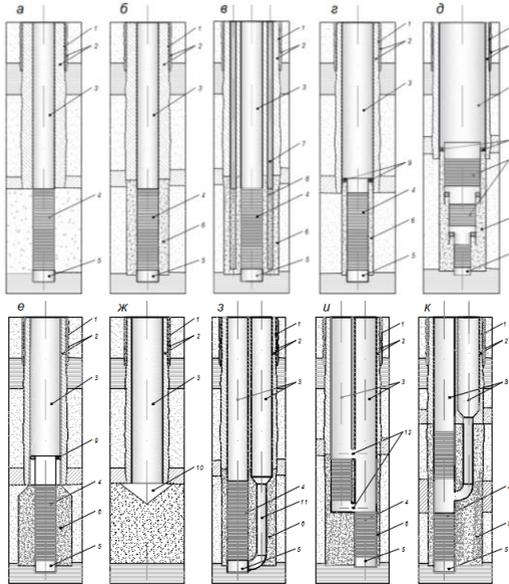


Рис. Конструкции скважин при каптаже воды из рыхлых водовмещающих пород:

1 – кондуктор; 2 – цементация; 3 – обсадная труба; 4 – фильтр; 5 – отстойник; 6 – гравийная обсыпка; 7 – циркуляционная трубка; 8 – перфорация; 9 – сальник; 10 – каверна; 11 – обводная труба; 12 – перемычка; а – одноколонная скважина в крупнообломочных породах с фильтром без гравийной обсыпки; б – в песчаных породах с фильтром и гравийной обсыпкой; в – с фильтром и трубчатой системой его циркуляционной регенерации; г – с фильтром, установленным в потай, и гравийной обсыпкой; д – с телескопическим фильтром, установленным в потай, и гравийной обсыпкой; е – с фильтром, установленным в потай, и гравийной обсыпкой уширенного контура; ж – бесфильтровая скважина на каверну в рыхлых породах; з – двухколонная однофильтровая скважина; и – двухколонная двухфильтровая скважина; к – двухколонная скважина с двухярусным фильтром

В неустойчивых рыхлых крупнообломочных породах гравийную обсыпку фильтров не применяют, и фильтр может быть смонтирован на эксплуатационной колонне, а изоляция вышележащих водоносных горизонтов выполнена в виде затрубной цементации (рис., а). В неустойчивых

рыхлых песчаных породах (песках) для увеличения удельного дебита скважину оборудуют фильтром с гравийной обсыпкой (рис., б) [2, 3]. Данные типовые конструкции скважин являются неремонтопригодными, так как фильтр скважины не извлечь. Поэтому требуется совершенствование конструкций скважин.

В неустойчивых рыхлых крупнообломочных породах гравийную обсыпку фильтров не применяют, и фильтр может быть смонтирован на эксплуатационной колонне, а изоляция вышележащих водоносных горизонтов выполнена в виде затрубной цементации (рис., а). В неустойчивых рыхлых песчаных породах (песках) для увеличения удельного дебита скважину оборудуют фильтром с гравийной обсыпкой (рис., б) [2, 3]. Данные типовые конструкции скважин являются неремонтопригодными, так как фильтр скважины не извлечь. Поэтому требуется совершенствование конструкций скважин.

Для периодической декольматации фильтра скважины в его гравийной обсыпке может быть установлена трубчатая система циркуляционной регенерации, состоящая из трех или четырех трубок для подачи промывной воды или реагента, открытые концы которых выведены на устье скважины, а нижние заглушенные – закреплены снаружи отстойника (рис., в) [4]. Трубки выполняют перфорированными в области установки фильтра. По сравнению с известными типовыми конструкциями такая скважина обладает преимуществами в части повышения эффективности проведения текущих ремонтов и реконструкций.

В конструкции скважины, оборудованной фильтром с гравийной обсыпкой, установленном в потай, заложена возможность подъема фильтра на поверхность и замены при выходе его из строя (рис., з) [5]. Но и она в большинстве случаев является «неизвлекаемой». В скважине с относительно длинным фильтром, установленным в потай, и гравийной обсыпкой, фильтр может быть выполнен телескопическим, состоящим из нескольких отдельных секций, с уменьшающимися к забою скважины диаметрами (рис., д) [6]. Это позволяет извлекать фильтр при выходе из строя по частям, начиная с нижней секции, чем достигается эффект при проведении капитального ремонта скважин. Для повышения удельного дебита скважины с фильтром, установленным в потай, гравийную обсыпку выполняют уширенного контура, вскрывая водоносный горизонт с помощью расширителя (рис., е) [5].

Водоприемная часть бесфильтровой скважины в пылеватых водоносных песках, имеющих прочную мощную кровлю, представляет собой воронку (каверну) с большой водосборной площадью (рис., ж) [7]. Область применения таких скважин небольшая, так как при эксплуатации есть вероятность их временного пескования в период пуска глубинных насосов, а

также под влиянием сработки запасов подземных вод и выноса значительных объемов пород при размыве каверны могут происходить локальные просадки поверхности земли.

Для интенсификации водоотбора, когда требуется получить максимальную производительность в заданной точке водоносного пласта, может устраиваться скважина двухколонной однофилтровой конструкции (рис., з) [8], которая обеспечивает более равномерный приток воды к фильтру при одновременной работе двумя одинаковыми насосными агрегатами. При капитальном ремонте такой скважины невозможно извлечь и заменить фильтр. В случае значительного снижения ее производительности такую скважину тампонируют и перебуривают.

При использовании на водозаборах мощных насосов, в типовых одноколонных скважинах происходит резкое снижение динамического уровня воды в стволе скважины, что приводит к образованию кольматирующих отложений в фильтрах за счет их аэрации, снижается удельный дебит скважины и сокращаются интервалы между регенерациями, а также увеличивается геометрический напор погружных насосов и увеличивается энергозатраты на подъем воды. В БНТУ разработана скважина двухколонной двухфилтровой конструкции, оборудованная фильтрами, расположенными в два яруса (рис., и) [9], которая обладает повышенной бесперебойностью подачи воды потребителю, характерной для рабочей и резервной скважин, при существенно более низкой по сравнению с ними строительной стоимости, имеет сниженные эксплуатационные затраты за счет покрытия графика водопотребления при работе двумя насосными агрегатами разной производительности.

Скважина двухколонной однофилтровой конструкции, оборудованная двухъярусным фильтром (рис., к), обеспечивает более равномерный приток воды к фильтру, как при одновременной работе двумя насосами, так и при откачке воды одним насосом из второй колонны скважины. Способна заменить две отдельные скважины: рабочую и резервную, так же, как и скважина двухколонной двухфилтровой конструкции (рис., и).

Выбор конструкции производится с учетом опыта сооружения и эксплуатации водозаборных скважин в районе размещения водозабора или в аналогичных условиях (сроки службы, сложности при эксплуатации, характер ремонтных работ и т. д.).

При выборе конструкции скважины определяющими факторами являются физико-механические свойства горных пород, слагающих геологический разрез; гидрогеологические условия; способ бурения (технические средства). Кроме этого, учитываются требования к эксплуатации скважины, требования к санитарной охране, а также возможность производства ремонтно-восстановительных работ при эксплуатации скважины.

## Литература

1. Плотников, Н. А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н. А. Плотников, В. С. Алексеев. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
2. Абрамов, С. К. Забор воды из подземного источника / С. К. Абрамов, В. С. Алексеев. – М.: Колос, 1980. – 239 с.
3. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
4. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении: пат. ВУ 17098 / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко. – Опубл. 30.04.2013.
5. Проектирование водозаборов подземных вод / А. И. Арцев [и др.]; под ред. Ф. М. Бочевера. – М.: Стройиздат, 1976. – 291 с.
6. Водозаборная скважина: пат. 028091 / В. В. Ивашечкин, М. П. Магарян. – Опубл. 31.10.2017.
7. Богомоллов, Г. В. Бесфильтровые водозаборные скважины в рыхлых породах (теория и практика устройства) / Г. В. Богомоллов, Р. А. Станкевич. – Минск: Наука и техника, 1975. – 152 с.
8. Водозаборная скважина: а.с. 1448002SU, МКИ Е 03В 3/18 / В. П. Ткаченко; Гидрологическая экспедиция Министерства мелиорации и водного хозяйства УССР. – № 4235664/29-33; заявл. 24.02.87; опубл. 30.12.88 (не публик).
9. Водозаборная скважина: пат. ВУ 23608 / В. В. Ивашечкин, Ю. А. Медведева. – Опубл. 30.12.2021.

УДК 624.15

### **Опытно-полевые исследования на участке строительства Пскемской ГЭС в Республики Узбекистан**

Ташходжаев А. У., Галиева Д. Н.  
Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье отражены результаты полевых исследований по определению показателей деформативных свойств грунтов, а также по определению коэффициента фильтрации крупнообломочных грунтов для отсыпки в упорную призму и галечниковые грунты для отсыпки в тело плотины перемычки.*

Многочисленные натурные и специальные опыты показывают о сложности механизма деформируемости крупнообломочных грунтов. Исследование деформируемых свойств крупнообломочных грунтов является го-

раздо сложнее по сравнению с исследованием прочностных характеристик грунтов. Деформативные свойства крупнообломочных грунтов связаны со многими факторами и параметрами грунта. Система определяющих параметров при исследовании деформативных характеристик практически та же, что и при исследовании прочности. В тоже время, опыты по изучению прочности и опыты на сжимаемость, это разные виды напряженного состояния. В вопросах прочности наибольшее значение имеет девиатор напряжения, а в компрессионных стабилметрических испытаниях – шаровой тензор, т. е. всестороннее гидростатическое обжатие.

В связи с проектированием и строительством высоких каменно-земляных плотин, получили широкое развитие всесторонние исследования физико-механических свойств крупнообломочных грунтов, в наброске в условиях, когда эти материалы будут находиться под большими нагрузками и испытывать сейсмические воздействия. Исследования проводились в лабораториях и полигонах Гидропроекта, ВОДГЕО, ВНИИГ в городе Ташкент.

Спротивляемость крупнообломочных пород сдвигу и деформируемости их определяются в лабораторных и полевых условиях теми же методами и на таких же принципах, какие используются при исследованиях глинистых и песчаных грунтов, только масштаб приборов увеличивается.

Несвязные грунты несмотря на их сходство по петрографическому составу, разнятся между собой по величине неоднородности смесей: содержанию в составе грунта максимальной фракции и содержанию мелкозема, поэтому в каждом конкретном случае возникает необходимость экспериментального определения характеристик: прочностных, деформативных и их уплотняемости.

Широкими исследованиями выполненными исследовательскими организациями, а также наблюдениями за укладкой каменных материалов в упорные призмы плотин при достаточно больших объемах и хорошо отработанных параметрах БВР, было установлено, что зерновые составы крупнообломочных грунтов довольно хорошо характеризуются средним состав. Учитывая опыт разработки подобных карьеров при строительстве Чарвакской, Тупалангской плотин, были выбраны граничные кривые с содержанием фракций менее 5 мм – 5–18 % и кривая № 1 ( $m = 25\%$ ) с повышенным содержанием мелкозема с постоянным коэффициентом неоднородности.

Деформационные опыты на опытной площадке строительства перемычки Пскемского гидроузла, проводились на отметке 1152,5 (зоны А; В и С) по методу статического нагружения на поверхность грунта жестким металлическим штампом размером 70×70 см. Определение сжимаемости камня проводились под нагрузкой 0–40 кг/см<sup>2</sup>. Нагрузка на грунт осу-

шествялась через металлический штамп ступенями по 10, 20, 30, 40 кгс/см<sup>2</sup>. На каждой ступени нагрузку выдерживали до стабилизации, далее увеличивали нагрузку до следующей ступени.

В состав установки для испытания грунта штампом входили:

- штамп размером 70×70 см;
- для создания и измерения нагрузки на штамп использовался гидравлический домкрат ДГ 200;
- анкерное устройство (для установок без грузовой платформы);
- устройство для измерения осадок штампа индикатор часового типа ИЧ-25.

Конструкция установки (рис.) обеспечивала возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01–0,1 МПа, центрированную передачу нагрузки на штамп, постоянство давления на каждой ступени нагружения. Отсчеты по прогибомерам на каждой ступени нагружения проводили при испытании крупнообломочных грунтов и песков через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин в течение второго получаса и далее через 30 мин до условной стабилизации деформации грунта. Все отсчеты заносились в полевой журнал. По данным испытаний построили график зависимости осадки штампа от давления ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.

Оборудование: штамп площадью 0,5 м<sup>2</sup>; гидравлический домкрат на 50–100 т, загрузочные и крепежные приспособления.

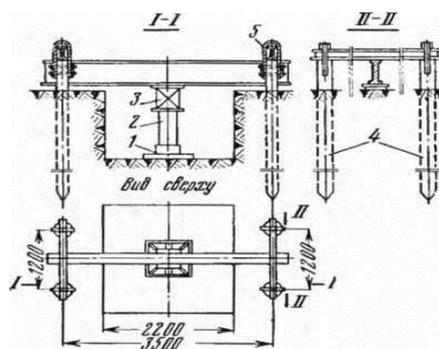


Рис. Схема установки для поверхностного испытания грунта штампом статической нагрузки гидравлическим домкратом:

1 – штамп; 2 – стойка; 3 – домкрат; 4 – анкерные связи; 5 – вкладыш

Следующую ступень нагрузки прикладывают тогда, когда процесс осадки от предыдущей ступени затухает. Осадку считают завершенной,

если ее приращение за 2 ч не превышает 0,2 мм (при точности приборов для измерения осадки 0,2 мм). Испытание проводят до достижения либо проектного давления на грунт, либо предельного давления, при котором наблюдается резкое увеличение осадки штампа в случае незначительного возрастания нагрузки (перегиб кривой на графике зависимости осадки от нагрузки). Затем штамп разгружают ступенями по 0,5–1,0 кгс/см<sup>2</sup> в зависимости от плотности грунта. После разгрузки каждой ступени в течение 1 ч регистрируют перемещение штампа, а снимают штамп спустя 3 ч после снятия последней ступени нагрузки.

Модуль сжимаемости грунта  $E_p$  кгс/см<sup>2</sup> вычисляют по формуле

$$E_p = 0,88 (1 - \nu^2) \frac{pB}{\eta k}, \quad (1)$$

где  $p$  – полная нагрузка на штамп, кгс/см<sup>2</sup>;  $B$  – сторона штампа, см;  $\eta k$  – конечная осадка, соответствующая нагрузке  $p$ , см;  $\nu$  – коэффициент Пуассона, равный для песков и супесей 0,3, для суглинков и глин в пластичном состоянии соответственно – 0,35 и 0,42, а для плотных – 0,20.

Расчетное значение  $E_p$  принимают равным среднему значению, полученному по результатам нескольких испытаний одного и того же слоя грунта.

Испытание грунта штампом проводили для определения модуля деформации  $E$  для крупнообломочных грунтов;

Результаты испытаний оформили в виде графиков зависимости осадки штампа от нагрузки (рис. 1–4). При испытании грунта в шурфе размеры шурфа определяли в зависимости от необходимости крепления его стен и глубины проходки. Минимальные размеры шурфа в плане – 1,5×1,5 м.

В состав установки для испытания грунта штампом входили:

- штамп;
- устройство для создания и измерения нагрузки на штамп;
- устройство для измерения осадок штампа;

Конструкция установки обеспечивала центрированную передачу нагрузки на штамп возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01–0,1 Мпа при постоянном давлении на каждой ступени нагружения.

Тип и площадь штампа выбрана согласно табл. 1. ГОСТ 20276-2012.

Нагружение штампа осуществляли домкратом ДГ200, которые предварительно были оттарированы.

Нагрузку измеряли с погрешностью не более 5 % ступени давления.

Прогибомеры для измерения осадки штампа были закреплены на реперной системе. Штамп был соединен с прогибомером нитью из стальной

проволоки диаметром 0,3–0,5 мм. Измерительная система обеспечивала измерение осадок с погрешностью не более 0,1 мм.

Таблица 1

Тип и площадь штампа

Грунты	Положение штампа относительно уровня подземных вод	Глубина испытания, м	Место проведения испытания	Штамп	
				Тип	Площадь, см <sup>2</sup>
Крупнообломочные	На уровне подземных вод и выше	По всей толщ	В котловане, шурфе, дудке	I	5000
Пески плотные и средней плотности				I	2500
Глины и суглинки с $I_L \leq 0,25$ ; супеси с $I_L \leq 0$				II	1000
Пески рыхлые; глины и суглинки с $I_L > 0,25$ ; супеси с $I_L > 0$ Органоминеральные и органические	На уровне подземных вод и выше	По всей толщ	В котловане, шурфе, дудке	I	5000
				II	1000
Просадочные при испытаниях с замачиванием	Выше уровня подземных вод	По всей толщ	В котловане, шурфе, дудке	I	5000
Крупнообломочные Пески плотные Глины и суглинки с $I_L \leq 0,5$ ; супеси с $I_L \leq 0$	На уровне подземных вод и выше	Ниже 6	В забое скважины	III	600
Пески Глинистые при любых значениях показателя текучести Органоминеральные и органические	На уровне подземных вод и выше	Ниже 6	В забое скважины	IV	600
	Ниже уровня подземных вод	По всей толщ	Ниже забоя скважины	IV	600
Глины и суглинки с $I_L > 0,5$ ; супеси с $I_L > 1$ Органоминеральные и органические	Выше и ниже уровня подземных вод	До 10	В массиве без бурения скважины	IV	600

Осадку штампа определяли, как среднеарифметическое значение показаний трех прогибомеров, фиксирующих осадку штампа в трех точках, расположенных под углом  $120^\circ$  от центра штампа.

Реперная система, на которой крепили прогибомеры, состояла из четырех свай, забитых попарно в грунт с противоположных сторон выработки на расстоянии 1,0–1,5 м от краев, и прикрепленных к ним параллельно металлических ригелей, на которых установили прогибомеры.

При испытаниях в шурфах штамп с плоской подошвой установили на дно выработки. Для достижения плотного контакта подошвы штампа с грунтом произвели не менее двух поворотов штампа вокруг его вертикальной оси, меняя направление поворота. После установки штампа проверили горизонтальность его положения. Поверхность грунта в пределах площади установки штампа была тщательно спланирована.

После установки штампа монтировали станцию подачи давления для нагружения штампа, анкерное устройство и измерительную систему.

Нагрузку на штамп увеличивали ступенями давлений  $\Delta p$ , указанными в табл. 2 – 4. ГОСТ 20276-2012.

Общее число ступеней давления после достижения давления, соответствующего вертикальному нормальному напряжению от собственного веса грунта  $\sigma_{zg,0}$  на отметке испытания, было не менее четырех.

В первую ступень давления был включен вес деталей установки, влияющих на нагрузку штампа.

Время выдержки каждой последующей ступени давления было не менее времени выдержки предыдущей.

Таблица 2

Ступени давлений  $\Delta p$  при различных плотностях сложения грунтов

Грунты	Коэффициент водонасыщения	Ступени давления $\Delta p$ , МПа, при плотности сложения грунтов			Время условной стабилизации деформации $t$ , ч
		Плотные	Средней плотности	Рыхлые	
Крупнообломочные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,1	0,1	0,5
Пески крупные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,05	0,025	0,5
Пески средней крупности	$S_r \leq 0,5$	0,1	0,05	0,025	0,5
	$0,5 < S_r < 1,0$	0,1	0,05	0,025	1,0
Пески мелкие и пылеватые	$S_r \leq 0,5$	0,05	0,025	0,01	1,0
	$0,5 < S_r \leq 1,0$	0,05	0,025	0,01	2,0

Таблица 3

Ступени давления  $\Delta p$  для различных коэффициентов пористости

Грунты	Ступени давления $\Delta p$ , МПа, при коэффициенте пористости				Время условной стабилизации деформации $t$ , ч
	$e \leq 0,5$	$0,5 < e \leq 0,8$	$0,8 < e \leq 1,1$	$e > 1,1^*$	
Глинистые с показателем текучести: $I_L \leq 0,25$	0,1	0,1	0,05	0,05	1
$0,25 < I_L \leq 0,75$	0,1	0,05	0,05	0,025	2
$0,75 < I_L \leq 1$	0,05	0,025	0,025	0,01	2
$I_L > 1$	0,05	0,025	0,01	0,01	3

\* При коэффициенте пористости  $e > 1,1$  время условной стабилизации увеличивается на 1 ч.

Таблица 4

Ступени давления  $\Delta p$  и время условной стабилизации деформации

Грунты	Ступени давления $\Delta p$ , МПа	Время условной стабилизации деформации $t$ , ч
Просадочные природной влажности	0,05	1
Просадочные после замачивания	0,025	2
Органоминеральные и органические	0,005–0,01	4

Каждую ступень давления выдерживали до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа).

Отсчеты по прогибомерам на каждой ступени нагружения производили через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин в течение второго получаса и далее через 30 мин до условной стабилизации деформации грунта;

Обработка результатов

По данным испытаний построили графики зависимости осадки штампа от давления  $S = f(p)$  (приложение Д).

На графике проводили осредняющую прямую методом наименьших квадратов.

За начальные значения  $p_0$  и  $S_0$  (первая точка, включаемая в осреднение) приняли давление, равное напряжению  $\sigma_{zg,0}$ , и соответствующую осадку;

за конечные значения  $p_n$  и  $S_n$  – значения  $p_i$  и  $S_i$  соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

Модуль деформации грунта  $E$ , МПа, вычисляли для линейного участка графика по формуле

$$E = (1 - \nu^2) K_p K_1 D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,27 для крупнообломочных грунтов; 0,30 – для песков и супесей; 0,35 – для суглинков; 0,42 – для глин;  $K_p$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа  $h/D$ ;  $h$  – глубина расположения штампа относительно поверхности грунта, см;  $D$  – диаметр штампа, см;  $K_1$  – коэффициент, принимаемый равным 0,79 для жесткого круглого штампа;  $\Delta p$  – приращение давления на штамп, МПа, равное  $p_n - p_0$ ;  $\Delta S$  – приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta p$ , см, определяемое по осредняющей прямой.



Рис. 1. График зависимости вертикальной нагрузки к осадке грунта упорной призмы НБ

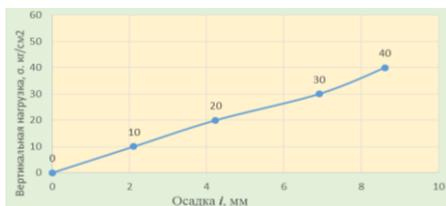


Рис. 2. График зависимости вертикальной нагрузки к осадке грунта упорной призмы НБ



Рис. 3. График зависимости вертикальной нагрузки к осадке грунта упорной призмы ВБ



Рис. 4. График зависимости вертикальной нагрузки к осадке грунта упорной призмы ВБ

Как видно из гранулометрических составов и плотностей каменного материала, уложенных в зоне А, относительные осадки слоя каменного материала в насыпи уменьшаются с увеличением в составе грунта мелкозернистых фракций < 5 мм. При нагрузках 4,0 МПа также уменьшаются с 8,6 мм, до 6,2 мм при увеличении мелкозема от 5 % до 18 %. При недостаточном количестве мелкозема пористость горной массы достаточно высокая и деформации материала значительные. Наиболее оптимальное значение мелкозема в составе грунта 18–25%, при котором осадки не будут превышать 6 мм.

### Литературы.

1. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введ. 2015-07-03. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 23 с.
2. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2014-12-12. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 22 с.
3. ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Введ. 2016-07-28. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 15 с.

4. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения / М. В. Нестеров. – Мн.: Новое знание, 2006. – 616 с.
5. КМК 2.06.05-98 Плотины из грунтовых материалов.
6. КМК 3.07.01-96 Гидротехнические сооружения речные.

УДК 004:620.9

### **Энергетический сектор Узбекистана и перспективы цифровизации гидроэлектростанций**

Исаков А. Ж.

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В данной статье на основе проведенных исследований рассмотрены вопросы текущей ситуации в электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан; определены перспективы спроса на электрическую энергию; представлены основные положения государственной энергетической политики и ее важнейших составляющих; показана перспектива развития электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан.*

Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020–2030 годы разработана в целях удовлетворения растущей потребности Республики Узбекистан и обеспечения дальнейшего сбалансированного развития электроэнергетической отрасли с учетом передового мирового опыта и современных тенденций развития мировой энергетики.

Анализ текущей ситуации показывает, что в настоящее время располагаемая генерирующая мощность Республики Узбекистан составляет 12,9 ГВт, из них: на ТЭС вырабатывается 11 тыс. МВт (84,7 %), на ГЭС вырабатывается 1,85 тыс. МВт (14,3 %), на блок-станциях и изолированных станциях вырабатывается более 133 МВт (1 %) [1].

Основным источником генерации являются 11 ТЭС, в том числе 3 ТЭЦ. Мощность современных энергоэффективных энергоблоков составляет 2825 МВт или 25,6 % от общей мощности ТЭС. В 2019 году на ТЭС выработано 89,6 % электрической энергии от общей генерируемой.

Гидроэнергетика включает 42 ГЭС, в том числе 12 крупных, общей мощностью 1,68 ГВт (90,8 % от общей мощности ГЭС), 28 МГЭС, общей мощностью 0,25 ГВт (13,5 %) и 2 микро ГЭС, общей мощностью 0,5 МВт. По водотоку работают 30 ГЭС мощностью 532 МВт (4 крупных – 317 МВт и 26 МГЭС – 215 МВт). При водохранилищах имеется 10 ГЭС суммарной мощностью 1,4 ГВт. Коэффициент использования гидропотенциала рес-

публики составляет 27 %. Структура ГЭС Республики Узбекистан представлена на рис. 1.

Транспортировка электрической энергии от источников генерации осуществляется по магистральным сетям 35–500 кВт, включающим в себя: ПС 77 ед. общей мощностью – 22830 МВА; ЛЭП 9768 км. Распределение и поставка электрической энергии потребителям внутри республики осуществляется по распределительным сетям 0,4–110 кВ, включающим в себя: ПС 35–110 кВ – 1626 ед. общей мощностью 20421МВА; ЛЭП 35–110 кВт 28642 км; ТП 75534 ед. общей мощностью 13933 МВА; ЛЭП 0,4–10 кВт 223987 км.

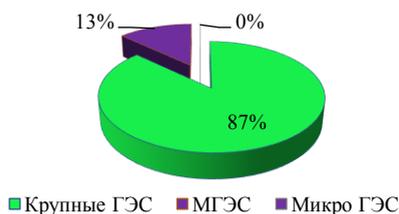


Рис. 1. Структура ГЭС Республики Узбекистан

При этом у значительной части объектов электросетевого хозяйства сроки эксплуатации превысили отметку 30 лет, к таким относятся 66 % магистральных и 62 % распределительных сетей, а также 74 % подстанций и более 50 % трансформаторных пунктов. Это является одним из факторов, способствующих росту уровня технологических потерь электрической энергии при ее транспортировке и распределении.

Как показывает опыт эксплуатации, средний уровень технологических потерь электрической энергии в магистральных сетях составляет 2,72 %, в распределительных сетях 12,47 %.

Внутренний спрос на энергоресурсы определяется ожидаемой динамикой экономического развития, изменениями в структуре экономики и уровне ее удельной энергоемкости.

Снижение удельной энергоемкости экономики является основной задачей энергетической политики Республики Узбекистана, без решения которой энергетический сектор неизбежно будет сдерживать социально-экономическое развитие страны.

В период с 2012 по 2019 годы наблюдался рост производства электрической энергии на уровне в среднем 2,6 % в год. Однако, спрос на электрическую энергию удовлетворялся не в полном объеме, дефицит составлял порядка 9,4 % от потребности.

Прогнозная оценка показывает, что в период до 2030 года ежегодный рост потребления электрической энергии по республике будет составлять порядка 6–7%.

К 2030 году республиканское потребление прогнозно составит 120,8 млрд кВт.ч (рост в 1,9 раза к 2018 г.). При этом потребность населения в электрической энергии составит 21,9 млрд кВт.ч (рост в 1,8 раза к 2018 г.), отраслей экономики – 85,0 млрд кВт.ч (рост в 2,2 раза к 2018 г.) [1].

Потребление электрической энергии на душу населения к 2030 году по прогнозным данным увеличится до 2665 кВт.ч. в год и по сравнению с фактически достигнутым в 2018 году в размере 1903 кВт.ч. и увеличится на 71,4 %. При этом данный показатель значительно ниже аналогичного, отмеченного по итогам 2018 года в таких странах, как Корея – 9711, КНР – 4292, Россия – 6257, Казахстан – 5133, Турция – 2637 кВт.ч.

К основным факторам, способствующим росту потребления электрической энергии, относятся:

- рост экономики (до 2030 года увеличение ВВП ожидается в 1,9 раз);
- повышение уровня жизни населения, приводящий к увеличению использования электропотребляющего оборудования;
- рост населения страны до 37,4 млн человек согласно данным Организации Объединенных Наций с одновременным увеличением уровня урбанизации;
- ликвидация неудовлетворенного спроса, оцениваемого на уровне порядка 10 %.

С учетом географического расположения страны, удобного для использования транзитного потенциала, ожидается, что к 2030 году импорт и экспорт электрической энергии сравнятся и достигнут показателя, равного 6 млрд кВт.ч в год. При этом, к 2030 году суммарная электрическая нагрузка в часы максимума потребления достигнет более 20,9 тыс. МВт против 10,4 тыс. МВт в зимний период 2019 года, а в результате чего к 2030 году потребуются увеличение генерирующих мощностей почти в 2 раза (+10,5 тыс. МВт).

Основной целью развития электрической энергией на 2020–2030 годы является удовлетворение растущей потребности в электрической энергии по конкурентоспособным ценам и динамичное развитие электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан посредством модернизации и реконструкции существующих электрических станций, строительства новых генерирующих мощностей на базе высокоэффективных технологий произ-

водства энергии, совершенствования системы учета электроэнергии, диверсификации энергетических ресурсов с развитием использования ВИЭ.

Развитие гидроэнергетики в период 2020–2030 годы намечено проведение работ по 62 проектам, в том числе строительство 35 ГЭС общей мощностью 1537 МВт и модернизация 27 существующих ГЭС с увеличением мощности на 186 МВт. В итоге к 2030 году суммарная мощность ГЭС составит 3785 МВт, объем вырабатываемой электрической энергии – 13,1 млрд кВт.ч (в 2,2 раза к 2019 г.).

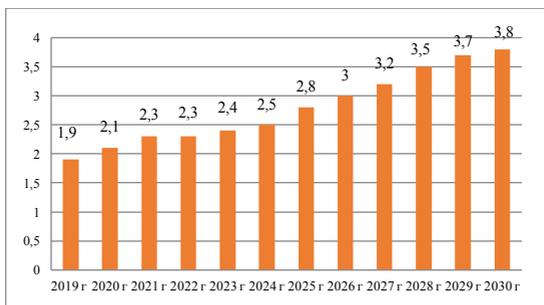


Рис. 2. Рост установленной мощности ГЭС в 2018–2030 гг., МВт

За период до 2030 года планируется построить новые ГЭС, в том числе в: Центральном энергоузле 6 крупных ГЭС общей мощностью 1176 МВт, 3 МГЭС мощностью 33 МВт и 2 микро ГЭС мощностью 2 МВт; Юго-Западном энергоузле 17 МГЭС общей мощностью 114 МВт, 5 микро ГЭС мощностью 5 МВт; Южном энергоузле 4 ГЭС общей мощностью 271 МВт и 1 МГЭС мощностью 25 МВт; Восточном энергоузле 8 МГЭС суммарной мощностью 68 МВт и 9 микро ГЭС 5 МВт [1].

Результаты проведенной исследовательской работы и анализа показывают, что цифровизация гидроэлектростанций является важным источником повышения эффективности производства и экономики республики.

Согласно нормативным документам, гидроэлектростанции проектируются с минимальным расчетом на 100 лет эксплуатации, однако при должном обслуживании срок фактической эксплуатации может быть существенно увеличен и достигать нескольких сотен лет. Основное оборудование естественно изнашивается и требует капитального ремонта, модернизации, замены. Срок работы основного оборудования-гидротурбин, гидрогенераторов рассчитан на несколько десятков лет. Жизненный цикл систем автоматизации обычно составляет не больше 20 лет, при этом типичный срок модернизации систем автоматизации составляет 5 лет [2].

Таким образом, весь жизненный цикл гидроэлектростанции – это череда постоянных обновлений, модернизаций, реконструкций, связанных то с заменой систем автоматизации, то с заменой основного или вспомогательного оборудования. Каждый этап базируется на предыдущем. Каждый этап определяет и ограничивает качество и функциональность последующих этапов. Преимущества, получаемые от совершенствований на каждом этапе в отдельности, не могут быть сравнимы с выгодами, полученными в результате комплексного подхода развития гидропредприятия.

Оперативная оптимизация работы ГЭС связана с повышением КПД основного и вспомогательного оборудования в течение значительного периода времени. Повышение эффективности может быть достигнуто за счет оптимизации работы существующей системы группового регулирования активной мощности (ГРАМ) и/или за счет внедрения новой системы рационального управления составом агрегатов. Оперативная оптимизация работы ГЭС подразумевает:

- оптимальное распределение задания мощности для повышения КПД каждого гидроагрегата и станции в целом с учетом многозонных агрегатов и агрегатов с разными номиналами;
- равномерное распределение нагрузки, включений/отключений основного и вспомогательного оборудования;
- автоматизация переходов между зонами разрешенной работы гидроагрегата;
- повышение КПД каждого гидроагрегата и станции в целом;
- повышение безопасности эксплуатации за счет учета состояния основного оборудования (превентивная диагностика и ремонт по состоянию);
- снижение износа регулирующего оборудования;
- прогнозирование задания и состояния ГЭС в зависимости от плана балансирующего рынка;
- обучение персонала на основе моделирования состава агрегатов.

Мировые тенденции создания цифровых производств оказывают значительное влияние на производство. Новые веяния не могли не затронуть и область электроэнергетики, в частности, гидроэнергетики. В последнее время при описании передовых объектов гидроэнергетики используются понятия «Цифровое производство», «Цифровизация», «Цифровой двойник» и пр. Группа компаний «СМС-Автоматизация» имеет значительный опыт работы в области гидроэнергетики – более 20 лет. За это время были реализованы более сотни локальных систем автоматики управления основным и вспомогательным оборудованием ГЭС, десятки диспетчерских систем оперативного управления всеми процессами. Накопленный опыт и знания позволили разработать и непрерывно применять на практике уни-

фицированную нормативно-справочную информационные и типовые проектные решения для различных АСУТП ГЭС (САУ ГА, РЧВ, ГРАМ, САУ МНУ и др.) [2].

Исходя из этого, комплекс в автономном режиме, в котором анализируются исторические данные, так и в on-line режиме, выполняет автоматическое управление основной и оперативной оптимизацией работы ГЭС. Данный комплекс в режиме реального времени может управлять вспомогательным оборудованием ГЭС.

Таким образом, переход от традиционной к цифровой гидроэнергетике необходимо осуществлять поэтапно, путем формирования соответствующих кластеров на разных функциональных, временных и иерархических уровнях ГЭС, а также в координации с цифровизацией других отраслей.

### Литература

1. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020–2030 годы.

2. Захарченко, В. Е. О цифровизации гидроэлектростанций / В. Е. Захарченко, А. А. Сидоров // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 1. – С. 23–28.

УДК 658.2

### Оптимизация насосного оборудования для индивидуальных тепловых пунктов

Турсунова У. Х., Котова Л. В.

Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассмотрена методика различных схем, когда насос общей циркуляции греющей сетевой воды установлен: на подающем трубопроводе на перемычке между обратной и подающей линиями для возврата части уже остывшей сетевой воды снова в цикл в целях энергосбережения.*

Тепловая нагрузка абонентов не постоянна. Она изменяется в зависимости от метеорологических условий ( $t_n$ ,  $Q_{инс}$ ,  $v_n$  и т. д.), режима расхода воды на горячее водоснабжение, режима работы технологического оборудования. Для обеспечения высокого качества теплоснабжения, а также экономических режимов выработки теплоты на станции и транспорта ее по тепловым сетям выбирается соответствующий метод регулирования.

При автоматизации абонентских вводов основное применение в городах имеет в настоящее время центральное качественное регулирование,

дополняемое в ЦТП или ИТП количественным регулированием или регулированием пропусками.

Типовые схемы МТП с централизованным горячим водоснабжением имеют дополнительные элементы – подогреватели горячего водоснабжения и циркуляционные насосы. Насосы в тепловых пунктах применяют вместо элеваторов для повышения давления в подающем или снижении давления в обратном трубопроводах, а также для циркуляции воды в системах горячего водоснабжения или повышения давления водопроводной воды, используемой на горячее водоснабжение и для откачки конденсата.

Смесительные насосы подбирают по количеству подмешиваемой воды и гидравлическому сопротивлению отопительной системы. Насосы на подающем и обратном трубопроводах ввода подбираются по величине недостаточного или избыточного напора местной установке. Производительность этих насосов принимается по расходу воды в системе.

Регулирование отпуска теплоты потребителю, принятое в прошлом на основе директивного графика 150/70 °С, на сегодняшнее время оказывается затратным для нашего региона. Прежде всего, это заложенное в данном графике заведомое ухудшение использования тепла сетевой воды в течение две третьей отопительного сезона. Средневзвешенный за этот период нормативный коэффициент эффективности  $K_{эф}^н$  получается значительно

ниже максимального [1]. К другому также важному видимому и давно известному недостатку относится неоправданно большой и излишний перепад давления  $\Delta P = P_n - P_0$  между подающей  $P_n$  и обратной  $P_0$  магистралями в головной части пьезометрического графика. Для первых и ближайших к генерирующему источнику потребителей значение  $\Delta P$  превышает необходимое элеватору в 3 и более раз, и перепад бесполезно теряется. По этим и другим причинам, а также на примере зарубежного опыта стихийно и широко распространяется качественно-количественное регулирование получаемой потребителем тепловой энергии. Хотя его принцип еще заложен в упомянутом общепринятом для всей страны нормативном температурном графике подающей и обратной сетевой воды. Регулирование отпуска теплоты количеством теплоносителя и его качеством вытекает из-за необходимости поддержания нужной температуры обогревающей воды внутри отопительных приборов путем смешения. При постоянном расходе подающей сетевой воды необходимое количество обратной, повторно вовлекаемой в циркуляцию, колеблется от 1,7 до 3,7 раза. Такое изменение расхода  $G_0$  невозможно получить при применении в тепловых пунктах простых элеваторов без автоматики, которыми ранее оснащались все системы теплоснабжения. И эти возможности остались не реализованными. Теперь для этой цели нашли массовое применение две различные схемы,

когда насос общей циркуляции греющей сетевой воды установлен: на подающем трубопроводе (рис., *a*); на перемычке между обратной и подающей линиями для возврата части уже остывшей сетевой воды снова в цикл (рис., *б*).

Разберем их с точки зрения наших условий. Основное различие между ними состоит в решении вопросов энергосбережения, где в большой мере используется существующий потенциал давления подающей (прямой) воды. В варианте рис., *a* по принятому подходу к регулированию сплошного потока воды происходит сначала дросселирование давления  $P_n$  необходимого количества прямой воды до давления почти равного  $P_0$  в обратной линии и затем снова производится сжатие воды насосом на  $\Delta P_1$  (рис., *a*). Мы видим нерациональное решение. Оно может быть оправданным, если только исходный перепад давления  $\Delta P = P_n - P_0$  чрезвычайно мал или периодически во время эксплуатации вовсе пропадает. Тогда для этой схемы требуется насос более высокой производительности, что влечет увеличенное потребление электроэнергии. Он создает еще одну особенность – неизменный расход греющей воды в местной системе. Эта положительная сторона сохраняет стабильный гидравлический режим у потребителей тепла на весь отопительный сезон, но сводит на нет принцип качественно-количественного регулирования. В результате этого при наружной температуре воздуха  $+1^\circ\text{C}$  и выше происходит весьма значительное возрастание температуры возвращаемой сетевой воды [1]. Исходя из этого мы знаем, что это резко снижает уровень эффективности работы теплосети.

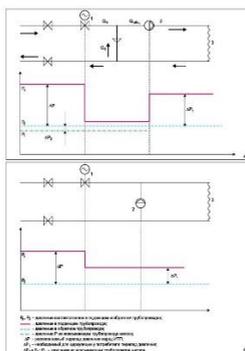


Рис. Диаграмма изменения давления падающей сетевой воды в индивидуальном пункте:

*a* – насос на подающем участке; *б* – на перемычке; 1 – регулирующий клапан; 2 – насос подмешивания и циркуляции; 3 – теплоприемник (потребитель)

Местонахождение насоса на прямом трубопроводе усложняет процесс регулирования температуры смешения и делает его трудной с теоретических позиций задачи (рис., *a*). С большой точностью можно допустить, что нерегулируемый по производительности насос имеет почти неизменный расход или  $G_{\text{общ}} = \text{const}$ . Не должно сильно колебаться и количество обратной сетевой воды  $G_0$ , идущей на смешение, т. к. оно является функцией разности давлений воды в обратном трубопроводе  $P_0$  и после регулирующего клапана  $1 - P_1$  (рис., *a*) или

$$\Delta P_2 = P_0 - \frac{P_1}{G_0} = f\{(\Delta P_2)^{0,5}, d\}$$

где  $d$  – диаметр трубопровода перемычки между подающей и обратной линиями.

Величина  $d$  всегда неизменна, а  $\Delta P_2$  совсем мало, т. к.  $P_0 = \text{const}$ , а  $P_1$  физически не может резко снижаться, потому что от обратного трубопровода до всасывающего насоса нет никакого регулирующего органа. Поскольку  $\Delta P_2$  имеет степень 0,5, то ее влияние на расход  $G_0$  еще более стабилизируется. Таким образом, можно принять  $G_0 = \text{const}$ . Получается, что сумма двух величин  $G_{\text{п}} + G_0 = G_{\text{общ}}$  есть постоянная и при этом  $G_0 = \text{const}$ . Отсюда вытекает неизменность  $G_{\text{п}}$ . Поэтому трудно осуществить регулирование температуры воды изменением  $G_{\text{п}}$  (регулирующий орган находится только на этом потоке), если и ему предписано быть постоянным. А по директивному графику 150/70 °С для поддержания нормативной температуры внутри отопительных аппаратов необходимо колебание  $G_{\text{п}}$  более чем в 2 раза в интервале температур наружного воздуха от 0 до –25 °С. Такое несоответствие в тепловой схеме (рис., *a*) не позволяет ее автоматизировать, как этого требуют правила. Но на практике, однако, она работает и можно предположить, по-видимому, за счет того, что расходы  $G_{\text{п}}$  и  $G_0$  в несовпадающие между собой интервалы времени изменяются от нуля до своего верхнего предела ориентировочно по принципу прерывистого (дискретного) поступления 2-х различающихся потоков воды на единый всасывающий трубопровод насоса для последующего их смешения можно оценить с теоретических позиций как редко встречающийся и не совсем удовлетворительный принцип регулирования.

Это указывает на необходимость обоснованного выбора мест смешения этих 2-х потоков и размещения термодатчика результирующей температуры смешения. Потребуется наличие специальной конструкции узла перемешивания. Также большее внимание придется уделить частоте поступления импульса на регулирующий клапан, который в настоящее время пода-

ется 1 раз в интервале от 30 до 2 тыс. с, а принцип пропорционально-интегрального контроля регулируемого параметра может быть также изменен. В переменных тепловых режимах, когда температура подающей воды значительно снижена относительно графика 150/70 °С и требуется еще больший  $G_n$ , процесс регулирования усложняется из-за растущего неравенства потоков  $G_n$  и  $G_0$ . И общую ситуацию можно оценить как не совсем приемлемую. В эксплуатационных условиях процессы смешения, циркуляции сетевой воды и передачи теплоты не дают видимого ухудшения. Это обстоятельство послужило тому, что до сих пор оказался не рассмотренным разбираемый метод регулирования температуры в таких условиях. Часто вместо двухходового клапана  $I$  (рис., *a*) применяют типовой трехходовой. Он сначала прикрывает подачу прямой сетевой воды и тем самым обеспечивает требуемый перепад давления для поступления обратной воды. Затем аналогичная операция повторяется для обратной линии. К тому же его расходная характеристика – прямая горизонтальная линия – не обеспечивает регулирование общего суммарного расхода  $G_{\text{общ}}$  и потому не вписывается в возможность сокращения количества воды. Таким образом, разобранный схема рис., *a* является не совсем удачной для данного типа оборудования и ее широкое применение нецелесообразно (она почти не позволяет освободиться от нерациональных нюансов). Если разность  $\Delta P = P_n - P_0$  составляет совсем небольшую величину, то рабочая схема должна иметь новый тип трехходового клапана и пр., упомянутое в [2].

Тепловая схема рис., *б* автоматизированного индивидуального теплового пункта (ИТП) практически является типовой в зарубежной практике и потому отвечает требованиям авторегулирования и энергоэффективности. Она удачно и эффективно сочетается с любым известным оборудованием и в том числе отечественным, которое в большей части почти повторяет иностранное. А ее особенность состоит в увеличении для себя потребления подающей сетевой воды при «недотопе». Автоматика отбирает греющую воду от соседнего потребителя и нарушает гидравлический режим всей сети. Поскольку такие режимы в большинстве городов являются очень частыми, то при наладке работы ИТП можно ввести помимо известных мер и ограничение перемещения клапана  $I$  (рис., *б*) верхним концевым выключателем на теоретический максимальный расчетный расход. Если в этой ситуации потребитель будет плохо отапливаться, то существуют другие решения. Зато в большинстве других режимов происходит сокращение количества потребляемой сетевой воды, что сопровождается ощутимым улучшением гидравлического и теплового режимов и большим сокращением используемой теплоты. Но при этом должен быть еще и изменен

нормативный график температуры (в сторону снижения) возвращаемой воды в соответствии с [1].

Более тщательная адаптация зарубежного оборудования и схем ИТП к нашим особенностям позволит получить еще больший эффект.

### **Литература**

1. Басин, А. С. Главные проблемы теплбезопасности и теплоснабжения Сибири / А. С. Басин // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – Т. 1.– С. 3–7.

2. Басин, А. С. Общие и региональные проблемы надежности теплоснабжения населения в городах. 1. Обоснование требований надежности / А. С. Басин // Известия вузов. Строительство. –1999. – № 7. – С. 122–127.

3. Рябцев, Г. А. Общий показатель эффективности работы теплосети / Г. А. Рябцев, В. И. Рябцев // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 9. – С. 56–59.

УДК 697.47.

### **Усовершенствование работы насосов в системе горячего водоснабжения**

Котова Л. В., Турсунова У. Х.

Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассмотрен вопрос регулировки систем горячего водоснабжения и излишней циркуляции при реконструкции существующих систем и подбор циркуляционно-повысительного насоса.*

Сооружение центральных тепловых пунктов (ЦТП) позволило объединить установки горячего водоснабжения, что дало такие преимущества перед МТП, как возможность снижения давления в тепловых сетях после ЦТП, освобождения значительного числа обслуживающего персонала и улучшения качества обслуживания, сокращения количества автоматических регуляторов, применения антикоррозионных установок. ЦТП устраивают для нескольких зданий, квартала или микрорайона, что позволяет вынести циркуляционные насосы систем горячего водоснабжения и весь узел приготовления горячей воды из подвалов домов в отдельно стоящее здание.

Отопительные системы в каждом здании присоединяют к квартальной сети через элеваторы или через групповые водонагреватели. В зависимости от способа аккумуляции теплоты на горячее водоснабжение различают

системы, имеющие дополнительные емкости – аккумуляторы теплоты и системы, не имеющие аккумуляторов. Дополнительные емкости – аккумуляторы теплоты необходимы для сглаживания колебаний потребления горячей воды при неравномерном режиме. Они обеспечивают равномерную работу водонагревателей и устраняют резкие колебания температуры нагреваемой воды. Аккумуляция горячей воды осуществляется обычно при постоянном объеме воды за счет пополнения количества воды под напором холодного водопровода, но при переменном количестве теплоты, при этом используется принцип вытеснения горячей воды потребителем давлением поступающей свежей, холодной воды [1–3].

Реализация в типовых проектах смешанной схемы присоединения водонагревателей горячего водоснабжения с ограничением максимального расхода сетевой воды на вводе и авторегулированием подачи тепла на отопление позволила обеспечить приоритетность поступления теплоносителя на горячее водоснабжение (используя аккумулялирующую способность зданий при переменном режиме работы отопления) и тем самым стабильное поддержание заданной температуры горячей воды на выходе из водонагревателей независимо от уровня водоразбора.

Устранение колебаний в температуре горячей воды и увеличения ее выше 60 °С за счет применения электронной системы авторегулирования снизило зарастание водонагревателей коррозионными отложениями и, соответственно, их сопротивление движению воды [3].

Однако вопросы регулировки систем горячего водоснабжения и излишней циркуляции остаются актуальными и сегодня, особенно при реконструкции существующих систем.

В условиях расчета за расходующую горячую воду по водосчетчикам нарушения в циркуляции приведут к значительной переплате, т. к. недостаточная циркуляция вызовет слив воды до достижения воды нужной температуры, а при постоянно недостаточной температуре горячей воды – к сокращению подмешивания холодной воды и тем самым к увеличению потребления горячей воды, а вместе с ней и расхода тепла на горячее водоснабжение, поскольку последний получается умножением измеренного количества воды на постоянный расчетный перепад температур.

Современные централизованные системы горячего водоснабжения от ЦТП представляют собой разветвленные многокольцевые системы, требующие квалифицированного проектирования. На практике в их проектировании допускались серьезные ошибки. Не учитывались требования для обеспечения равномерной циркуляции в сети, заключающиеся в соблюдении определенного соотношения между сопротивлениями отдельных ответвлений и разводящих трубопроводов. В результате интенсивная циркуляция осуществлялась через ближайшие стояки; в удаленных стояках и

секционных узлах она была меньше или отсутствовала совсем, вследствие чего в водоразборные краны вода поступала охлажденной [3].

На практике с целью доведения циркуляции до дальних стояков предусматривалась установка более мощного циркуляционного насоса. При этом циркуляционный расход приближался по величине к расчетному секунднему расходу на водоразбор. Это мероприятие приводит только к отрицательному эффекту. Вследствие еще большей перегрузки подающего трубопровода и водоподогревателя второй ступени резко увеличиваются потери давления и возникают перебои в подаче воды на верхние этажи. Это влечет за собой установку более мощных высоконапорных насосов хозяйственного водопровода, что приводит к значительному росту капитальных затрат и перерасходу электроэнергии на перекачку.

Учитывая, что потери давления в системе горячего водоснабжения из-за водонагревателей больше, чем в системе холодного водоснабжения, а давление в них создается одной и той же насосной установкой, вышеперечисленные мероприятия могут быть заменены более экономичным и рациональным инженерным решением – созданием дополнительной подкачивающей установки в системе горячего водоснабжения. Для этой цели могут быть использованы циркуляционные насосы путем перестановки их на подающий трубопровод (до или после водонагревателя второй ступени) [2].

При такой схеме установки насосы работают как циркуляционно-повысительные. В циркуляционном режиме насос работает как циркуляционный, не нарушая принятого распределения расхода воды, а при водоразборе он становится циркуляционно-повысительным, компенсируя своим напором повышенные сопротивления подогревателей и трубопроводов и увеличивая давление в системе. В большинстве существующих ЦТП перестановку циркуляционных насосов можно выполнить без замены насосов в связи с тем, что последние, как правило, обеспечивают пропуск расчетного секундного расхода воды на водоразбор. В сравнении с общепринятой схемой такое решение позволяет сократить расчетный напор хозяйственных насосов и уменьшить период их использования [1].

Учитывая переменный режим водопотребления, а также то, что в часы максимального водоразбора наблюдается падение давления в городском водопроводе (из-за увеличения потерь давления в трубопроводах), целесообразно хозяйственные подкачивающие насосы устанавливать с регулируемым числом оборотов двигателя. Регулирование выполняется за счет поддержания заданного давления после первой ступени водонагревателей горячего водоснабжения, принимая изменяющееся сопротивление водонагревателя при прохождении через него воды на горячее водоснабжение за аналог изменения потерь давления в трубопроводах холодной воды до

последнего водоразборного крана. Как показывает практика, при этом расход электроэнергии на перекачку сокращается более чем в 2 раза по сравнению с работой насоса в режиме максимального давления и создания необходимого напора регулирующим клапаном.

Регулирование числа оборотов циркуляционно-подкачивающих насосов проводить не следует, т. к. они работают в постоянном режиме – по мере сокращения водоразбора увеличивается объем циркуляции.

Для снижения разрегулировки потокораспределения циркуляции необходимо повысить гидравлическую устойчивость системы горячего водоснабжения. Это достигается увеличением сопротивления стояков системы, объединяя все стояки одной секции дома в единый секционный узел с одним циркуляционным стояком вместо распространенного решения с самостоятельным стояком на каждый водоразборный стояк. При этом к водоразборному стояку подключаются полотенцесушители по проточной схеме, и все стояки, обслуживающие квартиры одной секции, в верхней части объединяются перемычками в один узел, от которого отводится один циркуляционный стояк малого диаметра.

Далее даже при обеспечении минимально необходимого давления у последнего водоразборного крана за счет описанных выше решений установки циркуляционных насосов по циркуляционно-повысительной схеме и регулирования числа оборотов хозяйственных откачивающих насосов, остается разный уровень давлений у водоразборных кранов, расположенных на разных этажах из-за различия гидростатического давления. Для устранения этого системы водоснабжения разбивают на зоны, и, кроме того, на подводках холодной и горячей воды в каждую квартиру устанавливают самостоятельные квартирные регуляторы давления, снижающие при протекании через них воды давление в нижних этажах до уровня верхнего этажа.

Поддержание давления воды перед каждым водоразборным краном на минимально необходимом уровне – очень важное мероприятие с точки зрения сокращения потерь воды, а для горячего водоснабжения и теплопотребления – снижается расход воды при изливе и утечки через арматуру. При стабилизации давления в системе водоснабжения среднесуточный расход горячей воды на одного жителя соответствует норме КМК – 105–110 л/(чел. сут.). С повышением давления в системе выше минимально необходимого расход горячей воды резко возрастает, достигая, 150–180 л/(чел. сут.) [3].

Дальнейшее сокращение водопотребления зависит от жителей – это мытье посуды и станков для бритья в непроточной воде, а бывают случаи, что хозяйка открыла воду и ушла по своим делам; это закрывание крана при намыливании и другие индивидуальные для каждого жителя мероприятия

ятия. Однако это будет выполняться только тогда, когда жители будут заинтересованы в сокращении водопотребления, т. е. когда будут платить не по норме, а по водосчетчику.

В соответствии с нормами по энергосбережению во всех строящихся зданиях должны быть установлены квартирные водосчетчики на холодную и горячую воду (в проектах они есть). Разработана и действует система автоматического считывания показаний этих водосчетчиков вместе с квартирными электросчетчиками, но по-прежнему расчет с жителями ведется по нормативам, которые по расходу воды в 1,5 раза превышают норму КМК.

Консольные и консольно-моноблочные агрегаты используются довольно длительный период на нашем рынке, они служат для повышения напора потока жидкости и обеспечения ее циркуляции при горячем и холодном водоснабжении в жилых домах и промышленных сооружениях.

Сегодня среди всех насосов самыми популярными являются консольные насосы различных видов. По статистическим данным, консольные насосы составляют 59–72 % от всех выпускаемых в мире насосов. Обусловлено это достаточно простой его конструкцией по сравнению с другими аналогичными устройствами. Именно благодаря этому консольный насос пользуется большой популярностью среди отечественных потребителей [2].

Внешне такая модель практически ничем не отличается от других видов насосов, именно по этой причине так сложно ошибиться, если искать устройство исключительно по названию. На самом деле, называется такой прибор именно консольным, так как его рабочая часть располагается консольно относительно станины. Обычно рабочая часть в самой дальней точке от привода надежно закрепляется к корпусу, так что внешне вы никакую консоль разглядеть не сможете. Должного внимания заслуживает модель K65-50-160/4, которая является классической, без видимой консоли. Несмотря на это называется она именно так, так как консоль в этой модели насоса все-таки есть.

Благодаря удобной конструкции эти устройства являются достаточно эффективными. Функционируют они по принципу образования центробежной силы, которая оказывает влияние на жидкость, находящуюся в рабочем колесе в процессе движения. Выброс жидкости осуществляется в напорный патрубок. В колесе повышается давление и происходит разрежение. Движение жидкости обеспечивается за счет разницы давления, образующейся в колесе. От качества самого насоса зависит его эффективность, технические свойства, а также энергосбережение.

## Литература

1. Зингер, Н. М. Сопоставление различных схем присоединения к тепловой сети установок горячего водоснабжения / Н. М. Зингер, Н. П. Белова, А. Я. Бурд // Теплоэнергетика. – 2011. – № 2. – С. 69–73.
2. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы /под ред. В. А. Григорьева, М.И. Зорина. – М.: Энергия, 2006. – 143 с.
3. КМК 2.04.07-99 «Тепловые сети». Госкомархитекстрой Республики Узбекистан.

УДК 532.5

### Гидродинамические процессы централизованных системах канализации

Шамсиева Н. М., Бобоеров Б. И.

Ташкентский архитектурно-строительный институт  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Система канализации, предназначенные для транспортировки бытовых стоков имеет свои особенности, прежде всего сток представляет сложный состав из жидкой среды, механических элементов, а также из биологического материала. Биологический материал, по пути движения растворяясь в воде изменяет плотность потока воды, то есть появляется так называемый плотностной поток, а механические составляющие из-за снижение транспортирующей способности потока осаждаются создают дополнительные гидравлические сопротивления, чем оказывает негативное влияние на транспорт бытового стока по канализационной системе.*

Движение бытового стока в централизованной коммуникационной системе рассматривается как движение многофазного плотного потока в жестком русле, при этом само движение в основном безнапорное, однако существуют также участки, где бытовой сток заполняет всю пространства стокотода. (закрытое пространства в форме в основном круглой трубы, за рубежом существуют и другие более сложные формы поперечного сечения стокотода). Одно из главных условий эффективной работы централизованной инженерной коммуникационной системы это обеспечение равновесного состояния плотностного потока, т. е. равенство концентрация механических частиц с транспортирующей способности потока. Поскольку концентрация механических частиц определяется с характеристикой системы и имеет нестационарный характер, она может меняться в пространстве и во времени, что необходимо учитывать при исследовании плотност-

358

ного потока. Кроме этого, сама транспортирующая способность потока тоже имеет нестационарный характер для каждой участки системы в зависимости от гидродинамической характеристики потока и геометрии системы. Данное несоответствие требует особый подход при решении проблемы. Вместе с этим движение бытового стока в закрытой пространстве имеет неустановившегося характер, а для формирования основного условия исследования неустановившегося уравнения движения стока-уравнения неразрывности также существенно имеет сложные проблемы, так поток вдоль движения изменяет свою плотность, к сожалению классические уравнения неразрывности не учитывают это обстоятельство, в связи с этим для разработки закономерностей движения бытового стока возникает необходимость составления дополнительных условий и выявления закономерностей. В случае написания соответствующего уравнения неразрывности плотностного потока, естественно приходится ввести корректировку в векторную гидродинамическую уравнению сохранения импульса потока. Для этого необходимо правильно выбирать исходную уравнению согласно результатам многих исследований в области вычислительной гидродинамики (Б. Л. Историк, В. М. Ляхтер, А. Н. Милитеев, В. В. Беликов, А. М. Прудовский, С. Я. Школьников), занимавшиеся исследованием движения плотностного потока [1–3].

В исследованиях выявлены гидродинамические закономерности плотностного потока, которые имеет сложный характер из-за не стационарности концентрации, многофазности и многокомпонентности плотностного потока движущиеся в централизованной инженерно коммуникационной системы. Эти закономерности помимо закономерности изменения плотности потока, учитывают многофазность и многокомпонентность бытового стока. Таким образом, для создания установления гидродинамических закономерностей движения (плотностного потока) бытового стока возникает необходимость к разработке дополнительных условий, отражающих механическую и биологическую особенности плотностного потока материалов транспортировки.

Согласно вышеизложенным положениям, можно констатировать весьма сложную картину гидродинамических процессов в централизованных инженерно коммуникационных системах. Ввиду такой сложности и многофакторности причин, обуславливающих гидродинамических процессов, а также из-за отсутствия строгого теоретического решения проблем динамики плотностных потоков, исследователи прибегают к использованию методов физического и численного моделирования гидродинамических процессов в централизованных инженерно коммуникационных системах. Оба эти метода дополняют друг друга и, в результате, можно получить более достоверные однозначные решения поставленной задачи о гидроди-

намических процессах, как на конкретном его участке, так и в целом в инженерно коммуникационных системах. Для выявления основных закономерностей преимущественно можно использовать численный метод исследования происходящих процессов. Численная модель представляет некоторый способ выявления гидродинамических процессов, которые обычно описываются некоторой системой уравнений. Эта система уравнений с той или иной точностью описывает реальный физический процесс.

Следует отметить, в настоящее время численные гидродинамические эксперименты с использованием программных продуктов, реализующих уравнения гидродинамики, стали достаточно обычным инструментом при решении инженерных задач. Так, в основном при исследовании течений в открытых руслах для широкого круга задач используются численные реализации одномерных или двумерных (плановых) уравнений теории мелкой воды Сен–Венана. Кроме этого, при использовании одномерной модели существенно упрощается сбор исходной информации и ускоряется проведение соответствующих исследований, значительно понижается уровень требования к квалификации специалистов, проводящих исследования в области вычислительной гидродинамики.

Для выявления гидродинамических закономерностей плотностного потока движущиеся в централизованных инженерных коммуникационных системах требует создания математической модели, которая будет использована система гидродинамических уравнений Сен–Венана в консервативном виде, то есть виде законов сохранения импульсов и массы. Такой подход позволяет проводить прогнозные расчеты как для областей с непрерывным течением, так и при возникновении разрывов.

### Литература

1. Худайкулов, С.И. Развитие механики жидкости в Узбекистане / С. И. Худайкулов, А. А. Хамидов, И. Н. Хусанов // Проблемы механики. – 2013. – № 4. – С. 8–10.
2. Латипов, К. Ш. Расчет распределения взвешенных частиц по глубине потока и определение коэффициента лобового сопротивления наносов / К. Ш. Латипов, А. М. Арифжонов, С. И. Худайкулов // Проблемы механики. – 2014. – № 1. – С. 18–23.
3. Худайкулов, Б. С. Движение дисперсной смеси в неоднородной среде к несовершенной скважине / Б. С. Худайкулов, И. Э. Махмудов, Д. С. Яхшибоев // Механика муаммолари. – 2013. – № 3, 4. – С.147–152.
4. Худайкулов, У.С. Течение дисперсной смеси в присутствии тело, ограниченное поверхностью / У. С. Худайкулов, Д. С. Яхшибоев, А. А. Йулдашов // Проблемы механики. – 2013. – № 3, 4. – С.152–156.

Турсунова Э. А.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассмотрена одна из злободневных проблем современности - водная проблема. Самым дешевым методом дополнительного получения объема воды оказалось внедрение водосберегающих технологий орошения. Рассмотрены некоторые технологии, применяемые в сельском хозяйстве. Исходя из этого, для эффективного использования водных ресурсов в аграрном секторе экономики предложены необходимые мероприятия.*

Водная проблематика во многих уголках мира становится самой злободневной проблемой современности. Сейчас в мире наблюдаются последствия изменения климата, включая рост числа засух и наводнений, таяние льдов, изменения в частоте и количестве выпадении осадков. Увеличилось количество периодов сильной жары. Особенно остро стоит вопрос влияния изменения климата на водные ресурсы – одного из важнейших и наиболее уязвимых по отношению к изменению климата.

Согласно среднесрочным оценкам ООН, население Земли к 2025 г. достигнет 8,3 млрд человек, что на 7,8 % больше современного уровня. Если предположить, что стандарты питания во многих странах будут улучшаться, по оценкам Международного института водного менеджмента (IWMI, 2000) потребуется на 40 % больше продовольствия, чтобы прокормить возросшую численность населения. По оценкам IWMI, необходимо будет увеличить площадь орошаемых земель на 29 %, а благодаря увеличению продуктивности и более эффективному водопользованию увеличение водозабора для нужд сельского хозяйства составит 17 %.

При рыночном методе хозяйствования стоимость воды играет важную роль. В таблице приведены результаты расчетов средневзвешенных затрат на получение дополнительного 1000 м<sup>3</sup> объема воды разными приемами и методами [1].

Результаты расчетов показали, что самым дешевым методом дополнительного получения объема воды оказалось внедрение водосберегающих технологий орошения, который составил всего 1–5 долларов США на получение 1000 м<sup>3</sup> воды.

Таблица

Средневзвешенные затраты для получения дополнительного 1000 м<sup>3</sup>  
воды, доллары США

№ п/п	Методы получения воды	Затраты, доллары США
1	Опреснение минерализованных вод	1000±250
2	Реабилитация гидромелиоративных систем	800±100
3	Территориальное перераспределение	750±200
4	Очистка сточных вод	120±20
5	Регулирование водохранилищ	70±20
6	Внедрение водосберегающих технологий	3±2

На нашей планете запасы пресной питьевой воды составляют всего 2,5–3,0 % от всех имеющихся водных ресурсов. В настоящее время около 2 млрд человек в мире страдают от ее нехватки, а более 1 млрд человек расточительно используют воду. В докладе ЮНИСЕФ за 2016 год было отмечено, что жители 36 стран страдают от дефицита воды. Мировые запасы пресной воды не увеличиваются, а потребление постоянно растет. Около 85 % населения Земли живут в засушливых местах планеты.

В Центральной Азии, возможно, больше, чем где-либо еще, энергия, вода и продовольствие неразрывно связаны.

Орошаемое земледелие имеет ключевое значение для жизнедеятельности в Центрально-Азиатском регионе, особенно в Узбекистане. В условиях аридного климата орошение является основой продовольственной безопасности, благосостояния сельского населения, охраны и повышения продуктивности земель, а также базой развивающегося быстрыми темпами аграрно-промышленного комплекса (АПК). АПК базируется на развитии сельскохозяйственной инфраструктуры, энерговооруженности села и прогрессирующих маркетинговых связях, ориентированных как на удовлетворение потребностей собственного потребления, так и на развитие экспортного потенциала. Водные ресурсы Центрально-Азиатского региона полностью вовлечены в хозяйственное использование. Сезонный недостаток воды и загрязнение водных ресурсов уже сдерживают социально-экономическое развитие региона.

Следовательно, в условиях дефицита водных ресурсов и установленного лимита на воду, требуется рациональное использование оросительной

воды путем усовершенствования принципов почвенно-мелиоративного и гидромодульного районирования, разработки и внедрения научно-обоснованных режимов орошения и установления норм водопотребления сельскохозяйственных культур, применения прогрессивных водосберегающих технологий орошения, улучшения мелиоративного состояния земель, а также разработки и внедрение новых, прогрессивных способов техники и технологии орошения, и их оптимизации, обеспечивающих повышение урожайности, увеличение выхода продукции с поливного гектара и введение в оборот новых орошаемых земель [2].

Влияние водных ресурсов на продовольственную безопасность и полноценное питание многообразно (рис.).

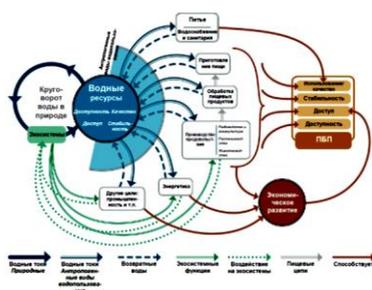


Рис. Влияние водных ресурсов на продовольственную безопасность и полноценное питание многообразно

Они являются основой экосистем, включая леса, озера и водноболотные угодья, от которых зависят продовольственная безопасность и питание нынешнего и будущих поколений. Качество питьевой воды определяет эффективность усвоения питательных веществ организмом человека. Водные ресурсы также важны для энергетики, промышленности и других секторов экономики. В целом водные ресурсы поддерживают экономический рост, формирование доходов и, таким образом, экономическую доступность продовольствия [3].

Наличие водных ресурсов и их потенциал удовлетворения спроса весьма отличаются от региона к региону. Это ведет к большому разрыву между соотношением водоотбора к доступным возобновляемым ресурсам. Общий водоотбор в мировом масштабе для нужд сельского хозяйства, энергетики, промышленности и городского хозяйства в 2013 году составил 9 % внутренних возобновляемых ресурсов. Эта цифра варьируется от 2,2 % в Латинской Америке и Карибском бассейне до 122 % на Ближнем Востоке и в Северной Африке. Нагрузка на водные ресурсы существенно различает-

ся в зависимости от страны или региона. Так, Европа отбирает лишь 6 % своих внутренних ресурсов, и всего 29 % этого объема приходится на сельское хозяйство. Интенсивная сельскохозяйственная экономика в странах Азии потребляет 20 % своих внутренних возобновляемых ресурсов, и 80 % этого объема идет на нужды орошения. Во многих засушливых районах Ближнего Востока, Северной Африки и Центральной Азии большая часть годных для использования водных ресурсов уже используется, причем 80–90 % этих объемов идет на сельскохозяйственные нужды. Это означает, что истощение рек и водоносных горизонтов вышло за уровни устойчивости. В Западной, Центральной и Южной Азии для ирригации используется более половины имеющихся водных ресурсов, а в Северной Африке отбор подземных вод для ирригации и повторного использования воды превышает темпы восстановления их ресурсов. В 40 % земель, полностью или частично орошаемых за счет невозобновляемых источников подземных вод, входят основные площади производства продовольственных культур в Китае, Индии и Соединенных Штатах Америки. С учетом роста населения ожидается, что к 2050 году внутренние возобновляемые водные ресурсы на душу населения сократятся на 25 % по сравнению с уровнем 2010 года при существенных различиях между регионами. Поэтому основной составляющей проблемы водных ресурсов для ПБП является концепция растущей нехватки воды. Согласно подготовленному ОЭСР сценарию обычного развития, в 2050 году на 2,3 млрд больше людей по сравнению с сегодняшним днем будут жить в бассейнах рек, испытывающих серьезную нехватку воды.

Учитывая непростую ситуацию с водными ресурсами во всем мире постоянно разрабатываются и внедряются технологии водосбережения.

Краткое описание некоторых водосберегающих технологий, применяемых в сельском хозяйстве [4–9].

Капельное орошение – это метод полива, при котором вода и питательные вещества подаются непосредственно в корневую зону растений регулируемыими малыми порциями с помощью дозаторов-капельниц. Такой тип полива позволяет обеспечить оптимальную влажность почвы и экономию воды.

Основными преимуществами систем капельного орошения являются:

1. Повышение урожайности плодовых растений и виноградников на 20–40 %, овощных культур – на 50–80 %.
2. Сокращение трудозатрат за счет автоматизации всего процесса полива и питания растений.
3. Снижение расходов воды на 20–80 % по сравнению с другими методами орошения. Величина этой экономии зависит от климатических усло-

вий, вида насаждений, типа почв, технических характеристик самой системы полива.

Мульчирование – это покрытие поверхности почвы каким-либо материалом (скошенной травой, листвой, опилками, пленкой, специальными неткаными укрывными материалами и пр.). Мульча предохраняет почву от действия ветра, дождя, жаркого солнца, резких колебаний температуры в верхнем ее слое. На участках, покрытых прозрачной пленкой, днем теплее на 5–10 °С. Мульчирование же черной или черно-белой пленкой снижает температуру почвы на 2–4 °С. Такой защитный «плащ» подавляет рост сорняков, так как не пропускает света и сохраняет влагу в почве и практически исключает ее рыхление. Мульчирование почвы совместно с капельным орошением дает возможность экономить 50 % воды при поливе, создавая благоприятные условия для роста растений и, тем самым, существенно повышая урожайность. Кроме того, укрывной материал защищает капельную ленту от повреждения птицами, а плоды растений – от загрязнения землей.

Снегозадержание – важный агротехнический прием, который проводят для увеличения запасов влаги в почве и для утепления зимующих растений (озимых культур, многолетних трав и др.). Для снегозадержания используют как искусственные преграды, так и лесопосадки. Причем второй способ более выгоден с точки зрения финансовых затрат и влияния на окружающую среду.

Лесопосадки создают из высокорастущих пород деревьев с высоким подлеском. Для степных и лесостепных районов рекомендуют такие породы деревьев и кустарников, как тополь пирамидальный, дуб, акация белая, вяз обыкновенный и узколистный, клен, лох, желтая акация, жимолость, боярышник и др. Ширина лесополос может варьироваться от 3 до 10 деревьев, высаженных на расстоянии нескольких метров друг от друга. Зимой лесопосадки сохраняют снег, замедляют его таяние, в результате снег не смывается, а вся влага переходит в почву. Кроме того, обильный снежный покров защищает озимые сорта пшеницы и других растений от замерзания. Летом лесополосы уменьшают скорость ветра. Уменьшение скорости ветра всего лишь на несколько метров в секунду резко снижает испарение воды из растения. Кроме того, лесополосы являются препятствием для миграции многих видов вредителей и местом обитания птиц, питающихся насекомыми.

Ярусный полив по бороздам с внутриконтурным использованием обрабатываемых сбросов. При ярусном поливе орошаемое поле разбивается на 3–4 яруса, расстояние между ярусами определяется длиной борозд. Борозды, как правило, короткие 60–100 м. Существует несколько схем организации полива по ярусам. Наиболее распространена схема, при которой по

центру поливных участков трассируются «шохи» – арыки. Полив по коротким 60–100 м бороздам. Водосберегающий эффект проявляется в сокращении на 15–20 % (от водоподачи) потерь на поверхностный сброс за пределы орошаемого поля, т. к. неиспользуемый в данном орошаемом контуре поверхностный сброс образуется только на последнем ярусе. Сущность данной технологии, в сравнении с обычной технологией орошения начинается с первого яруса, на следующем ярусе заправляются оголовки борозд. После добегаания поливных струй до выводной борозды второго яруса образующийся сброс направляется в выводную борозду и дополняет расход, забираемый из шохарыка. В такой последовательности проводится полив на последующих ярусах. Ярусный полив, позволяет добиться равномерного увлажнения поливного участка и существенно сократить поверхностный сброс, т. к. за пределы поля сброс производится только с борозд последнего яруса. Коэффициент использования оросительной воды при ярусной схеме орошения в контуре крупных хозяйств приближается к единице.

Сосредоточенные поливы и водооборот. При организации сосредоточенных поливов устанавливается очередность полива между поливными участками. Весь расход участкового оросителя сосредоточено направляется на очередной поливной участок. Сев планируется таким образом, чтобы в пределах межполивного периода даты поливов каждого из поливных участков проводились близко к оптимальным срокам. Водооборот применяется при орошении крупных единиц водопользования. За счет сосредоточенной водоподачи, на 10–20 % (от водоподачи) сокращаются организационные потери, составляющие при «распылении» водоподачи по множеству отводов до 30–35 % от водоподачи в орошаемый контур.

Полив переменной струей. При поливе переменной струей после добегаания поливной струи до конца борозды струя уменьшается примерно вдвое в соответствии с уменьшающейся интенсивностью впитывания. Повышается равномерность увлажнения по длине борозды. Создаются условия для равномерного развития сельхозкультур. Водосберегающий эффект проявляется в сокращении на 15–20 % (от водоподачи) потерь на поверхностный сброс за пределы борозды.

Данный способ применяют при поливе плодовых деревьев, кустарниковых ягодников (смородины, крыжовника), земляники. В междурядье яблоневого сада делают от 4 до 8 борозд, в кустарниковых ягодниках – от 2 до 4 борозд. Полив полей переменной струей легко осуществить при распределении воды по поливным бороздам сифонными трубками. Для этого поливальщик в каждой борозде вначале устанавливает два сифона, а после достижения струи воды до конца борозды один сифон снимает (расход уменьшается вдвое).

Пленочное покрытие гребней. В процессе сева междурядья покрываются тонкой (8–10 микрон) полиэтиленовой пленкой шириной 60 см. За счет повышения температуры поверхностного слоя почвы под пленочным покрытием, появляется возможность провести сев, на 2–3 недели раньше обычного рекомендуемого срока и, как следствие, существенно раньше получить полноценный урожай и завершить его уборку до наступления периода осенних дождей. Температурный и влажностный режим под пленкой позволяет обеспечить прорастание семян на естественной влаге без вызывного полива. Помимо этого, на полях с пленочным покрытием создаются благоприятные условия для быстрого роста растений и их развития, более эффективно используются минеральные удобрения, создаются благоприятные условия, позволяющие получать до 25 % прибавки к урожаю. Уменьшается количество междурядных обработок и экономится ГСМ. Достигается экономия 30–35 % оросительной воды по сравнению с обычной технологией сева.

Использование коллекторно-дренажных вод на орошение. В целях повышения водообеспеченности орошаемых земель на коллекторах устанавливаются передвижные насосные станции для подкачки в оросительную сеть. Для недопущения процессов засоления контролируется пропорция смешения коллекторно-дренажной воды с оросительной. Коэффициент использования оросительной воды повышается практически до единицы.

Исходя из вышеупомянутых, для эффективного использования водных ресурсов в аграрном секторе экономики необходимо:

- усовершенствовать систему водоучета;
- использовать коллекторно-дренажные воды для орошения;
- внедрить усовершенствованные техники и технологии полива;
- применить агротехнические приемы, повышающие плодородие почв;
- совершенствовать организацию и технологии вододеления;
- поливать по укороченным бороздам;
- применить «ярусный» полив;
- поливать с чередованием поливаемых и «сухих» междурядий;
- применять пленочные покрытия гребней борозд;
- шире применять «ночные» поливы;
- применять влагонакопительные поливы;
- использовать внутриконтурнообразующие сбросы.

### **Литература**

1. Пулатов, Я. Э. Водосберегающие технологии орошения и эффективность использования воды в сельском хозяйстве / Я. Э. Пулатов // *Ekologiya & Stroitelstvo*. – 2017. – № 4. – С. 21–26.

2. Perry, C. Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence / C. Perry, P. Steduto // Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Cairo, 2017. – 57 p.

3. Водные ресурсы и обеспечение продовольственной безопасности и питания. Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности: ГЭВУ, 2015 – Рим, 2015 – 163 с. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-av045r.pdf>.

4. Водосберегающие технологии полива сельскохозяйственных культур и методы борьбы с эрозией почв. Практическое руководство для фермеров опубликовано Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций и Общественным фондом «Центр обучения, консультации и инновации». – Бишкек, 2018. – 28 с. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/ca0865ru/CA0865RU.pdf>.

5. Водосбережение и водоохранные мероприятия // Информационный сборник НИЦ МКВК. – 1998. – № 7. – 38 с.

6. Духовный, В. А. На рубеже водного дефицита нужна стратегия водосбережения / В. А. Духовный. – Режим доступа: <https://www.gazeta.uz/ru/2018/02/27/water-resources/>.

7. Турсунова, Э. А. Некоторые аспекты использования водосберегающих технологий в Узбекистане / Э. А. Турсунова. – Ташкент, 2019. – 166 с.

8. Expósito, A. Agricultural irrigation water use in a closed basin and the impacts on water productivity: The case of the Guadalquivir river basin (Southern Spain) / A. Expósito, J. Berbel // Water. – 2017. – № 9. – P. 136.

9. Koech R., Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context / R. Koech, P. Langat // Water. – 2018. – № 10. – P. 1771.

УДК 628.1

### **Состояние и проблемы питьевого водоснабжения**

Махмудова Д. Э., Алиев М. К.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Ташкент, Республика Узбекистан

*Основное предназначение системы водоснабжения – это удовлетворение производственной и социальной потребности в воде предприятий и населения.*

Надежность водоснабжения характеризуется свойством систем выполнять функции водоснабжения, сохраняя во времени установленные технологические показатели в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации и технического обслуживания. В целом проблема надежности водоснабжения охватывает широкий круг вопросов, связанных с обеспечением и поддержанием требуемого уровня бесперебойности работы, как отдельных видов оборудования, так и сооружений, входящих в систему водоснабжения. Решение ее включает два аспекта: количественное определение степени надежности и обеспечение заданного ее технического уровня. Количественное определение указанных свойств надежности системы водоснабжения стало возможным лишь в последнее время. Изучение опыта эксплуатации водопроводов показало, что водопроводное оборудование, например насосы, трубы, задвижки, изготовленные на одной заводе, проявляют различную способность сохранять работоспособное состояние. При их эксплуатации возникают повреждения, вызывающие отказ систем водоснабжения в самые неожиданные моменты.

Таким образом, физический смысл надежности состоит в способности систем водоснабжения сохранять свои первоначальные технологические характеристики в процессе эксплуатации. В то же время, очевидно, что надежность водоснабжения зависит не только от продолжительности периода и условий эксплуатации, но и от того, какие функции выполняет система.

Исследованы организационные, технологические и экономические аспекты воздействия на работу водопроводных сооружений и сетей, имеющих определяющую роль в эффективном функционировании систем водоснабжения в населенных пунктах. При этом были проведены исследования по изучению санитарно-технической эффективности работы систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения некоторых городов стран СНГ. В частности, ряд работ посвящено исследованию надежности трубопроводов Москвы, Ташкента, Душанбе, где установлены основные причины нарушения надежности питьевого водоснабжения населения, обусловленные низким качеством изготовления труб, нарушением технологии строительства и эксплуатации водоводов [7].

Исследование состояния напорных трубопроводов Москвы, путем раскопок показало, что основные повреждения обусловлены физическими износами материала труб. Аналогичное положение выявлено и в других городах стран СНГ. Вместе с этим повреждение и разрушение труб системы питьевого водоснабжения происходит также от сейсмических воздействий. Результаты обследования отдельных трубопроводов централизованных систем водоснабжения в странах СНГ показали, что через 10–12 лет их дальнейшая эксплуатация становится непригодной. Срок удовле-

творительной работы стальных трубопроводов в системах водоснабжения составляет 4–6 лет [8]. При таких условиях обеспечение подачи воды потребителям путем увеличения напора на насосных станциях часто невозможно. Поэтому возникает необходимость прокладки дополнительных линий, что требует больших финансовых затрат.

Осадок может быть представлен как минеральными (шлак, песок), так и органическими веществами. Наиболее распространенной причиной ухудшения качества воды является вынос в питьевую воду продуктов коррозии, в первую очередь, железа. На ухудшение состояния безопасности питьевого водоснабжения оказывает влияние также старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения, приводящих к потерям напора воды, снижению пропускной способности, ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды. Утечки воды из трубопроводов, вызванные их строением, являются также причиной поднятия уровня грунтовых вод.

Узбекистан не располагает водными ресурсами для обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. Возникает необходимость создания региональных водоводов для переброски воды из регионов.

Системы централизованного водоснабжения из-за износа оборудования и водопроводных сетей не являются надежными и не могут обеспечить население качественной питьевой водой, что создает угрозу для здоровья.

Непрерывные, в значительной степени, хаотичные и неуправляемые изменения режима функционирования водопроводов создают исключительные трудности в обеспечении надежной работы водопроводных систем. Эти вопросы ставились и анализировались рядом авторов [1, 2]. Но они не подучили удовлетворительного решения. Системы водоснабжения представляют собой комплекс элементов, включающие водоприемные сооружения, насосные станции, резервуары, очистные сооружения, водоводы и водопроводную сеть. Надежность функционирования указанных сооружений – одно из основных условий бесперебойности обеспечения водой промышленных предприятий и населенных пунктов.

В целом проблема надежности водоснабжения охватывает широкий круг вопросов, связанных с обеспечением и поддержанием требуемого уровня бесперебойности работы, как отдельных видов оборудования, так и сооружений, входящих в состав систем водоснабжения. Решение ее включает два аспекта: количественное определение степени надежности и обеспечение заданного технического ее уровня. Проблема обеспечения городов и промышленных предприятий стабильной работой систем водоснабжения городов и промышленных предприятий находила свое качественное решение на уровне технических возможностей и знаний, которыми характеризовались различные этапы их развития. Особенностью со-

370

временного этапа развития водоснабжения является, наряду с качественным определением надежности работы систем водоснабжения, необходимость в количественном подходе к решению этой проблемы [2]. Количественное определение указанных свойств надежности систем водоснабжения стало возможным лишь в последнее время. На 60 % эксплуатируемых трубопроводов наблюдается наиболее интенсивная коррозия, которая сопровождается резкой потерей пропускной способности трубопроводных систем и ухудшением качества транспортируемой по ним воды.

По современным представлениям основной причиной коррозии является коррозионная активность воды, которая, как правило, усиливается при попадании во внутреннюю часть трубы инородных элементов. На процесс коррозии оказывает влияние большое число взаимосвязанных факторов, таких как химический состав и температура воды, содержащиеся в ней в различных концентрациях и соотношениях компоненты, ингибирующие и стимулирующие коррозию, марка металла труб, режим работы систем водоснабжения и др.

Трубопроводы из металла, в основном, функционируют в населенных пунктах с открытыми источниками водоснабжения. Как правило, это крупные города со значительной протяженностью водоводов и водопроводных сетей.

Безопасность водоснабжения в условиях Узбекистана – это обеспечение населения питьевой водой, отвечающей требованиям государственного стандарта Республики Узбекистан O'zDSt 950:2011 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».

Вышеизложенные данные литературы показывают, что одной из причин, который приводит к нарушению работы систем водоснабжения населения является также коррозия разводящей сети. Кроме материального ущерба, внутренняя коррозия, ухудшая качество питьевой воды, создает угрозу здоровью населения. Так называемое вторичное ухудшение качества воды в системах ее подачи и распределения является главной причиной снижения безопасности систем питьевого водоснабжения в населенных пунктах. Качество воды снижается, как правило, по показателям цветности, мутности, концентрации железа, величинам коли-индекса, органолептическим показателям (появление запахов и привкусов). Особенно такие изменения отмечаются в системах большой протяженности, имеющих много тупиковых участков, контррезервуаров станций перекачки. В сетях городских и сельских водопроводов наиболее характерными загрязнениями, осаждающимися на стенках труб, являются уплотненный осадок, окислы марганца и железа (в виде бугристых наростов), комплексные соединения на основе окислов железа и извести, инородные включения (кусочки древесины, мелкий щебень и др.). Наличие последних данных сви-

детельствует о низком качестве очистки воды, а также попадания посторонних предметов в трубопроводы при их прокладке или ремонте запорно-регулирующей арматуры. В водоотводящих сетях осадок может быть представлен как минеральными (шлак, песок), так и органическими веществами.

Исследование безопасности питьевого водоснабжения населения достаточно изучено в ряде зарубежных работ [1, 2, 5]. Вместе с этим состояние функционирования и безопасности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения в Узбекистане имеет свои региональные особенности. Прежде всего, это особенности гидравлического режима функционирования систем водоснабжения и непостоянная подача воды населению.

На состояние безопасности питьевого водоснабжения оказывает влияние также старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения, которое приводит к потерям напора воды и снижению пропускной способности труб из-за их зарастания. Происходит ухудшение физико-химических показателей (цветности) транспортируемой питьевой воды из-за коррозии водонапорных труб. Из-за образующихся трещин на трубах, свищей, нарушения стыковых соединений в случае старения сетей имеет место повторное загрязнение воды. Утечки воды из трубопроводов, вызванные их износом, являются также причиной поднятия грунтовых вод, что может привести к интенсивному разрушению эксплуатируемых зданий и действующих сооружений инженерной инфраструктуры.

Характерной особенностью крупных и средних городов любого региона нашей страны является наличие разветвленных и весьма протяженных подземных трубопроводов, в частности, водопроводных и водоотводящих (канализационных) сетей различного диаметра и материала, которые неизбежно с течением времени подвергаются старению и риску аварийных ситуаций.

Повышение надежности работы подземных трубопроводов, предупреждение их старения и оперативная ликвидация последствий аварий на сетях являются одними из главных задач служб эксплуатации коммунальных объектов. Решение этих вопросов в настоящее время приобретают особую актуальность, так как старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигли критического уровня.

Наиболее дорогим элементом комплекса водоснабжения любого большого города является система транспортирования питьевой и технической воды. Она включает водоводы, распределительную сеть, устанавливаемые на ней сооружения и арматуру для выключения, регулирования, обслуживания, ремонта и обеспечения надежной и безаварийной работы трубопроводов. Подобные проблемы со своими специфическими проявлениями в

части преждевременного старения, многочисленных патологий и связанных с ними аварийных ситуаций характерны и для водоотводящей сети.

В последние годы коммунальные службы городов-мегаполисов различных стран все большее внимание уделяют решению вопросов использования перспективных бестраншейных технологий восстановления (санации) и прокладки водопроводных, водоотводящих и других инженерных сетей, что является альтернативой традиционному открытому способу реконструкции и строительству трубопроводов, котлованным и траншейным способами.

Главными причинами повреждений водопроводных трубопроводов являются износ труб, низкое качество материала, избыточные напоры, наружная и внутренняя коррозия, резкие сезонные перепады температуры, образование воздушных карманов и другие факторы.

Продление срока службы подземных металлических трубопроводов возможно, если на их внутреннюю поверхность напылять асбоцемент. В последние годы в качестве напыляемых ремонтных покрытий стали применять пластмассовую крошку. Данные меры удовлетворяли установленным техническим требованиям к трубопроводам, так как позволяли увеличить продолжительность эксплуатации сетей и отодвинуть сроки их ремонта. Однако эти методы оказались недостаточно эффективными и в настоящее время они практически не применяются.

При напылении на внутреннюю поверхность стальных и чугунных трубопроводов покрытий на основе полиуретана, трубопроводы могут быть использованы в системах водоснабжения, так как рекомендуемые по технологии составы имеют соответствующие сертификаты. Сплошные покрытия в виде гибких полимерных рукавов или труб из различных материалов применяются как для водопроводных, так и канализационных труб.

Анализ состояния водоснабжения в республике показывает, что имеющиеся технологические мощности водопроводов используются лишь на 49,6 %. При таком неудовлетворительном использовании мощностей водопроводов допускаются значительные потери воды, в среднем по республике – 26,4 %, в Бухарской области – 34,6 %, в Хорезмской области – 33,9 %, республике Каракалпакстан – 32,8 % [6, 8].

Отсутствие достаточного учета в жилищном фонде потребления воды также значительно влияет на нерациональное использование воды, особенно в летний период, когда питьевая вода используется на полив зеленых насаждений, охлаждение продуктов и овощей и другие нужды. В сельской местности практически отсутствует учет расходования воды потребителями, частично он имеется лишь в районе группового водоснабжения.

Учитывая важность сектора питьевого водоснабжения для социально – экономического развития страны, правительство Республики Узбекистан в последние годы уделяет пристальное внимание реконструкции, развитию и эксплуатации водопроводных сооружений и сетей. Работа в этом направлении должна основываться на научно-обоснованных подходах и мерах, вследствие которых при минимальных финансовых, трудовых и материальных затратах, можно обеспечить высокую надежность и безопасность питьевого водоснабжения населения.

### Литература

1. Абрамов, Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды / Н. Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1972. – 288 с.
2. Апельцин, Е. И. Биоразлагаемые органические вещества и повторный рост микроорганизмов в питьевой воде / Е. И. Апельцин, О. С. Оленева // Строительство и архитектура. Экспресс-информация, Инженерное обеспечение объектов строительства. – 1991. – Вып. 7. – С. 4–10.
3. Бедер, Б. А. Водные источники Узбекистана и их охрана / Б. А. Бедер, И. И. Ильинский. – Ташкент: Узбекистан, 1982. – 62 с.
4. Гальперин, Е. М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети / Е. М. Гальперин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 6. – С. 13–16.
5. Ким, Л. П. Проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Кашкадарьинской области / Л. П. Ким, И. А. Усманов // Standart. – 2013. – № 2. – С. 33–36.
6. Файзиева, Д. Х. Вопросы разработки планов безопасности воды (ПБВ) в условиях Узбекистана / Д. Х. Файзиева, И. А. Усманов // Актуальные проблемы гигиены и санитарии в Узбекистане: материалы респ. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2012. – С. 392–395.
7. Яркулов, Б. Методология совершенствования управления эксплуатацией системы водоснабжения / Б. Яркулов // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 4. – С. 97–100.
8. Усманов, И. А. Проблемы обеспечения населения Приаралья безопасной питьевой водой / И. А. Усманов, Д. И. Махмудова, А. К. Мусаева, Г. А. Ходжаева // Экологический Вестник Узбекистана. – 2019. – № 1. – С. 26–29.

**Инновационные технологии  
в развитии естественных наук  
и современного образования**

**Узкополосный интегрально-оптический фильтр**

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе показано, что оптимизация конструктивных параметров и структуры селективного оптического элемента, используя методы аналитического моделирования, позволяет получить простой и экономичный интегрально-оптический фильтр с шириной полосы пропускания 0,1 нм и разнесением частот между соседними оптическими несущими 0,2 нм при отношении сигнал/шум 50 дБ. Использование таких фильтров позволяет увеличить количество параллельно передаваемых оптических несущих длин волн более 160, что обеспечивает передачу трафика со скоростями до 1,6 Тбит/с в одном направлении по одному оптическому волокну.*

Сфера практического использования оптических средств приема, обработки, хранения и передачи информации неуклонно расширяется главным образом за счет применения новой элементной базы, обладающей лучшими эксплуатационными характеристиками при меньшей цене.

При создании высокоселективных устройств контрольно-измерительной аппаратуры волоконно-оптических сетей для передачи и обработки сигналов с различными несущими в оптических магистралях нового поколения необходимы простые, экономичные, небольших размеров, управляемые оптические фильтры [1–3].

Нами предложен узкополосный интегрально-оптический фильтр на основе оптически связанных кольцевых микрорезонаторов. Несмотря на то, что принципы создания оптических фильтров в интегрально-оптическом исполнении известны, однако возрастание требований к спектральной селективности единицы нанометров, с одной стороны, и необходимость непрерывной перестройки в диапазоне 0–1 нм – с другой, стимулировало проведение новых исследований в этом направлении. Разработка и создание электрически управляемых фильтров с очень узкой полосой пропускания (~0,1 нм) необходимо для WDM-систем (wave length division multiplexing) [4]. Для систем оптической связи и высокопроизводительных систем обработки информации, основанных на технологии спектрального мультиплексирования с плотным расположением спектральных каналов (DWDM), наибольший интерес представляют интегральные оптические фильтры с узкой (0,1...0,4 нм) и электрически смещаемой полосой пропускания и управляемой формой спектральной передаточной функции.

Хорошо известно, что ширина и спектральное разделение резонансных пиков оптического излучения на выходе из резонатора зависят от его оптической длины. Кольцевой резонатор большого радиуса дает узкие часто расположенные пики оптического излучения. Пики излучения малого резонатора имеют большую полуширину, но сильнее разделены по спектру. Очевидно, что для получения узких пиков, разнесенных по спектру на достаточно большое расстояние, необходимо использовать два резонатора разного радиуса, соединенных последовательно. Общий вид такого фильтра приведен на рис. 1.

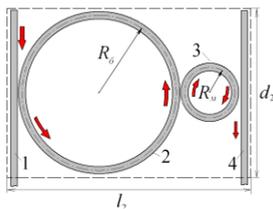


Рис. 1. Структурная схема узкополосного оптического фильтра на кольцевых микрорезонаторах:

- 1 – входной волновод; 2 – микрорезонатор большой оптической длины;  
3 – микрорезонатор малой оптической длины; 4 – выходной волновод

Работа осуществляется следующим образом. По входному волноводу 1 на кольцо микрорезонатора с большим радиусом поступает входной сигнал. В это кольцо ответвляется излучение в узком спектральном диапазоне с центральной длиной волны

$$\lambda_{\text{рез}} = \frac{Ln}{m},$$

где  $L$  – длина резонатора;  $n$  – эффективный показатель преломления моды волновода;  $m$  – целое число.

Таким образом, на выходе микрокольцевого резонатора образуются пики оптического излучения, расстояние между которыми определяется оптической длиной резонатора. Далее эти пики излучения поступают на кольцевой резонатор малого радиуса, причем оптическая длина малого резонатора должна быть кратна длине большого резонатора. В этом случае, отдельные пики излучения будут ответвляться во второй резонатор.

Таким образом, резонатор малого радиуса будет прореживать резонансные пики, поступающие на его вход. Отфильтрованное излучение выводится из резонатора малого радиуса с помощью выходного волновода. В качестве выходного волновода в составном резонаторе можно использо-

вать входной волновод, поскольку направление выходного сигнала из резонатора малого радиуса противоположно входному сигналу, и эти сигналы не смешиваются. Выходной оптический сигнал составного резонатора представлен на рис. 2 сплошной линией.

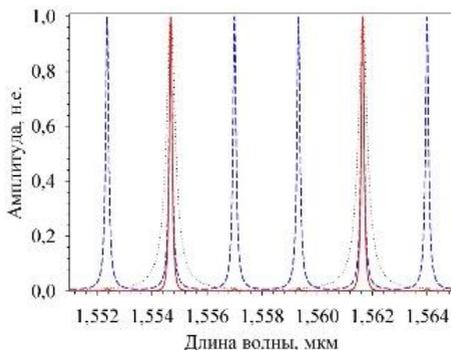


Рис. 2. Спектр пропускания кольцевого микрорезонатора

Пунктирная линия относится к резонатору с радиусом 16 мкм, штриховая – с радиусом 48 мкм, сплошной линией показан спектр пропускания составного резонатора.

Предложенный нами управляемый узкополосный интегрально-оптический фильтр на основе оптически связанных кольцевых и прямых волноводов микронных размеров наиболее полно отвечает современным требованиям. Как показали проведенные исследования методом аналитического моделирования по оптимизации конструктивных параметров и структуре селективного оптического элемента можно получить простой и экономичный интегрально-оптический фильтр с шириной полосы пропускания 0,1 нм и разнесением частот между соседними оптическими несущими 0,2 нм при отношении сигнал/шум 50 дБ. Использование таких фильтров позволит увеличить количество параллельно передаваемых оптических несущих длин волн до 160 и более, то есть обеспечить передачу трафика со скоростями до 1,6 Тбит/с в одном направлении по одному оптическому волокну.

### Литература

1. Jiao, W. Integrated optical filter consisting of micro-ring resonator embedded in Fabry-Perot cavity / W. Jiao, J. Sun // Proc. SPIE 11767, 2020 International Conference on Optoelectronic Materials and Devices. – 2021. – Vol. 11767. – P. 117671G–1–4.

2. Дианов, Е. М. Волоконная оптика: сорок лет спустя / Е. М. Дианов // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 1. – С. 1–6.

3. Goncharenko, I. A. Optical broadband analog-digital conversion on the base of microring resonator / I. A. Goncharenko, A. K. Esman, V. K. Kuleshov, V. A. Pilipovich // Optics Communications. – 2006. – Vol. 257, No. 1. – P. 54–61.

4. Goncharenko, I. Spectral division of the optical fiber passband using narrowband controllable filter on the base of semiconductor waveguide microresonator / I. Goncharenko, A. Esman, G. Zykov [et al.] // J. of Telecommunications and Information's Technologies. – 2008. – № 4. – P. 67–72.

УДК 530.145(075.8)

### **Антенна терагерцового диапазона**

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Работа посвящена увеличению эффективности преобразования энергии терагерцового электромагнитного излучения в энергию электрического сигнала за счет оптимального согласования детектирующей антенны с выпрямительным элементом и волновым сопротивлением открытого пространства.*

Терагерцовый диапазон спектра заключенный между оптическим и радиочастотным являясь областью сближения электроники и фотоники, существенно отличается как теоретической базой, так и техническими средствами, осуществления приема и обработки электромагнитных волн. Волны в терагерцовом спектре обладают специфическими свойствами: они проходят сквозь одежду, дерево, пластик, керамику, но отражаются от металлов и воды. Терагерцовые технологии распространяются на удивительно широкий спектр применения это и контроль пищевых продуктов (определение содержания воды), и медицинская диагностика, контроль фармацевтической продукции, зондирование атмосферы ну и конечно безопасность и оборона, например, обнаружение оружия и взрывчатых веществ при досмотре пассажиров воздушного транспорта. Важно отметить, что терагерцовое излучение в отличие от рентгеновского не опасно для человека. В настоящее время остро стоит задача создания эффективных аппаратных средств, работающих на частотах данного диапазона. Одним из составляющих компонентов в такого рода приборах является детекторный

диод, входящий в состав многоканальных высокоэффективных датчиков электромагнитного излучения с длиной волны 0,1–0,35 мм. [1–3].

Основным недостаткам существующих приемников терагерцового излучения является невысокая эффективность преобразования энергии электр-омагнитного излучения в энергию электрического сигнала, вызванную отсутствием оптимального согласования волнового сопротивления антенны с открытым пространством, а именно на границе раздела двух сред (материал антенны и воздух) резко изменяется эффективная диэлектрическая проницаемость, что вызывает отражение электромагнитного излучения от антенны [4]. Нами предлагается конструкция антенны, позволяющая повысить эффективность детектирования за счет уменьшения потерь на отражение. Антенна терагерцового диапазона, содержит на лицевой стороне прозрачной диэлектрической подложки двух плечевую металлическую антенну, концы внутренних частей плеч которой электрически соединены с выпрямительным элементом. Внутренние части обоих плеч выполнены в виде равнобедренных треугольных неоднородных волноводных линий, с углом при вершине в  $45^\circ$ , а их основания связаны соответственно с внутренними концами оставшихся частей антенны, каждая из которых выполнена в виде, как минимум, одной аподизированной металлической дифракционной решетки.

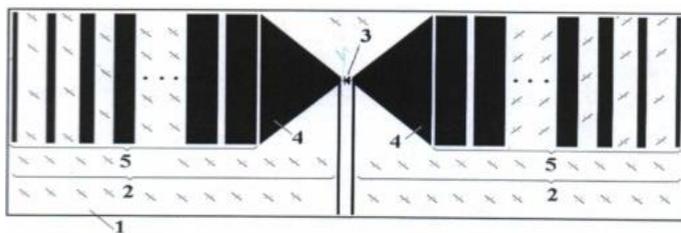


Рис. Структурная схема антенны:

- 1 – прозрачная диэлектрическая подложка; 2 – плечи металлической антенны;
- 3 – выпрямляющий элемент; 4 – равнобедренные неоднородные волноводные линии; 5 – аподизированная металлическая дифракционная решетка

Для эффективного решения поставленной технической задачи аподизированные металлические дифракционные решетки имеют средний период в 5,5 раза меньший, чем длина волны детектируемого электромагнитного излучения, что значительно снижает потери на отражение. Количество периодов в каждой из аподизированных металлических дифракционных решеток выбрано равное простому числу, а коэффициент заполнения штрихов аподизированных металлических дифракционных решеток изме- 380

няется по линейному закону, уменьшая тем самым перепад эффективной диэлектрической проницаемости (показателя преломления) на границах их раздела с окружающим пространством.

Совокупность указанных признаков позволяет решить техническую задачу за счет оптимального согласования детектирующей антенны как с выпрямительным элементом, так, и с волновым сопротивлением открытого пространства.

Антенна выполнена на прозрачной диэлектрической подложке методом фотолитографии. Выпрямительный элемент – это диод Шоттки, выполненный по интегральной технологии на основе кристалла арсенида галлия, в котором один электрод образует барьер Шоттки с базовым слоем кристалла, а второй электрод имеет с ним омический контакт.

Электромагнитное излучение терагерцового диапазона (1–2,5 ТГц) поступает из окружающего пространства на оба плеча 2 детектирующей антенны. В связи с тем, что внешние части плеч 2 антенны выполнены в виде аподизированных металлических дифракционных решеток 5, то на границе раздела их с окружающей средой перепад эффективной диэлектрической проницаемости уменьшается. Поэтому от поверхности антенны отражается лишь незначительная часть (доли процентов) поступающей энергии, а подавляющая часть электромагнитного излучения преобразуется в переменные токи принимаемых частот излучения. Так как период аподизированных металлических дифракционных решеток 5 значительно меньше длины волны детектирующего электромагнитного излучения, то входное излучение без потерь распространяется по решеткам 5 к равнобедренным треугольным неоднородным волноводным линиям 4. Распространяющееся электромагнитное излучение во всех металлических частях антенны вызывает переменные токи частот принимаемого излучения, которые поступают через волноводные линии 4 и детектируются выпрямительным элементом 3. Полученное электрическое напряжение на выходе элемента 3 пропорционально энергии преобразуемого электромагнитного излучения терагерцового диапазона.

Оптимальное согласование приемной антенны с окружающим пространством и выпрямительным элементом 3 в предлагаемом устройстве позволяет существенно повысить эффективность детектирования электромагнитного излучения.

### Литература

1. Братман, В. Л. Освоение терагерцового диапазона: источники и применения / В. Л. Братман, А. Г. Литвак, Е. В. Суворов // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181, № 8. – С. 867–874.

2. Esman, A. K. A terahertz receiver based on electromagnetic materials / A. K. Esman, V. K. Kuleshov, G. L. Zykov // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56, № 7. – P. 813–816.

3. Esman, A. K. Terahertz radiation sensor of the antenna type / A. K. Esman, V. K. Kuleshov, G. L. Zykov, V. B. Zalesski, V. M. Kravchenko // Proceedings 3d International Workshop on THz Radiation: Basic Research & Applications, September 4–5, 2011, Kharkov, Ukraine. – Kharkov, 2011. – Paper tera-001. – P. 1–3.

4. Angelust, A. A. Characteristic responses of biological and nanoscale systems in the terahertz frequency range / A. A. Angelust // Quantum Electronics, 2014. – V. 44, № 7. – P. 614–632.

УДК 37.01:378.4 (476)

**Научные методы исследования в лабораторном физическом  
практикуме студентов технических специальностей**

Юркевич Н. П., Савчук Г. К.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены научные методы исследования твердых тел, используемые при обучении студентов технических специальностей курсу общей физики. Показана важность внедрения новейших методов при проведении лабораторного физического практикума. Разработаны новые лабораторные задания для эффективного изучения кристаллического строения твердых тел, определения химического состава веществ в процессе обучения студентов технического вуза.*

Современные физические методы исследования кристаллического строения твердых тел, наличия в твердых телах дефектности, взаимосвязи физических свойств со свойствами микро- и макроструктуры основаны на изучении характера взаимодействия излучения или потока частиц с твердым телом. В методах используются потоки электронов, фотонов (например, рентгеновские), нейтральных частиц (например, нейтронов) и т. д.

Для определения и анализа особенностей кристаллической структуры [1], химического состава [2–5] твердых тел используются методы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов. Качественный и количественный анализ химического состава твердых тел как простых, так и сложных соединений может быть проведен также с помощью методов спектрального анализа [6]. Спектральный анализ основан на изучении

строения спектров, которые излучаются или поглощаются анализируемым веществом.

Студентам технических специальностей в будущей профессии необходимы навыки определения качества сырья, изучения свойств и состава цемента, песка, полимеров, резины, горных пород и т. д. Для того, чтобы компетентно решать в будущем профессиональные задачи в процессе обучения студенту необходимо ознакомиться как можно с большим числом существующих физических методов. Это позволит будущему специалисту качественно и количественно определить состав в сложной пробе, установить характер изменения требуемых свойств материалов в зависимости от их структурных параметров, химического состава, условий получения.

Данная работа посвящена изучению научных физических методов, которые могут эффективно быть использованы при проведении физического лабораторного практикума в техническом вузе.

Для специальностей строительного профиля предлагается компьютерная лабораторная работа по изучению взаимосвязи физических свойств песка с особенностями кристаллического строения элементарной ячейки.

Песок представляет собой двуокись кремния  $\text{SiO}_2$  и существует в десяти кристаллографических модификациях, каждая из которых обладает своими физико-химическими свойствами. Для изучения в лабораторном физическом практикуме были использованы данные по кристаллическим структурам песка, имеющего кубическую ( $\beta$ -кristобалит) (табл. 1) и тетрагональную (стишовит) (табл. 2) сингонии, для которых характерны примитивная, объемноцентрированная и гранецентрированная элементарные ячейки.

Таблица 1

Характеристики примитивной кубической элементарной кристаллической ячейки  $\beta$ -кristобалита

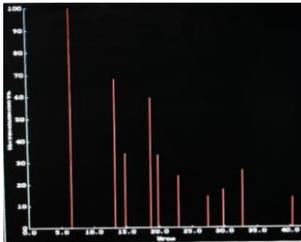
№ п/п	Атом	Валентность $A$	Заселенность $m$	Тепловой фактор $B_i$	Координат		
					$x$	$y$	$z$
1	Si	+4	1	0	0	0	0
2	O	-2	1	0	0	0	0,5

Характеристики примитивной элементарной  
кристаллической ячейки стишовита

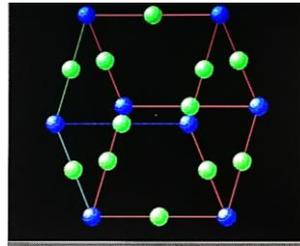
№ п/п	Атом	Валент- ность А	Заселен- ность <i>m</i>	Тепло- вой фактор <i>B<sub>i</sub></i>	Координаты		
					<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
1	Si	+4	0,9998	0	0	0	0
2	O	-2	0,9999	0	0,3062	0,3062	0
3	Si	+4	0,0002	0	0,0023	0,0023	0,0042
4	O	-2	0,0001	0	0,0036	0,0036	0,0065

Для SiO<sub>2</sub> (β-кristобалит) кубической сингонии параметры примитивной кристаллической элементарной ячейки (рис. 1) составляют:  $a = 13,402 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ . Для модификации SiO<sub>2</sub> стишовит атом кремния находится в октаэдрической координации (рис. 2) тетрагональной сингонии параметры элементарной ячейки и углы между ее ребрами имеют значения:  $a = b = 4,1772 \text{ \AA}$ ,  $c = 2,6651 \text{ \AA}$  и  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .

При помощи разработанной программы вычисляются межплоскостные расстояния и относительные интенсивности дифракционных пиков в зависимости от значения углов дифракции. По полученным данным студент самостоятельно может построить штрих-диаграммы (рис. 1, а и рис. 2, а) и изобразить элементарные ячейки с расположенными в ней атомами кремния Si и кислорода O согласно заданным координатам ((рис. 1, б и рис. 2, б).

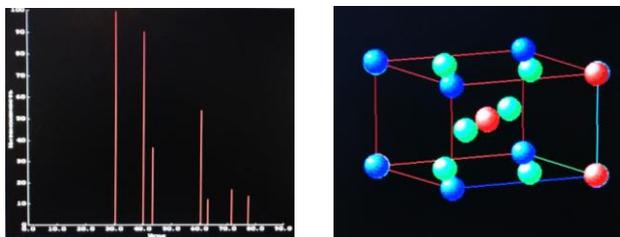


а



б

Рис. 1. Модификация β-кristобалит кубической сингонии:  
а – штрих-диаграмма; б – элементарная ячейка с расположением  
атомов Si (синий цвет) и O (зеленый цвет)



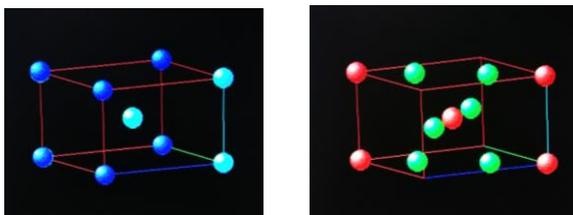
*a*

*б*

Рис. 2. Модификация стишовит с примитивной кристаллической ячейкой тетрагональной сингонии:

*a* – штрих-диаграмма; *б* – элементарная ячейка с расположением атомов кремния Si (синий цвет) и кислорода O (зеленый и красный цвета)

Атомы кремния Si и кислорода O показываются разными цветами и будут расположенными в элементарной ячейке в соответствии с их координатами (табл. 1 и табл. 2). Более того, программа позволяет разделить изображения атомов различных химических элементов, чтобы более точно увидеть их расположение к элементарной ячейке (рис. 3).



*a*

*б*

Рис. 3. Примитивная кристаллическая ячейка стишовита тетрагональной сингонии с расположением:

*a* – атомов кремния Si (синий и голубой цвета); *б* – атомов кислорода O (зеленый и красный цвета)

Таким образом, можно наглядно увидеть различные кристаллические структуры песка и сделать выводы об особенностях физико-химических свойств песком различных модификаций.

Наличие микродеформаций и областей когерентного рассеяния в строительных материалах [7, 9] может быть определено методом двойных мо-

ментов или с использованием формулы Шеррера, связывающей размеры частиц с шириной дифракционных пиков [7, 10–11]. Студентам предлагается исследовать несколько типов керамических материалов, полученных с использованием высокого давления в условиях холодного прессования. Задача обучающихся состоит в том, чтобы установить в каких материалах существуют микронапряжения и какова их величина и сделать вывод о том, как данные микронапряжения в последствии могут повлиять на качество готового изделия.

Исследования проводятся на образцах керамических материалов, полученных с использованием давлений: 1,5 ГПа, 2,5 ГПа и 3,0 ГПа, для которых на рентгеновском дифрактометре предварительно снимаются дифракционные пики для кристаллографических плоскостей с индексами Миллера одного порядка (100) и (200), (111) и (222) с шагом  $0,01^\circ$  и временем экспозиции в точке 10 с. Пик (100) прописан в диапазоне углов ( $20^\circ$ – $25^\circ$ ), пик (111) – ( $36^\circ$ – $38^\circ$ ), пик (200) – ( $43^\circ$ – $45^\circ$ ) и пик (222) – ( $61^\circ$ – $62^\circ$ ).

Согласно разработанному алгоритму проведения физического практикума на основе данных, полученных при помощи компьютерного приложения [3, 5], студентам необходимо вычислить значения средней относительной микродеформации в каждом образце в зависимости от давления, а также определить величину областей когерентного рассеяния, которые характеризуют размеры частиц (зерен) керамических материалов.

Таким образом, имея данные о размерах зерен и областях микронапряжений студенты могут сделать вывод о влиянии давления на микроструктуру и наличие остаточных микродеформаций в материалах.

Химический состав соединений может определяться не только с помощью рентгенофазового анализа, но с помощью спектрального анализа, который является универсальным методом. С помощью спектрального анализа можно определять практически любые элементы в самых разнообразных объектах: твердых, жидких, газообразных.

Студентам предлагается изучить состав химических элементов, заполняющих энергосберегающие современные лампы, которые еще широко используются на производстве. Алгоритм исследования [11] включает в себя градуировку монохроматора по спектру излучения ртутной лампы, определение химического состава неизвестного источника излучения путем сравнения набора длин волн спектральных линий с другими известными химическими элементами. При выполнении исследования студенты должны удостовериться, что неизвестными источниками излучения являются: пары ртути и инертного газа неона (рис. 4).

Во всех предлагаемых к использованию в лабораторном физическом практикуме работах важнейшим элементом является интерпретация получаемых результатов. Возможность проведения глубокого анализа и само-

стоятельных выводов позволяет студентам получать новые знания и развивать способность к аналитическому мышлению.

Данная работа выполнена в рамках научно-исследовательской темы

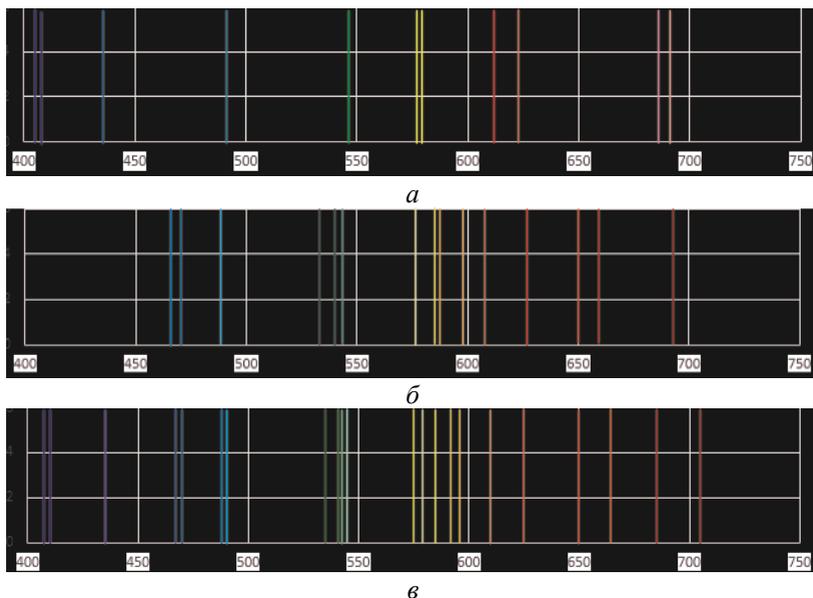


Рис. 4. Спектры излучения:  
*a* – ртути; *б* – неона; *в* – энергосберегающей лампы

кафедры «Физика» Белорусского национального технического университета 21-246 «Информационные и образовательные технологии в инновационном обучении студентов физике в техническом ВУЗе» и изложенный материал можно рассматривать как один из этапов решения задач по внедрению инноваций в учебный процесс.

### Литература

1. Савчук, Г. К. Обучение студентов инженерно-строительного профиля основам рентгеновской дифрактометрии с использованием компьютерной структурной кристаллографии / Г. К. Савчук, Н. П. Юркевич // Физическое образование в вузах. – 2005. – Т. 11. – № 2. – С. 56–65.
2. Sauchuk, G. K. The teaching of students of the construction engineering specializations using the modern computational structural crystallography /

G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // *Scientific Light*. – 2018. – Vol. 1, № 19. – P. 15–20.

3. Юркевич, Н. П. Компьютерное приложение для изучения микродеформаций и микронапряжений в твердых телах по дифракционным пикам / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // *Вода. Газ. Тепло. 2020: матер. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. БНТУ 100-лет. каф. «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020.* – Минск, 2020. – С. 329–332.

4. Есман, А. К. Изучение деформированного состояния твердых тел: пособие / А. К. Есман, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 2. – 44 с.

5. Yurkevich, N. P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk // *Sciences of Europe*. – 2022. – Vol. 1, № 86. – P. 59–66. DOI: 10.24412/3162-2364-2022-86-1-59-66

6. Нефедов, В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений / Нефедов В. И. – М.: Химия, 1984. – 256 с.

7. Головинский, П. А. Определение структуры дисперсных систем по рассеянию рентгеновского излучения / П. А. Головинский, Е. В. Алексеева // *Научный вестник воронежский государственный архитектурно-строительный университет Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии.* – 2011. – № 3–4. – С. 3–13.

8. Лазарев, Д. А. Об определении размеров областей когерентного рассеяния кристаллов кварца в глинистых системах / Д. А. Лазарев, О. Н. Каныгина // *Вестник ОГУ.* – 2012. – № 4. – С. 221–224.

9. Акимов, А. И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезоэлектрические, сверхпроводящие): условия получения, структура, свойства / А. И. Акимов, Г. К. Савчук. – Минск: изд. центр БГУ, 2012. – 256 с.

10. Клопотов, А. А. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении / А. А. Клопотов, Ю. А. Абзаев, А. И. Потехаев, О. Г. Волокитин. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 276 с.

11. Есман, А. К. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом: пособие / А. К. Есман, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 2. – 48 с.

**Digital technologies in the educational space**

Yurkevich N. P.<sup>1</sup>, Sauchuk H. K.<sup>1</sup>, Akhmedov A. P.<sup>2</sup>, Khudoyberganov S. B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus,

<sup>2</sup>Tashkent State Transport University

Tashkent, Republic of Uzbekistan

*The paper examines the use of digital technologies in the educational process. The features of conducting classes online are shown, the main difficulties faced by teachers and students in the digital educational process are considered.*

More and more attention is now being paid to digitizing educational processes. It is not only about supplementing the classical educational process with computer courses or digitization of the taught material. Now it is a trend to create so-called "digital twins" in the concept of "Industry 4.0" technology [1–3]. This technology implies the development of digital models of "everything": from a single subject, to complex processes, including educational, and even to the creation of a digital twin of the student.

The purpose of this work is to consider the issues of developing digitalization of the educational process at the present stage.

Digital resources for individual disciplines have been developed for a long time, such as [4]. At the same time until now there are no clear answers to a number of questions: whether digitalization can be dominant in the process of specialist training; to what extent these technologies should be used; what role in training specialists should play various online courses and online educational platforms; what is the status of online course certificates; what quality should be the material and technical base for the educational process; what resources students have to participate in digital education; how ready and interested

These and other questions are multiplying every day, as virtual digitalization is penetrating more and more into all spheres of society, significantly increasing its influence throughout the educational space.

In the context of digital technology application in higher education institutions, all these issues are relevant, especially in the training of specialists in engineering and technology.

The issues of developing documentation for the transfer of the educational process into digital format in general have been solved by now. However, the

question of developing the concept of a digital educational platform for an individual university remains open. As a rule, ready-made platforms like Microsoft Teams, Moodle and others are used, which allow online conferencing with students, laying out tasks and digitized teaching materials of the studied courses in general physics. When working on the platforms, two important tasks arise for teacher-student interaction.

The first one is related to the provision of methodical materials of proper quality and the organization of control for testing knowledge.

At BNTU Department of Physics, within the framework of providing digital educational process, a number of electronic resources have been developed, which allow to fully conduct online learning of students on the course of general physics in a technical university. There are electronic educational and methodical complexes in the form of the developed program, which can be successfully embedded in the video mode to show in the process of conducting classes with a group of students on all sections of the course of general physics, in particular [5, 6]. A number of electronic publications for methodological support of practical classes and laboratory physics practical work on certain specific topics have been developed, as presented, for example, in [7–9].

The experience of conducting online training by teachers of the department has shown that in online mode it is often difficult to simultaneously track the work of the entire group of students, even using the video mode. Therefore, more time is required when determining the student's proficiency level, as it is necessary to ask more questions and narrow the time interval for the answer, so that the student could not use "hints" from the Internet or other sources. Testing in this case is a form of control. Using testing as a tool to determine the level of students' proficiency has shown that the instructor needs to consider the following factors when preparing methodological materials for testing: optimal testing regulations for each task, a large volume of questions for a random sample, the short duration of fixing answers provided that the test is accessed repeatedly. Part of the difficulty in testing is to find out how deeply a student understands the material being studied. Therefore, in order to get a good learning process using digital technology, the instructor needs extra time for a short individual conversation about the material, which increases the instructor's workload many times over.

The second task is the student's independent work with electronic materials. As a rule, they are presented in the form of a pdf-file or a presentation. Experience shows that when conducting an online lecture, it is necessary to give students the opportunity to take notes and record the material at least in a thesis format. Taking notes, followed by independent study of the material, is more effective in its assimilation. As a rule, students are not always ready for such work, as more time will be spent studying a particular topic than in offline mode

and direct contact with the teacher. Besides, not all students are able to organize such work properly, for example, due to the fact that phones have small screens (fatigue of a student comes much faster), and not everyone has tablets with good viewing parameters.

Based on the above, we can conclude that for the organization of the digital educational process is the right to use the platform, all the rest is the work of the teacher to create content and communication in the Internet space.

In general, it can be noted that at the initial stage digitalization of the educational process was perceived by teachers for various reasons in a somewhat negative way. Nowadays, digitalization is already perceived by teachers of universities as a part of the educational process which allows increasing its efficiency in terms of enhancing students' independent work, accessibility of materials, as well as ensuring a higher receptivity of students when used off-line due to some opportunities of visual perception of methodological materials (bright, color presentations, video clips of physical processes, computer models and demonstrations).

In conclusion, we would like to focus attention on the emergence of all kinds of online training courses. For example, a very famous platform is Coursera [10], on which quality courses in a wide range of specialties and specializations from leading universities and specialists from all over the world are collected. Here you can get an online education in various specialties with obtaining a qualification diploma. However, such an education is quite expensive, and not all students can afford. Completion of courses with a small, at the level of symbolic, payment or free courses allows you to get a certificate, which you can except to share in networks and show your friends. But even in this case, you can get useful information and acquire some skills. However, this is all very far from what is called in the classical sense of education. Those wishing to be educated on this kind of digital courses should be clearly aware of what document they will receive at the end and what status this document gives them. The pluses of online courses are the ability to choose their time deadline, the proposed program, the possibility of learning at a convenient time for the learner.

Thus, the development of digitalization of the educational process is a given, which requires the creation of a certain material and technical base in universities, training of faculty, not only technically working in a digital environment, but also psychological, development of appropriate teaching methods. The experience of distance learning has shown that at this stage, digitalization cannot replace the learning process, which involves the direct participation of the teacher. Communicative relations will always be important in the educational process, in the process of which not only the transfer of knowledge takes place, but also the development of the learner as a person of

human society. These parts of the educational process are so complex that it is unlikely that they will ever be digitized.

### References

1. Liljaniemi, A., Paavilainen, H. Using Digital Twin Technology in Engineering Education – Course Concept to Explore Benefits and Barriers / A. Liljaniemi, H. Paavilainen // *Open Engineering*. – 2020. – Vol. 10 (1). – P. 377–385. DOI: <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0040>.

2. Kuznetsov, N. V. Online-education: key trends and obstacles / N. V. Kuznetsov // *E-Management*. – 2019. – T. 2, № 1. – C. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2019-1-19-25>.

3. Tulchinsky, G. L. Digital transformation of education: challenges for higher education / G. L. Tulchinsky // *Philosophical Sciences*. – 2017. – № 6. – C. 121–136.

4. Kuzhir P. G. The study of sand structure by X-ray diffractometry [Electronic resource]: guidelines for laboratory work on physics for students of engineering and technical specialties / P. G. Kuzhir, H. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich; Belarusian National Technical University, Department "Physics". – Minsk: BNTU, 2009.

5. Esman, A. K. Quantum optics and physics of atomic nucleus. Part 6. [Electronic resource]: the teaching complex on physics for the students of technical engineering specialties / Belarusian National Technical University. National Technical University, co-authors. A. K. Esman, N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk [et al]. – Electronic data. – Minsk: BNTU, 2019.

6. Esman, A. K. Physics of atoms and molecules. Radioactivity. Part 7 [Electronic resource]: educational and methodical complex on the discipline of physics for students of engineering and technical specialties / Bel. National Technical University, co-authors. A. K. Esman, N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk [et al]. – Electron data. – Minsk: BNTU, 2021.

7. Kuzhir, P. G. Tasks for General Physics: dielectrics in an electric field [Electronic resource]: the teaching aid for practical training in physics for engineering students / P. G. Kuzhir, N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk; Belarusian National Technical University, Physics Department. – Minsk: BNTU, 2016.

8. Kuzhir, P. G. The phenomenon of external photoelectric effect [Electronic resource]: guidelines for laboratory work in physics for students of engineering and technical specialties / P. G. Kuzhir, N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk; Belarusian National Technical University, Department of Physics. – Minsk: BNTU, 2015.

9. Observation of liquid–gas phase transition at a critical point [Electronic resource] : guidelines for laboratory classes in physics for students of the joint faculty TIPSEAD–BNTU specialties: 1–70 03 02 "Bridges, transport tunnels 392

and subways", 1–36 11 01 "Lifting and transport, construction, road machines and equipment", 1–70 03 01 "Automobile roads", 1–56 02 01 "Geodesy" / A. K. Esman, N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk, A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, R. M. Mirsaatov; Belarusian National Technical University, Physics Department; Tashkent Institute for the design, construction and operation of roads. – Minsk: BNTU, 2020.

10. Coursera. – Lucsera Inc, 2021. – Access mode: <https://www.coursera.org>. – Date of access: 18.12.2021.

УДК 629.113.65

### **The use of solar panels to power the air conditioning and ventilation system of vans**

Akhmedov A. P.<sup>1</sup>, Khudoyberganov S. B.<sup>1</sup>, Yurkevich N. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan,

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

*The automobile air conditioning system does not use electricity, but part of the power of the internal combustion engine, taken from its crankshaft by means of the drive belt. It is proposed to install portable mobile solar air conditioners in vans, which are powered from solar panels. The solar panels, on the other hand, are placed on the roof of the minibus. This ultimately leads to a significant reduction in material costs of hydrocarbons.*

Car air conditioning system is a type of air conditioning system installed in the car and allows you to cool the air in the cabin, as well as to clean it from moisture and foreign odors. In modern cars, it is an integral part of the ventilation and heating system in the cabin. The peculiarity of such an air conditioner from a technical point of view is that it does not use electricity, but part of the power of the internal combustion engine, taken from its crankshaft by means of a drive belt, sometimes common with the generator belt or a separate one. The air conditioner condenser is usually located under the hood, and in order to avoid the influence of the engine heat on it, it is placed closer to the front bumper of the car, in front of the radiator, but in such a way that the air-cooling of the radiator does not suffer. Drainage of water from the air conditioner evaporator is carried out directly under the car, therefore it is often possible to see a puddle under the car with a working conditioner. Modern air conditioning units are usually structurally combined with the cabin heating system, using common air ducts and control system. Controls of heating and air conditioning systems in

modern cars are usually located on the dashboard, or on the center console between the driver and front passenger. Car air conditioner operates by the same principle as a usual domestic air conditioner or refrigerator, the only difference is a greater compactness of all units and the fact that the power source is an internal combustion engine (electric motor on electric cars). Air conditioner cools air due to the change of aggregation state of the working substance of the system – refrigerant. When changing from one aggregate state to another, the refrigerant takes in or gives out heat. In the air conditioning system circuit, the refrigerant changes from gaseous to liquid state in the condenser, then passes through the filter-drier and in the evaporator it changes again to gaseous state [1]. An air conditioner is based on a compressor and several other elements that require a power source, then an autonomous air conditioner is an air conditioner whose operation is independent of centralized external power sources. The air conditioner itself and the power source can be located in the same case or in different cases and have an electric cable connection. Car air conditioning system can also be called autonomous, as in each car at its core is a conventional refrigerating machine, and electric power is produced from a generator at the expense of the internal engine operation [2].

The latest portable mobile solar air conditioners are created and manufactured in China. Fig. 1. shows a portable mobile solar air conditioner that can be mounted on a car.



Fig. 1. Portable mobile solar air conditioner

Features:

1. 100% solar power source.
2. High quality and high efficiency DC compressor (refrigerant: R134a).
3. Quiet and modern design.
4. Remote control [3].

Since the input power of the portable mobile solar air conditioner is 533 W, it is necessary to install two solar panels of 270 W on the roof of the passenger car. This results in savings of up to 20 % of fuel (gasoline) when driving a passenger car.

Passenger vans occupy a special place in the transportation of people in the city and in the countryside. GAZ-32213 is the most capacious passenger minibus of GAZelle family, on the base of which the special version of "route cab" (Fig. 2) was made.

Notable for its reliable design and unpretentious maintenance, GAZ-32213 rather quickly gained popularity among commercial carriers and became the most common vehicle of its class on the roads of the CIS.



Fig. 2. GAZ-32213 - the most capacious passenger minibus

The GAZ-32213 is based on a van GAZ-2705 and minivan GAZ-3221, which is clearly reminded by the contours of the minibus body. GAZ-32213 cabin is divided into cab and passenger compartment with a low partition. The cabin provides two passenger seats excluding the driver, and in the back of the body there are 11 comfortable high-back and upholstered chairs [4].

GAZelle-NEXT modification A63R42 is a modern and comfortable minibus (by the number of seats) designed for suburban and intercity passenger transportation, created on the basis of GAZelle-NEXT chassis (Fig.3).

GAZ-A63R42 passenger bus received a whole bunch of technological innovations, which were not practically used in domestic automobile industry before. Such approach allowed GAZ Group to produce a workable bus distinguished against the competitors by affordable price, ease of maintenance and durability of operation in different climatic conditions [4, 5].



Fig. 3. "GAZelle-NEXT modification A63R42



Fig. 4. Microbus with solar panels

For air conditioning in the cabin of the minibus, it is necessary to install four portable mobile solar air conditioners with a total capacity of 2100 watts. Eight solar panels with a capacity of 270 W each shall be installed on the roof of the minibus.



Fig. 5. Exhaust air fan for minibus

Solar panels can also be used to power the exhaust air fan in vans.

The use of solar panels for air conditioning and ventilation in the cabin of a minibus leads to a significant reduction in material costs of hydrocarbons.

## References

1. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Innovative technologies in water, municipal services and water transport: Proceedings of the Republican Scientific and Technical Conference, Minsk, 20–21 May 2021. – Minsk: Belarusian National Technical University, 2021. – P. 181–184.
2. Akhmedov, A. P. Methodology of combining real and virtual laboratory works in the educational process of students / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, Zh. Ochilov // Exact science. – 2019. – № 40. – С. 27–31.
3. Autonomous air conditioners // Dantex [electronic resource]. – 2005–2022. – Access mode: <https://dantex.ru/articles/avtonomnye-konditsionery/>. – Date of access: 10.11.2021.
4. Gazel minibus (GAZ-32213) // Commercial transport and machinery on IronHorse.RU [electronic resource]. – 2022. – Access mode: <http://truck.ironhorse.ru/gazel-32213.html>. – Date of access: 15.01.2022.
5. Gazel – Next suburban minibus // Commercial transport and machinery on IronHorse.RU [electronic resource]. – 2022. – Access mode: <http://truck.ironhorse.ru/gazelle-next-bus.html>. – Date of access: 15.01.2022.

УДК 53.08

### Из опыта организации научно-исследовательской работы студентов

Бибик А. И.<sup>1</sup>, Попко С. В.<sup>1</sup>, Петренко С. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

*В условиях современного развития науки и техники особое внимание обращено не только на накопление определенной суммы знаний, но и на воспитание у студентов творческого подхода к изучаемым дисциплинам, к развитию исследовательских навыков. Привитие таких навыков возможно при условии широкого приобщения студентов в процессе обучения к научно-исследовательской работе (НИР).*

Одной из форм приобщения студентов к научным исследованиям является проведение НИР со студентами первого и второго курсов на основе индивидуальных заданий с учетом способностей студентов.

Одна из тем, к выполнению которой привлекаются студенты первых и вторых курсов звучит так: «Исследование взаимодействия постоянных магнитов и электромагнитов с магнитными материалами типа стали и их

сплавов». Для этого в лабораторных условиях с помощью студентов изготавливается экспериментальная установка, состоящая из электродвигателя с валом, на котором можно устанавливать диски из различных сплавов стали, разного диаметра и толщины (рис. 1).

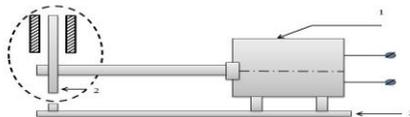


Рис. 1. Схема лабораторной установки с двумя постоянными магнитами:  
1 – электродвигатель; 2 – диск; 3 – платформа

Кроме этого, изготавливается кожух, на котором крепятся плоские постоянные магниты. Кожух крепится неподвижно на платформе вместе с электродвигателем. Обороты электродвигателя с вращающимся диском можно регулировать с помощью потенциометра. Постоянные магниты можно подбирать и менять в зависимости от их свойств. Электромагниты можно регулировать с помощью электрического тока (рис. 2, 3)

Студентам выдаются следующие задания: 1) определить, как влияют магниты, электромагниты на скорость вращения дисков в зависимости от их материалов и свойств вплоть до их установки; 2) подобрать контрольно-измерительные приборы; 3) произвести расчеты в зависимости от параметров магнитов, свойств магнитов, свойств материала дисков, их толщины и диаметра, учитывая скорость диска и его остановки.

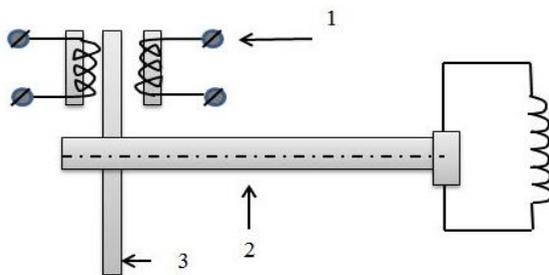


Рис. 2. Схема лабораторной установки с двумя электромагнитами:  
1 – электромагнит; 2 – вал электродвигателя; 3 – диск

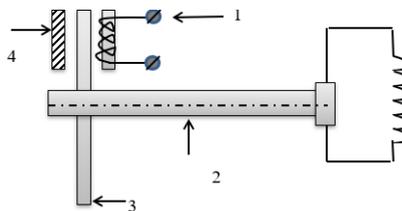


Рис. 3. Схема лабораторной установки с постоянным магнитом и электромагнитом:

1 – электромагнит; 2 – вал электродвигателя; 3 – диск;

4 – постоянный магнит

Данная научно-исследовательская работа может быть использована в народном хозяйстве в области тормозных систем, на транспорте, а также в муфтах передач различных механизмов, так как в настоящее время на транспортных средствах применяют в основном гидравлические и пневматические тормозные системы, которые обладают рядом недостатков. Гидравлические системы используют гидравлическую жидкость (масло), имеют достаточно большой вес и в случае негерметичности быстро выходят из строя, что приводит к аварийной ситуации. Пневматические системы используют сжатый воздух, также имеют большой вес и в случае негерметичности быстро выходят из строя. В случае же использования в будущем магнитных-электромагнитных тормозов приведет к многократному уменьшению веса этих систем, к удобству эксплуатации и ремонта, к высокой степени надежности и экономичности, что будет означать использование новых высоких технологий в данных сферах.

В последнее десятилетие в научной литературе уделяется много внимания созданию фуллерен-содержащих полимеров, поэтому студентам предлагается НИР «Определение физико-механических свойств полистирола ПС и полистирола, модифицированного фуллереном  $C_{60}$ ». Приступая к проведению экспериментов, студент осваивает методику получения фуллеренов путем термического испарения графита, осваивает ряд весьма трудоемких и тонких методов исследования, таких как контактно-динамический метод определения физико-механических параметров вязкоупругих материалов, методику исследования трибологических свойств композиционных материалов.

Структуры ПС +  $C_{60}$  получают методом полива ПС раствором  $C_{60}$  в толуоле. Для определения механических характеристик (модуля Юнга, коэффициента вязкости) исследуемых материалов используют прибор IMPULSE-1В.

Измерение силы трения осуществляют с помощью установки, состоящей из наклонного маятника и счетчика. Измерение силы трения с помощью наклонного маятника основано на измерении уменьшения амплитуды его колебаний. Расчет коэффициента трения производится по формуле:

$$\lambda = \frac{\cos \alpha_n - \cos \alpha_0}{N(\alpha_n - \alpha_0)} \cdot 5t_1 3D \operatorname{tg} \beta,$$

где  $N$  – число полных колебаний;  $\beta$  – угол наклона плоскости;  $D$  – диаметр шарика;  $\alpha_0$  – максимальный угол отклонения маятника в начальный момент движения;  $\alpha_n$  – максимальное значение угла отклонения после  $N$  колебаний.

В результате опытов студенты убеждаются, что коэффициент трения качения полистирола больше коэффициента трения ПС + С<sub>60</sub>. Из чего следует, что полистирол тверже ПС + С<sub>60</sub>. Изменение трибологических свойств вещества, включающих С<sub>60</sub> объясняется очевидно формированием на поверхности покрытия тонкой пленки с дисперсной структурой, которая предотвращает перенос материала контртела на испытываемую поверхность, а также сменой механизма «трение – скольжения» на механизм «трение – качения».

В ходе таких занятий студенты охотно занимаются творчеством, поиском новых решений, применяют их к ситуации. Все это безусловно приводит к глубокому усвоению новых знаний, личностному саморазвитию и мотивирует студентов на дальнейшее профессиональное обучение. Результаты научных исследований студентов составляет основу докладов на студенческих конференциях дипломных и конкурсных задач.

Предлагается и такая тема: «Исследование и практическое применение бытовых отходов: устаревших компьютеров, сотовых телефонов, ноутбуков, планшетов и другой электронной техники». Перед выполнением темы студенты должны ознакомиться с последними достижениями робототехники, программированием, материаловедением, системой датчиков распознавания материалов с помощью лазерных, магнитных и высокочастотных излучений. Затем они получают задание: 1) измельчить механическим способом материалы (для этого использовать перемалывающее шнековые, прессовые и другие машины); 2) отделить магнитные материалы с помощью магнитов или электромагнитов в распределительные отсеки; 3) отделить мелкие материалы и пластмассы с помощью аэродинамических устройств; 4) очистить металлы от пластика картона, бумаги; 5) еще больше измельчить механические частицы и отдельно пластиковые частицы; 6) после этого мелкие измельченные частицы поместить в плавильные агре-

гаты (муфельные печи, электрические конвертеры). Отходы пластика в дальнейшем можно использовать для строительных, дорожных материалов, что улучшит их качество.

На основе полученных конкретных данных студенты должны построить модель широкого спектра переработки бытовых и промышленных отходов. Эта модель в дальнейшем должна служить для построения утилизирующего предприятия или завода. Данная тема является наиважнейшей в нашем промышленном и технологическом мире и внесет гигантский вклад в защиту экологии и природы нашей планеты.

### **Литература**

1. Судник, Л. В. Применение наноструктур в защитных композиционных материалах / Л. В. Судник, В. С. Ткачук // Наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2018. – С. 226–229.

2. Игнаткович, И. В. Повышение уровня мотивации студентов к будущей профессиональной деятельности / И. В. Игнаткович // Наука – образованию, производству, экономике: материалы VI междунар. науч.-практ. конф., Минск: в 3 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2012. – Ч. 1. – С. 73–75.

3. Пенязьков, О. Г. Материалы, содержащие фуллерены: достижения и надежды / О. Г. Пенязьков, Э. М. Шпилевский, Г. Шилагарди // Наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2015. – С. 6–13.

УДК 378.146

### **Применение интерактивных видеообучающих технологий для оптимизации усвоения лекционного материала**

Бибик А. И.<sup>1</sup>, Попко С. В.<sup>1</sup>, Петренко С. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*Предлагается внедрение в процесс обучения мобильных приложений тестирования для усиления мотивации и оптимизации работы в классе, создания новых форматов заданий и упражнений на основе приложений обратной связи для развития коммуникативной и социокультурной компетенций, а также для организации интерактивной аудиторной и самостоятельной работы обучающихся.*

Интеграция новейших компьютерных и мобильных технологий в процесс обучения является одним из важнейших условий модернизации современной системы высшего образования. Еще совсем недавно мобиль-

ные технологии использовались в обучении в основном для получения мгновенного доступа к учебным материалам. Сейчас, в связи с бурным развитием мобильных и облачных технологий и их популярностью среди молодежи становится очевидным, что интеграция мобильных технологий в учебный процесс может коренным образом модернизировать систему обучения. В частности, они позволяют создать мобильную интерактивную среду обучения и обеспечить мгновенную обратную связь, помогают создавать новые форматы интерактивных заданий, основанных на применении приложений дополненной реальности.

Мобильные технологии позволяют создавать интерактивные модели обучения, которые основываются на исследовательско-ориентированном подходе. Такие диалогические модели обучения похожи на научно-исследовательский процесс. Особое внимание в этом случае уделяется стимулированию сотрудничества и неформального общения, так как мобильная интерактивная среда мотивирует общение обучающихся с членами группы, преподавателями и другими специалистами в любое время и в любом месте, предоставляет возможность получить доступ к любым данным, обмениваться собственным контентом. Использование мобильных технологий в учебном процессе меняет доступ к учебным материалам и способу их презентации, что влечет за собой изменения самой сути учебного взаимодействия, процесса контроля и оценивания.

Одним из наиболее эффективных методов взаимодействия между преподавателем и обучающимися является использование интерактивных систем опроса и голосования (так называемых *кликеров*). Сегодня на рынке представлено достаточно большое количество подобных систем, работающих на мобильных устройствах (*Socrative*, *PollEverywhere*, *Xorro\$Q*, *Mentimeter*, *MbClick*, *The SMART* и т. д.). По нашему мнению, одной из наиболее перспективных является мобильная система голосования Student Response System (SRS), разработанная в Hong Kong Metropolitan University, которая с 2009 г. используется университетами и школами более 17 стран мира. Она позволяет преподавателям получать мгновенную оценку выполненных студентами тестов, отслеживать динамику группы, управлять обратной связью в классе, получать отзывы студентов об учебном процессе. Исследование, проведенное университетом Sør-Trøndelag (Норвегия, Тронхейм) с целью выявления дидактических возможностей и функций SRS, продемонстрировало значительное улучшение мотивации студентов и их академической успеваемости [1]. В табл. приведены технические характеристики и соответствующие им дидактические функции SRS.

## Технические характеристики и дидактические функции SRS

Технические характеристики SRS	Дидактические функции SRS
Мгновенная оценка выполненного теста и обратная связь	Мгновенная обратная связь в случае возникновения проблем в процессе обучения в большой аудитории; Своевременная оценка динамики группы: преподаватель может следить, как усваиваются полученные знания; Результаты работы обучающегося находятся под постоянным контролем; Повышается участие и вовлеченность обучающихся на всех уровнях; Навыки и умения практикуются с помощью формирующих тестов SRS
Быстрая визуализация результатов	Повышение мотивации обучающихся; Оценка и отслеживание динамики группы
Анонимное представление результатов теста	Создание условий обучения с низким уровнем беспокойства: стеснительные и застенчивые студенты чувствуют себя более уверенно; Работа над ошибками проходит в форме дискуссии
Функция «tag-ib»	Визуализация обучающих материалов: помогает преподавателям задавать большое количество вопросов, используя мультимедийный материал; Дольше удерживает внимание обучающихся
Необходимое оборудование: один компьютер, мобильные устройства, доступ в Интернет	Обучение в условиях с ограниченным количеством технических устройств; Нет необходимости в использовании дорогостоящего оборудования
Обучающиеся используют свои мобильные устройства	Нет необходимости в проведении инструкций, т. к. устройства знакомы

Интеграция SRS в традиционный лекционный курс влечет за собой необходимость трансформации презентации содержания обучения: мате-

риал лекции должен быть разбит на логически завершенные части длительностью около 10–15 минут (примерно 5–6 слайдов презентации), каждая из которых завершается коротким SRS тестом на четыре-пять вопросов. Лектор должен подготовить минимум три-четыре SRS теста для диагностики усвоения лекционного материала.

Мобильная система голосования идеально подходит для диагностики процесса усвоения материала группой, обеспечивая быструю обратную связь и мгновенные результаты теста. Данный подход помогает преподавателю выявлять слабые стороны презентации учебного материала, своевременно вносить поправки и давать дополнительные разъяснения. Кроме того, преподаватель должен подготовить проблемные задания для того, чтобы стимулировать послетестовую групповую дискуссию, если обучающиеся будут испытывать сложности. Основная цель проблемных заданий – помочь студентам самостоятельно прийти к правильному решению путем групповых обсуждений и логических заключений. Таким образом, модель лекции с SRS поддержкой очень напоминает модель массовых онлайн курсов [2].

Традиционный курс лекций предполагает одностороннюю передачу учебной информации студентам, которые являются при этом пассивными реципиентами знаний. Внедрение метода активного обучения с использованием диагностирующих тестов на базе SRS может стать ключевым в трансформации традиционной лекции и в изменении отношения студента к образовательному процессу. Предложенная модель трансформации традиционной лекции на базе SRS позволяет создавать интерактивную среду обучения, которая положительно влияет на академическую успеваемость и мотивацию студентов.

### Литература

1. Arnesen, K. Experiences with Use of Various Pedagogical Methods Using Student Response System / K. Arnesen // The 11th European Conference on E-Learning: proceedings. – UK, 2012. – P. 20–27.

2. Андреев, А. А. Российские открытые образовательные ресурсы и массовые открытые дистанционные курсы / А. А. Андреев // Высшее образование в России. – 2014. – № 6. – С. 150–156.

**Анализ электрических сигналов преобразователя при считывании информации с магнитного носителя**

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С., Зыков Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены дифференциальные зависимости  $U(t)$  электрического напряжения от времени  $t$  на выходе магнитной головки (МГ), сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей, обусловленных разными причинами. На МН воздействовали импульсами магнитного поля. Получены интегральные зависимости  $U(t)$  с записями поля дефекта в металлическом объекте. На основании проведенного анализа этих зависимостей выделен сигнал поля дефекта из полного сигнала, считываемого магнитной головкой с магнитного носителя. Анализ сигналов МГ позволяет повысить точность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.*

Магнитографическая дефектоскопия первоначально была разработана для контроля качества сварных соединений изделий из ферромагнитных сталей [1, 2]. При этом на магнитный носитель (МН) записывали информацию, обусловленную дефектами сплошности, а также поверхностными неоднородностями изделия и изменением его толщины в области сварного шва.

Магнитные носители с разными характеристиками широко используются нами для контроля объектов не только из ферромагнитных материалов, но и из парамагнитных и диамагнитных металлов.

Дифференциальный фон электрического сигнала, снимаемого с индукционной магнитной головки (МГ) при сканировании ею МН, достаточно полно изучен авторами [3]. Там выявлен фон намагниченного магнитного носителя, фон его краев, фон локальных дефектов МН. Также выявлены и исследованы: фон сигнала, обусловленный неоднородностью магнитного поля локального источника, фон дефектов и структурных неоднородностей объекта, эфирный электромагнитный фон.

Особо отметим выявленные и исследованные нами резонансные фоны самовозбуждения измерительной системы на сигналах краев МН, дефектов МН, приборных и сетевых наводок и помех, дефектов объекта, эфирных электромагнитных полей.

Исследования по изучению фона МН были продолжены при использовании магнитного носителя с арктангенсной характеристикой при воздей-

ствии на него с объектом перекрывающимися во времени импульсами магнитного поля [4] и формировании изображений электрических сигналов при гистерезисной интерференции в импульсных магнитных полях [5].

В этом плане отметим также работы по контролю дефектов сплошности в металлах с помощью пленочных флюкс-детекторов [6], где требуется изучение оптического фона, и контролю дефектов в прошедшем через металл импульсном магнитном поле [7]. Несмотря на достаточно глубокое изучение сигналов, снимаемых с МГ при контроле объектов, остается целый ряд вопросов, требующих своего дальнейшего решения.

Целью настоящей работы является повышение точности определения параметров дефектов в объектах из парамагнитных, диамагнитных и ферромагнитных материалов, а также толщины этих объектов и удельной электропроводности их материала. Поставленная цель достигается тем, что воздействуют на объект импульсным магнитным полем, записывают информацию о его свойствах на магнитный носитель. После этого считывают информацию с МН индукционной магнитной головкой и получают дифференциальную зависимость электрического напряжения на выходе МГ от времени. Полученную дифференциальную зависимость интегрируют. Затем проводят анализ дифференциальной и интегральной зависимостей, на основании которого выделяют полезный сигнал из полного сигнала, считываемого магнитной головкой с магнитного носителя, и определяют свойства объекта. Полезным сигналом может быть сигнал, обусловленный импульсным магнитным полем дефектов сплошности, структурных неоднородностей материала объекта и другими причинами.

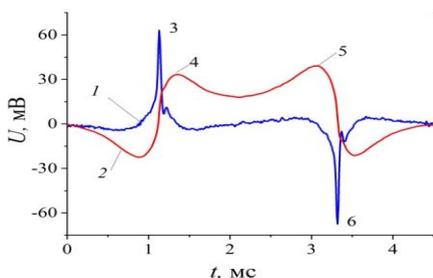


Рис. 1. Зависимости  $U(t)$ , снимаемого с МГ, сканирующей МН:

- 1 — дифференциальная; 2 — интегральная;
- 3, 6 — пики сигналов от краев МН;
- 4, 5 — максимумы сигнала

На рис. 1 показана экспериментальная зависимость  $I$  электрического напряжения  $U(t)$ , снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей. Здесь же изображена интегральная зависимость 2, полученная путем интегрирования зависимости 1. На этом рисунке видны пики сигналов от краев МН 3 и 6, а также максимумы сигнала интегральной зависимости 4 и 5. Координаты сигналов краев магнитного

носителя соответствуют ближайшим к максимумам 4 и 5 точкам интегральной зависимости с нулевым уровнем сигнала.

На рис. 1 видны другие неоднородности сигнала, вызванные разными причинами, в том числе помехами, возникающими при считывании информации с МН, нелинейными характеристиками системы измерения, включающей магнитную головку и другими причинами. Измерения проведены с помощью цифрового осциллографа.

На рис. 1 и на всех последующих рисунках отрезку времени 1 мс соответствует отрезок расстояния, равный 1,1 см.

В данном случае задачей исследования является разработка способов выделения полезной информации из полной информации, записанной на МН. Полезным сигналом является сигнал поля глубинного дефекта сплошности в металлическом объекте. Этот сигнал может содержать зависимость  $U(t)$  как сигнал поля реального дефекта в объекте либо он может быть моделирован и наложен на указанную зависимость. В любом случае нам надо его выделить.

Пусть зависимость сигнала поля дефекта является такой, как показано на рис. 2, то есть является частью дифференциальной зависимости 1 на участке от точки с параметрами (2,13 мс; 0 мВ) до точки (2,83 мс; 7,5 мВ). Размах сигнала, определяемый пиками 5 (2,40 мс; 29,5 мВ) и 7 (2,63 мс; -10,0 мВ) составляет 39,5 мВ. В результате интегрирования зависимости 1 (рис. 2) получаем интегральную зависимость 2 с максимумом сигнала дефекта 6.

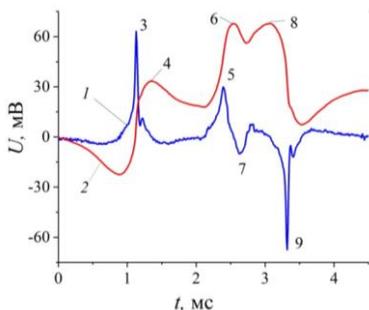


Рис. 2. Зависимости  $U(t)$ :

1 – дифференциальная;  
2 – интегральная; 3, 9 – пики сигналов от краев МН; 4, 6, 8 – максимумы сигнала; 5, 7 – пики сигнала дефекта

Для выделения сигнала дефекта из полного сигнала построим графики на рис. 3. Здесь показаны интегральные зависимости  $U(t)$  1 и 3 соответственно в отсутствие дефекта и с дефектом, а также их разностная зависимость 4. Максимумы сигнала 2, 6 и 7 – максимумы, обусловленные краями МН, но не совпадающие с ними, так как являются интегральными зависимостями.

Максимум сигнала дефекта 5 принадлежит интегральной зависимости 3.

На графике разностной зависимости 4 отдельно выделен пик сигнала дефекта 8 (2,52 мс; -43,9 мВ).

Уровни разностного сигнала слева и справа от этого пика являются отрезками прямых с величиной напряжения  $U_1 = 0$  мВ (0–2,13 мс) и  $U_2 = -28,7$  мВ (2,86–4,49 мс).

Как следует из рис. 3, интегральные зависимости 1 и 3, построенные путем интегрирования экспериментальных дифференциальных зависимостей  $I$  на рис. 1 и  $I$  на рис. 2 не соответствуют действительным распределениям остаточной намагниченности магнитного носителя вследствие временных смещений уровня сигнала по оси ординат. Значит, графики интегральных зависимостей требуют дополнительной обработки.

В результате соответствующих преобразований разностной зависимости 4 указанные уровни  $U_1$  и  $U_2$  на рис. 3 станут одинаковыми. Тогда сигнал поля дефекта будет выделен более точно и относительно нулевого уровня, и по форме, и величине. Таким образом, на основании проведенного анализа с последующим применением разработанного метода контроля выделен полезный сигнал из полного сигнала, считываемого магнитной головкой с магнитного носителя, по которому могут быть определены параметры дефекта или неоднородности.

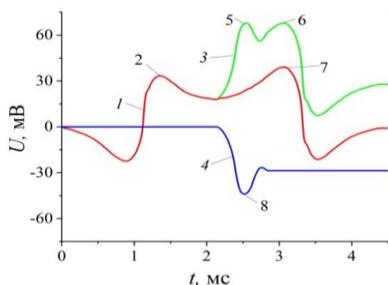


Рис. 3. Интегральные зависимости  $U(t)$ :

- 1 — в отсутствие дефекта;
- 3 — с дефектом; 4 — разностная;
- 2, 6, 7 — максимумы сигнала МН;
- 5, 8 — максимумы сигнала дефекта

ного носителя, так и с определением остаточной намагниченности участков магнитного носителя, то есть с определением параметров магнитного поля дефекта в импульсном магнитном поле.

Проведенный анализ сигналов, снимаемых с магнитной головки, позволяет повысить точность контроля не только параметров дефектов в металлических объектах, но и толщины этих объектов и удельной электропроводности материала, из которого они изготовлены.

При работе на линейном участке характеристики магнитного носителя, а точнее — всей измерительной системы, включающей магнитную головку, величина сигнала поля дефекта прямо пропорциональна величине остаточной намагниченности магнитного носителя.

Таким образом, контроль объектов разработанным методом можно осуществлять как непосредственно по величине измеряемого напряжения на выходе магнитной головки, считывающей информацию с магнитного

## Литература

1. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
2. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.
3. Pavlyuchenko, V. V. Differential Background of Electric Signal Read from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, No. 8. – P. 706–716.
4. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 12. – P. 949–956.
5. Pavlyuchenko, V. V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, No. 11. – P. 907–914.
6. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Discontinuities in Metals Using Film Flux / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 1. – P. 48–58.
7. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, No. 10. – P. 856–864.

УДК 620.130

### **Контроль свойств металлических объектов в прошедшей и отраженной электромагнитной волне**

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С., Зыков Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены расчетные зависимости  $U(x)$  электрического напряжения от координаты  $x$  на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей, отраженных от одиночных пластин из алюминия толщиной 0,10 мм и 0,11 мм, а также полей, прошедших через эти пластины, находящиеся с зазором в составе массивного объекта. На МН воздействовали серией из четырех импульсов магнитного поля линейного индуктора. Полученные результаты позволяют повысить чувствительность и точность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.*

Оперативность контроля, его наглядность и возможность определения свойств объектов одновременно на значительных площадях их поверхности, возможность визуального изучения информации об объекте и ее автоматической обработке может быть осуществлена применением пленочных флюкс-детекторов [1].

Достаточно высокой точности контроля удельной электропроводности двухслойных немагнитных объектов можно достигнуть импульсным вихретоковым методом [2]. Этот же метод применен, например, в [3], где представлены алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС.

Во многих случаях для контроля дефектов сварных швов изделий из ферромагнитных материалов может быть успешно применен магнитографический метод, существенное развитие которого осуществлено еще в [4]. Контроль дефектов с записью на магнитный носитель (МН) в прошедшем через металл импульсном магнитном поле [5] дополняет информацию, полученную о свойствах объекта в отраженной электромагнитной волне.

Компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов [6] позволяют повышать точность экспериментальных исследований.

Повысить точность и чувствительность контроля свойств объектов из парамагнитных и диамагнитных металлов позволяют также полученные нами гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора [7] и гистерезисная интерференция (*HI*) перекрывающихся во времени импульсов магнитного поля [8]. Несмотря на достаточно высокие чувствительность и точность определения свойств объектов с применением *HI* в отраженной волне, требуется дальнейшее повышение качества контроля с применением метода гистерезисной интерференции.

Целью настоящей работы является повышение чувствительности и точности определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах. Поставленная цель достигается тем, что находят картину гистерезисной интерференции в прошедшей через металл волне и дополняют ею гистерезисную картину, полученную в отраженной электромагнитной волне.

При проведении расчетов в качестве первичного источника импульсного магнитного поля применен линейный индуктор, который находился на расстоянии 0,6 см от МН параллельно плоскости магнитного носителя. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля *H* линейного индуктора на поверхности магнитного носителя находили по формуле:

$$H = A / (x^2 + 0,36), \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, А·см;  $x$  –расстояние до проекции оси индуктора на МН, см.

Величина  $H$  измеряется в А/см.

Исследования проведены с помощью магнитного носителя с арктангенсной характеристикой. Параметры гистерезисных ветвей этого носителя найдены авторами ранее [8].

На рис. 1 показаны расчетные зависимости  $U(x)$  1, 2, 3 и 4 с минимумами сигнала 5, 6, 7 и 8. Зависимости 1 и 2 построены в отраженном импульсном магнитном поле при толщине одиночных алюминиевых пластин соответственно 0,10 мм и 0,11 мм. Зависимости 3 и 4 получены в прошедшем поле при толщине алюминиевых пластин соответственно 0,11 мм и 0,10 мм, находящихся в составе массивного объекта из алюминия, то есть в зазоре между указанными пластинами и объектом, толщина которого больше длины электромагнитной волны четвертого импульса в алюминии.

Значения коэффициента  $A$  в формуле (1) для первого, второго, третьего и четвертого импульсов зависимости 1 составляли:  $A_1 = 500$  А·см,  $A_2 = -370$  А·см,  $A_3 = 190$  А·см,  $A_4 = -34,09$  А·см. Для зависимостей 2, 3 и 4 величины коэффициентов  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  оставались прежними, а четвертые коэффициенты были равны соответственно  $A_{42} = -35,12$  А·см,  $A_{43} = -41,29$  А·см,  $A_{44} = -40,716$  А·см.

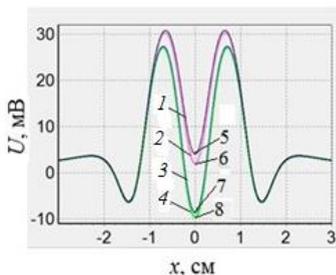


Рис. 1. Расчетные зависимости  $U(x)$ :  
1, 2 – в отраженном;  
3, 4 – в прошедшем поле с минимумами  
сигнала 5, 6, 7 и 8

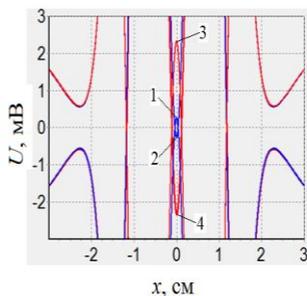


Рис. 2. Расчетные зависимости  $U(x)$  в  
отраженном поле с пиками  
сигнала 1–4

Исходя из результатов проведенных нами ранее исследований [8] нашли такие параметры четвертого импульса, при которых увеличению толщины одиночной алюминиевой пластины с 0,10 мм до 0,11 мм соответствует увеличение напряженности суммарного магнитного поля вблизи

поверхности пластины с 94,7 А/см до 97,6 А/см (в 1,031 раза) при величине напряженности магнитного поля первичного источника 66 А/см и указанном времени нарастании импульса. Таким образом, по гистерезисным ветвям магнитного носителя определили величину коэффициентов  $A_{41}$  и  $A_{42}$ . На основании проведенных нами ранее исследований распределения напряженности импульсного магнитного поля в узких зазорах между металлическими объектами нашли, что увеличению толщины алюминиевой пластины в составе массивного объекта с 0,10 мм до 0,11 мм соответствует уменьшение напряженности суммарного магнитного поля в зазоре вблизи поверхности пластины с 114,7 А/см до 113,1 А/см (в 1,014 раза) при указанной напряженности первичного магнитного поля. Так определили величину коэффициентов  $A_{43}$  и  $A_{44}$ . Напомним, что речь идет о максимальной напряженности магнитного поля. Разработанные методы контроля позволяют значительно повысить чувствительность и точность определения свойств объектов.

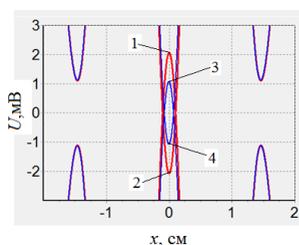


Рис. 3. Расчетные зависимости  $U(x)$  в прошедшем поле с пиками сигнала  $I-4$

увеличению толщины пластины в 1,1 раза размах сигнала увеличился в 8 раз вместо увеличения сигнала в 1,087 раза без использования НИ (см. размах сигнала зависимости 1 и минимумы 5 и 6 на рис. 1) и вместо увеличения напряженности магнитного поля в 1,031 раза.

Далее проведем смещение зависимостей 3 и 4 на рис.1 на 7,5 мВ также с построением графиков зеркальных функций. В результате получим новые зависимости с пиками сигналов  $I-4$  на рис. 3. Размах сигнала  $I-2$  равен 4,1 мВ и соответствует алюминевой пластине толщиной 0,10 мм, а размах  $3-4$  составляет около 2,1 мВ и соответствует пластине толщиной 0,11 мм. Это значит, что при увеличении толщины пластины в 1,1 раза размах сигнала уменьшился почти в 2 раза вместо уменьшения сигнала в 1,037 раза без использования НИ (см. размах сигнала зависимости 4 и минимумы 7 и 8 на рис. 1) и вместо уменьшения напряженности магнитного поля в 1,014 раза. В обоих случаях использовался один и тот же импульс магнитного поля.

Заметим, что изображения таких фигур, которые показаны на рис. 2 авторы получают при непосредственном считывании информации с преобразователя магнитного поля. Для этого не следует строить графики зеркальных функций. Поэтому появляется возможность значительного увеличения чувствительности метода.

Теоретически благодаря операциям, проделанным с табличными данными (и данными в виде функций), можно неограниченно повышать чувствительность метода при расчетах, базирующихся на экспериментальных данных. Что же касается погрешностей, возникающих при экспериментальных исследованиях, то они зависят от ряда причин. В том числе они определяются приведенной величиной отклонения используемого прибора на данном диапазоне измерения. Как было показано в предыдущих работах авторов, разработанным методом можно определять величину удельной электропроводности материалов и выявлять дефекты в них.

Осуществление гистерезисной интерференции в прошедшей волне дополняет информацию о свойствах контролируемого объекта и позволяет повысить чувствительность и точность определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах.

### Литература

1. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russ. J. Nondetr. Test. – 2018. – Vol. 54, № 1. – P. 70–76.
2. Терехин, И.В. Контроль удельной электропроводности двухслойных немагнитных объектов импульсным вихретоковым методом / И. В. Терехин, Е. А. Славинская // Дефектоскопия. – 2019. – № 4. – С. 30–36.
3. Жданов, А. Г. Алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС / А. Г. Жданов, Е. Г. Шукис, В. П. Лунин, А. А. Столяров // Дефектоскопия. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
4. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
5. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal // V. V. Pavlyuchenko / Russian Journal of Nondestructive Testing, 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 856–864.
6. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondetr. Test. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.

7. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

8. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 12. – P. 949–956.

УДК 620.130

### **Расчеты распределений электрического сигнала преобразователя магнитного поля**

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены расчетные зависимости  $U(x)$  электрического напряжения от координаты  $x$  на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей. На МН воздействовали тремя импульсами магнитного поля одного и двух линейных индукторов. Расчеты проведены в отраженной волне. Получена гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля, позволяющая повысить оперативность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.*

Расчеты распределений электрического сигнала при гистерезисной интерференции приведены в [1–3]. Так, в [1] описана гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора, а компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов изложены в [2]. Повысить точность определения свойств объектов позволяют также проведенные авторами ранее расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля [3].

Отметим расчетные методы, не относящиеся к гистерезисной интерференции. Это математическое моделирование определения геометрических параметров внутренних дефектов различных форм методом магнитной дефектоскопии [4] и компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных

интегральных уравнений [5], а также расчетный способ оценки параметров дефектов в сталях [6].

Формирование изображений электрических сигналов преобразователя магнитного поля при гистерезисной интерференции для контроля металлов в импульсных магнитных полях изучено в [7]. Там на МН с арктангенсной характеристикой воздействовали сериями разнополярных импульсов магнитного поля линейного индуктора из одного, двух, трех, четырех, пяти и пятнадцати импульсов. При этом проводили анализ зависимостей электрического напряжения, снимаемого с магнитной головки (МГ), от пространственной координаты при линейных изменениях толщины пластины. Толщина алюминиевой пластины была порядка 0,1 мм.

В указанной работе представлен алгоритм последовательности изменений величины суммарной напряженности импульсов магнитного поля на поверхности алюминиевой пластины, обеспечивающий одинаковую амплитуду гистерезисных колебаний электрического напряжения в заданном интервале значений аргумента. Установлено, что этот алгоритм позволяет получить линейную (близкую к линейной) разностную зависимость сигнала от координаты для клинообразного алюминиевого образца.

Отметим, что при теоретических расчетах и экспериментальных исследованиях следует учитывать дифференциальный фон электрического сигнала, снимаемого с индукционной магнитной головки [8].

Несмотря на достаточно высокие чувствительность и точность определения свойств объектов с применением гистерезисной интерференции, требуется дальнейшее повышение качества контроля, в частности, повышение его оперативности.

Целью настоящей работы является повышение оперативности определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах. Поставленная цель достигается тем, что находят картину гистерезисной интерференции в отраженных от объекта волнах двух источников одновременно.

Произведем расчеты магнитных полей для одного и двух линейных индукторов. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля линейного индуктора  $H$  на поверхности магнитного носителя находим по формуле:

$$H = A / (x^2 + 0,36), \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, А·см;  $x$  – расстояние до проекции оси индуктора на МН, см.

Величина  $H$  измеряется в А/см. Линейный индуктор находится на расстоянии 0,6 см от МН параллельно плоскости носителя.

Воспользуемся найденными ранее нами гистерезисными ветвями  $U(H)$ , используемого магнитного носителя [7], где  $U$  – величина электрического напряжения на выходе магнитной головки, сканирующей МН с записями магнитных полей. Начальная зависимость для используемого МН может быть описана функцией арктангенс:

$$U_1 = 23,5 + 24,3 \arctg(0,011H - 1,45). \quad (2)$$

Величина электрического напряжения выражена в милливольтгах, а напряженность магнитного поля – в А/см.

Функция электрического напряжения при намагничивании магнитного носителя в обратном направлении описывается следующим выражением:

$$U_2 = -23,5 + 0,62U_1 + (24,5 + 0,4U_1) \arctg((0,011 + 0,000087U_1)H + 1,45 - 0,0016U_1). \quad (3)$$

Аналогичной функцией описывается зависимость  $U_3(H)$  при намагничивании МН последующим импульсом в прямом направлении с коррективкой знаков перед слагаемыми.

На рис. 1 изображены зависимости 1, 2 и 3  $U(x)$ , полученные в результате воздействия на МН соответственно одним, двумя и тремя импульсами магнитного поля. Значения коэффициента  $A$  в формуле (1) для первого, второго и третьего импульсов составляли:  $A_1 = 144$  А см,  $A_2 = -73,2$  А см и  $A_3 = 40$  А см. Здесь же показан центральный максимум сигнала 4 зависимости 3, соответствующий положению проекции оси индуктора на МН.

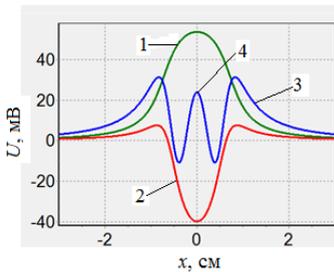


Рис. 1. Зависимости  $U(x)$ :  
 1 –  $A = 144$ ; 2 –  $A = -73,2$ ;  
 3 –  $A = 40$ ;  
 4 – максимум сигнала

Для повышения точности контроля указанных свойств объектов используется полученное авторами явление гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля.

Результаты воздействия на МН тремя импульсами двух параллельных линейных индукторов с параллельными осями показаны на рис. 2.

Здесь изображены расчетные зависимости  $1$  и  $2$  (зеркальная)  $U(x)$ , а также их центральные максимум  $3$  и минимум  $4$ . Значения коэффициента  $A$  в формуле (1) для первого, второго

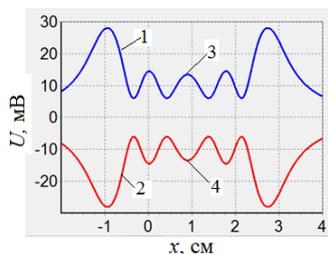


Рис. 2. Расчетная зависимость  $U(x)$ :  $1$  – с максимумом  $3$ ;  $2$  – зеркальная зависимость с минимумом  $4$  сигнала;  $A = 144, -77,2, 35; 38,5$

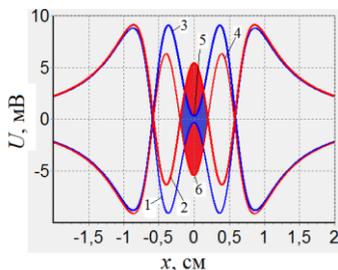


Рис. 3. Расчетные зависимости  $U(x)$ :  $1$  – ( $A = 144, -77,2, 35$ );  $2$  – ( $A = 144, -77,2, 38,5$ );  $3, 4$  – зеркальные зависимости;  $5$  – минимум сигнала,  $6$  – максимум сигнала

отсутствует) и равен  $0,6$  мВ.

На рис. 3 показан центральный максимум  $6$ , образованный значениями зависимостей  $2$  и  $4$  в этой же точке и равный  $11$  мВ. Зависимость  $1$  получена в результате воздействия на МН тремя импульсами магнитного поля. Значения коэффициента  $A$  в (1) для первого, второго и третьего импульсов составляли:  $A_1 = 144$  А·см,  $A_2 = -77,2$  А·см и  $A_3 = 35$  А·см.

При построении графика зависимости  $2$  значения  $A_1$  и  $A_2$  оставались теми же, как и для зависимости  $1$ , а третий коэффициент был равен  $A_3 = 38,5$  А·см. Это означает, что максимальная величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля вблизи поверхности объ-

и третьего импульсов составляли:  $A_1 = 244$  А·см,  $A_2 = -53,2$  А·см и  $A_3 = 40$  А·см. При контроле объектов величина напряженности магнитного поля вблизи поверхности изменяется из-за возникновения индукционных токов в электропроводящем объекте.

Следовательно, при теоретических расчетах следует устанавливать соответствующие величины коэффициентов  $A$ . Как показали наши исследования, максимальные чувствительность и точность контроля толщины объекта могут быть достигнуты в том случае, когда центральный максимум для эталонного объекта равен нулю. При контроле объекта с использованием полей двух линейных источников будем устанавливать близкую к нулю величину максимума посередине между проекциями индукторов на МН в отсутствие объекта.

На рис. 3 изображены зависимости  $U(x)$   $1$  и  $2$  и их зеркальные зависимости  $3$  и  $4$ . Здесь также показан центральный минимум сигнала  $5$ , размах которого образован значениями зависимостей  $1$  и  $3$  в точке  $x = 0$  (объект

екта вследствие возникновения в нем индукционных токов увеличилась в 1,1 раза, а размах сигнала благодаря использованию гистерезисной интерференции увеличился с 0,6 мВ до 11 мВ, то есть в 18 раз.

Полученная гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля на двух индукторах позволяет повысить оперативность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем по сравнению с *НИ* на одном индукторе при тех же значениях чувствительности и точности.

При использовании решетки линейных индукторов оперативность контроля может быть увеличена в десять и более раз за счет увеличения площади одновременного контроля.

### Литература

1. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.
2. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondestruct. Test. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.
3. Pavlyuchenko, V. V. Calculation of residual magnetic-field distributions upon hysteretic interference of a pulsed magnetic field / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondestruct. Test. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.
4. Черепанов, А. А. Математическое моделирование определения геометрических параметров внутренних дефектов различных форм методом магнитной дефектоскопии / А. А. Черепанов, Л. Н. Кротов, Е. Л. Кротова // Перспективы науки. – 2013. – № 12(51). – С. 60–63.
5. Гальченко, В. Я. Компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных интегральных уравнений / В. Я. Гальченко, Д. Л. Остапущенко, М. А. Воробьев // Дефектоскопия. – 2009. – № 3. – С. 56–66.
6. Новослугина, А. П. Расчетный способ оценки параметров дефектов в сталях / А. П. Новослугина, Я. Г. Смородинский // Дефектоскопия. – 2017. – № 11. – С. 13–19.
7. Pavlyuchenko, V.V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, № 11. – P. 907–914.

8. Pavlyuchenko, V.V. Differential Background of Electric Signal Read- from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testin. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.

УДК 620.9

## **Эффективность ветроэнергетики для Беларуси**

Кириленко А. И., Хведченя В. А.

Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассматриваются вопросы эффективности ветроэнергетики в условиях Беларуси. Подчеркивается, что в стране имеются условия для успешного развития этой отрасли. Акцентируется внимание на нерешенных вопросах, таких как развитие малой ветроэнергетики, утилизация отходов, необходимость развития сопутствующих отраслей, таких как водородная энергетика. Для повышения эффективности ветроэнергетики необходимо расширять функции этой техники, в частности, использовать разрежение воздуха в лопастях. Полноценный расчет экономической эффективности возможен только при учете экологических факторов.*

Использование возобновляемых энергоресурсов – общемировая тенденция развития энергетики, независимо от того, какие аргументы выдвигаются в ее обоснование. В Беларуси диапазон доступных возобновляемых энергоресурсов ограничен: это ветровая, солнечная энергия и биомасса (включая леса). Мы сосредоточимся на анализе возможностей использования энергии ветра.

Такое использование может идти по двум направлениям. Строятся ветропарки с ветроэнергетическими установками (ВЭУ) большой мощности, работающие на единую энергосистему страны. Причем чем больше мощность, тем эффективнее ВЭУ. Крупнейший на сегодня дает мощность 9,0 МВт (6 объединенных ВЭУ Vestas V66 по 1,65 МВт) в Гродненской области [1]. В него вложено 5,6 млн долл. Кроме того, подобные ветропарки имеются в Гродненской и Витебской областях. Второе направление – это эксплуатация установок малой мощности в тех регионах, где энергопотребление не велико, а потери в линиях электропередач существенны. Таким установкам, которые могли бы успешно производиться в нашей стране, пока уделяется мало внимания. Как видим, для широкомасштабного использования ветра необходима большая подготовительная работа по выбору места строительства, обоснованию экономической целесообразно-

сти, включая сроки окупаемости, и оценке экологических последствий такой дорогостоящей деятельности. Тем не менее, опыт такой работы накоплен [2]. Выявлено 1840 площадок пригодных для размещения ВЭУ, что может обеспечить установленную мощность 4600 МВт с годовой выработкой порядка  $10^{10}$  кВт-ч электроэнергии (ЭЭ). Расчеты показывают, что ветроэнергетика в Беларуси по своим технико-экономическим (капитальные затраты, сроки строительства, окупаемость) и экологическим показателям выгоднее ядерной энергетики [3]. Выработка энергии на ВЭУ может составить до 20 % потребности страны в ЭЭ, сейчас – 1,9 %.

Что касается эксплуатации ВЭУ, то здесь также много «подводных камней». Для ее полноценной работы необходим ветер со скоростью 3–5 м/с, а при скорости 25 м/с генерация прекращается. Считается хорошим показателем, если ВЭУ выдает треть от своей максимальной мощности. Крайнее неудобство – непостоянство ветра и, как следствие, непостоянство выработки энергии. Потому возникает потребность в аккумулировании энергии, каждая ВЭУ должна иметь аккумуляторные батареи. Однако эти устройства крайне враждебны к окружающей среде как при их производстве, так и при утилизации. С учетом этого фактора все расчеты эффективности ВЭУ теряют свое значение. Свинцово-кислотная батарея имеет удельную энергию 30–35 Вт-ч/кг (выдерживает 300 циклов заряд-разряд), для натрий-серной батареи имеем в среднем 220 Вт-ч/кг и до 4000 циклов. Для накопления значительных запасов энергии необходимо много аккумуляторов. Таким образом, это заведомо тупиковый путь. Нужны другие накопители энергии. Перспективным выглядит водород. Отметим, что на данный момент простых и эффективных способов получения водорода не существует. Тем не менее, перспективы его применения особенно на транспорте крайне заманчивы. В городах применение водорода в двигателях транспортных средств сулит достичь нулевого выброса загрязняющих веществ. То же самое и в авиации, где всерьез рассматривается концепция полностью электрического самолета. Дело в том, что водород будет использоваться не в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, а в качестве энергоносителя для топливных элементов и прямого преобразования химической энергии в электрическую с высоким КПД. Опыт такого применения имеется со времен полета Апполонов на Луну (1969 г.). Конечно, до полномасштабного использования водорода еще далеко, но это очень заманчивая перспектива.

Представляется, что имеется еще один путь повышения эффективности применения ВЭУ. Ее лопасти в 55 метров совершают 5–10 оборотов в минуту в зависимости от скорости ветра. Самая большая ВЭУ Enercon E126 имеет лопасть в 63 м. Лопасти делают состоящими из двух половинок затем соединяющихся, то есть внутри лопасти имеется полость, обеспечи-

вающая ей легкость. Это означает, что на оси лопасти имеет место значительное разрежение воздуха. Расчет дает, что концентрация молекул воздуха вдоль лопасти изменяется по закону

$$n(r) = n_0 \exp\left(-\frac{M\omega^2}{2RT} r^2\right),$$

где  $n_0$  – концентрация молекул газа на оси ВЭУ;  $n(r)$  – концентрация газа на расстоянии  $r$  от оси;  $M$  – молярная масса газа;  $\omega$  – циклическая частота вращения ротора;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура.

Испаря жидкость при низком давлении в области оси ВЭУ и откачивая пары, можно очищать вещество. При этом часть жидкости может замораживаться. Заманчиво использовать такое разрежение. Кроме того, вращающиеся лопасти имеют внушительный запас кинетической энергии. Можно принять массу крыла 7 тонн и аппроксимировать профиль пластинкой. Получаем запас вращательной энергии  $0,959 \cdot 10^6$  Дж (5 об/мин) и  $3,838 \cdot 10^6$  Дж (10 об/мин).

В предлагаемых расчетах не учтена экологическая составляющая. А она существенна и многофакторна. Тень от лопастей отбрасывается на километры, шум распространяется на сотни метров. Особая проблема – инфразвуки. Ими не занимается никто. Если ВЭУ располагаются на путях миграции птиц, то они для них представляют существенную угрозу [4]. Однако поверхности лопастей делают с хорошим аэродинамическим качеством. Не представляет труда сделать их хорошо отражающими. Перемещающий лазерный луч по радиусу круга, описываемого лопастями, можно создать в окружающем пространстве световые импульсы (блики), распространяющиеся по различным направлениям. Такие приемы используются для отпугивания птиц на аэродромах. Постоянно идет процесс совершенствования техники и устаревшие установки заменяются более эффективными. В США в год выбрасывают более 8 тыс. лопастей, Европа к 2030 г. – 17 тыс. лопастей. Дорогостоящие технологии позволяют переработать лопасть на 42 %. Предстоит создать технологии рециркуляции, которые позволят обеспечить нулевой уровень отходов по всей цепочке от проектирования до производства.

Кроме того, следует учесть выбросы парниковых газов при производстве ВЭУ. 80 % выбросов  $\text{CO}_2$  приходится на сырьевые материалы и компоненты ВЭУ при ее производстве: лопасти – 20 %; башня – 25 %; фундамент – 13 %; гондола – 13 %; генератор, двигатель, инвертор, ротор – 9 %. Остальные 20 % приходятся на монтаж ВЭУ на площадке, ремонт и замену оборудования, а также его вывод из эксплуатации. Не лишне напомнить и

про водяной след при производстве ВЭУ. Расход воды на производство 1 тонны стали составляет 6 м<sup>3</sup> при применении оборотного водоснабжения, без него – порядка 300–600 м<sup>3</sup>/тонн. Как видим, давление на окружающую среду колоссальное и не учитывать его в экономических расчетах невозможно.

Мы наблюдаем своеобразную конкуренцию между ВЭУ и солнечными панелями. Для сравнения эффективности рассмотрим годовую выработку ЭЭ  $W$  и срок окупаемости энергоустановки (ЭУ)  $T$ .

Расчет ведем по формуле

$$W = P_{\text{н}} \cdot k_i \cdot t,$$

где  $P_{\text{н}}$  – номинальная мощность, кВт;  $k_i$  – коэффициент использования номинальной мощности энергоустановки;  $t = 8760$  – количество часов в году.

Окупаемость энергоустановки можно вычислить как

$$T = \frac{C_k}{1 + k_s - k_z} \cdot C_a \cdot k_i \cdot t,$$

где  $C_k$  – удельные капитальные затраты, USD/кВт;  $k_s$  – коэффициент дополнительной выгоды от сокращения выбросов парниковых газов, уменьшения стоков и пр.;  $k_z$  – коэффициент дополнительных эксплуатационных затрат на обслуживание ЭУ и текущий ремонт, закупку сырья, эксплуатацию электросетей, амортизационные расходы, налоги, отчисления на погашение кредитов, захоронение отходов и другие дополнительные затраты;  $C_a$  – тариф на ЭЭ для производителей ЭЭ.

Коэффициенты использования номинальной мощности панели в теории 0,88–0,95, на практике 0,13–0,19 (для гибридных панелей 0,41–0,43); для ВЭУ – в теории 0,59, на практике – 0,25–0,38 (для современных технологий – 0,40–0,45). Срок окупаемости обычной панели 1–4 года, инновационной – примерно год; для ВЭУ – 3–15 и более лет. Срок эксплуатации панели 20–0 лет, ВЭУ – примерно 25 лет. Полными данными по нагрузке на окружающую среду при производстве, эксплуатации и утилизации тех и других установок мы не располагаем.

Для Беларуси актуально сравнение ветроэнергетики с атомной [5]. Она в Европе объявлена вполне экологичной на фоне газового кризиса. Приведем сравнительный анализ строительства ВЭУ и АЭС (табл. 1).

Таблица 1

## Эффективность строительства ВЭУ и АЭС в Беларуси

Наименование	Вариант ВЭУ		АЭС
	реновированная	новая	
Коэффициент использования номинальной мощности, $W$	0,25	0,25	0,7
Тариф на электроэнергию, USD/кВт·ч	0,124	0,124	0,077
Номинальная мощность ВЭС, МВт	1,5	1,5	1200
Коэффициент $k_s$	0,05	0,05	0
Коэффициент $k_z$	0,25	0,25	0,5
Удельные капитальные затраты, USD/кВт	670	1330	5500
Годовая выработка электроэнергии, ГВт·ч	3,285	3,285	7358
Срок окупаемости, лет	3,1	6,1	23,3

В заключение приведем технико-экономические характеристики ЭУ различных типов (табл. 2).

Таблица 2

## Технико-экономические показатели различных ЭУ в Беларуси

Наименование	Капитальные затраты, USD/кВт	Срок строительства, лет	Срок окупаемости, лет
Ветроэнергетика	1500–2000	1	Менее 8
Солнечная энергетика	1800–3900	–	Более 29
Малая гидроэнергетика	7000 и более	4–5	Более 20
Энергетика биомассы	2500–3500	1–2	Менее 8
Атомная энергетика	4500–5500	6–8	Более 20

Как следует из приведенного анализа на данном этапе эффективность ВЭУ действительно ниже, чем солнечных панелей, но суммарное экологическое давление ветряки оказывают меньшее. Имеются перспективы совершенствования ветроагрегатов, особенно в плане совмещения функций техники. Имеются перспективы полной экологически безопасной утилизации ВЭУ.

Настоящий прорыв в ветроэнергетике возможен только при подъеме генераторов посредством аэростатов на большую высоту в несколько сотен метров, где ветер сильнее и устойчивее. С большой высоты до земли не доходит шум, генерируемый лопастями. Лопастя не создают препятствий для птиц и не загромождают пейзаж. Передача энергии на землю

также не представляет проблем, поскольку тросы, удерживающие аэростат, одновременно являются и кабелями для передачи энергии.

### Литература

1. Олехнович, В. Ветропарк под Новогрудком: сколько стоили ветряки, сколько они экономят и когда окупятся / В. Олехнович // Onliner [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://tech.onliner.by/2017/06/15/vetropark-pod-novogrudkom>. – Дата доступа: 05.10.2021.
2. Олешкевич, М. М. Нетрадиционные источники энергии: уч.- метод. пособие для студ. вузов / М. М. Олешкевич, Ю. А. Лосюк. – Минск: БГПА, 2001. – С. 21–67.
3. Ермоленко, Б. В. Экологические аспекты ветроэнергетики / Б. В. Ермоленко [и др.] // Теплоэнергетика. – 2011. – № 11. – С. 68–72.
4. Хамчуков, Д. Ю. Необходимость развития ветроэнергетики в Республике Беларусь и сдерживающие его препятствия / Д. Ю. Хамчуков, Н. Г. Кротова // Белорусский экономический журнал. – 2020. – № 4. – С. 36–51.
5. Олешкевич, М. М. Перспективы ветроэнергетики в Беларуси / М. М. Олешкевич // Энергетика: материалы 6-ой междунар. науч.-технич. конф., Минск / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2004. – С. 11–15.

УДК 534.521

### Моделирование движения тел в атмосфере

Кириленко А. И.<sup>1</sup>, Кириленко Т. Д.<sup>2</sup>, Рубанов И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусская государственная академия авиации,  
<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

*Рассматриваются модели, описывающие падение тел в сплошных средах с различными законами сопротивления: вязкое трение, аэродинамическое сопротивление с постоянным аэродинамическим коэффициентом и с аэродинамическим коэффициентом, зависящим от скорости. Устанавливаются общие черты этих явлений. Показано, что во всех случаях на начальном этапе движения скорость падения быстро нарастает, а затем происходит достаточно резкий переход к падению с небольшим ускорением (с установившейся скоростью). Определяются те моменты*

*времени, для которых скорость можно считать установившейся. Определяется путь, пройденный до и после этого момента.*

Задача о падении тел в атмосфере давно привлекает внимание. Пожалуй, первыми практическими задачами, которые пришлось решать в этой области, были задачи, связанные с изобретением парашюта. Метеорология занималась изучением падения капель дождя и градин [1]. Вопросы бомбометания с самолетов также оказались в русле этой проблематики. Развитие аэрогидромеханики способствовало развитию строгих методов решения проблемы. Был установлен сложный характер зависимости сил сопротивления от скорости движения тел, точнее, от величины числа Рейнольдса  $Re$  [2, 3]. Было показано, что в любом случае падающее в среде тело в начальный момент своего движения движется ускоренно с ускорением, близким к ускорению свободного падения, затем достаточно быстро скорость стабилизируется, по крайней мере, изменяется по времени чрезвычайно мало. Говорят, что тело продолжает движение с установившейся скоростью. Трудности возникают с определением момента времени, начиная с которого движение можно считать установившимся, а также с определением расстояния, которое тело проходит до момента установления движения.

Бурное развитие беспилотной авиации заставляет пересмотреть логику доставки грузов. Уже сейчас широко практикуется доставка грузов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) прямо от поставщика к потребителю, или же парашютирование груза в заданное место. В последнем случае становится актуальной задача о характере движения груза в атмосфере. Широкое применение беспилотников в военном деле ставит вопрос об их ремонтпригодности после того, как они сбиты. Этот параметр определяется величиной кинетической энергии при падении на землю, то есть связан с величиной скорости падения. Наша задача – исследовать переходной режим от падения с ускорением, до момента, когда можно считать, что тело движется с постоянной скоростью.

Характерные особенности задачи проясним на простейшем примере.

1. Рассмотрим падение сферы в вязкой среде. Силу вязкости возьмем по Стоксу

$$F_c = 6\pi\eta r v,$$

а силу Архимеда в виде

$$F_A = \rho_c g V_m,$$

где  $\eta$  – коэффициент вязкости;  $r$  – радиус сферы;  $v$  – скорость;  $\rho_c$  – плотность среды;  $V_m$  – объем падающего тела.

Второй закон Ньютона для движения тела представим в виде

$$\frac{dv}{dt} = \frac{6\pi\eta r}{m} v + \left(1 + \frac{\rho_c}{\rho_m}\right)g.$$

После введения обозначений  $\alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}$  и  $k = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_m}\right)g$  имеем

$$\frac{dv}{dt} + \alpha v = k, \quad (1)$$

откуда

$$v(t) = V_0(1 - e^{-\alpha t}). \quad (2)$$

Как видим, скорость падения становится постоянной (установившейся) только при  $t \rightarrow \infty$  и она равна  $V_0$ . Мы покажем, что этим свойством обладает зависимость  $V(t)$  и при других законах изменения силы сопротивления от скорости. На эксперименте, тем не менее, сложно заметить изменение скорости от времени при достаточно больших  $t$ , то есть в установившемся режиме. Для того, чтобы произвести дальнейшие оценки, необходимо каким-то образом определить момент, начиная с которого мы не замечаем изменений скорости падения. Понятно, что сделать это однозначным образом затруднительно. Например, можно оценить время движения до момента  $t_y$ , начиная с которого считаем движение установившимся, полагая установившуюся скорость равной  $V_y(t_y) = \sigma V_0$ , где  $\sigma < 1$ :

$$t_y = -\frac{1}{\alpha} \ln(1 - \sigma). \quad (3)$$

Зная эту оценку, можем оценить и путь, пройденный телом до момента установления скорости:

$$x_y = \int_0^{t_y} V_0(1 - e^{-\alpha t}) dt = V_0 t_y + \frac{V_0}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t_y}). \quad (4)$$

Рассмотренная модель не очень удачна, так как область ее применимости ограничена числами Рейнольдса порядка единицы [4]. Однако степень корректности сделанных нами приближений может быть проверена экспериментально в демонстрационном эксперименте по падению шарика, плотность материала которого мало отличается от плотности жидкости, а вязкость жидкости велика (охлажденный глицерин).

Вторым критерием определения  $t_y$  может быть ограничение скорости нарастания скорости. Для ускорения имеем  $a(t_y) = V_0 \alpha e^{-\alpha t_y} < \sigma_1 V_0$ , откуда

$$t_y = -\frac{1}{\alpha} \ln \frac{\sigma_1}{\alpha}. \quad (5)$$

2. Применим этот подход к анализу падения тел при наличии аэродинамической силы сопротивления, которая, как известно, пропорциональна квадрату скорости. Аэродинамический коэффициент пропорциональности  $c_x$ , зависящий от формы тела и площади его поверхности  $S$ , считаем независимым от скорости. В этом случае дифференциальное уравнение для скорости имеет вид

$$\frac{dv}{dt} = g - kv^2, \quad k = \frac{r_c}{m}, \quad \alpha^2 = \frac{g}{k}. \quad (6)$$

Здесь  $F_c = r_c v^2$  – аэродинамическая сила сопротивления. В результате решения этого уравнения получаем зависимость скорости от времени

$$v(t) = \alpha \frac{e^{2kat} - 1}{e^{2kat} + 1} \quad (7)$$

и для скорости при  $t \rightarrow \infty$  величину  $v_y = \alpha = \sqrt{\frac{mg}{r_c}}$ .

Здесь  $r_c$  – коэффициент сопротивления в выражении для силы сопротивления  $f(v) = r_c v^2$ ,  $r_c = c_x \frac{\rho_c}{2} S$ . Величина  $g$  – приведенное ускорение свободного падения:

$$g = g_0 \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_T}\right),$$

где  $\rho_c$  – плотность среды (воздуха);  $\rho_T$  – плотность падающего тела.

Таким образом, здесь учтена выталкивающая сила, действующая на тело в среде. Как и в предыдущем случае, здесь дифференциальное уравнение для скорости решается до конца. В этом случае, как и в предыдущем, установившаяся скорость также достигается только через бесконечно большой промежуток времени.

3. Если скорость тела при падении изменяется в широких пределах, аэродинамический коэффициент сопротивления не может оставаться постоянным. По данным из источников [5], в некоторых случаях можно считать его нарастающим при небольших скоростях и плавно изменяющимся при более высоких. Тогда уравнение движения представимо в виде

$$ma = mg_0 - F_A - c_x(v) \frac{\rho_c v^2}{2} S, \quad (8)$$

где  $m$  – масса движущегося тела;  $F_A = \rho_c V_m g_0$  – сила Архимеда;  $V_m$  – объем тела;  $S$  – площадь сечения.

Мы аппроксимировали аэродинамический коэффициент аналитической зависимостью  $c_x = c_0 v^{1/2}$  [1],  $c_0$  – постоянная величина (размерная). Положим, что падающее тело – шар радиуса  $r$ . Тогда уравнение движения представимо в виде

$$\frac{dv}{dt} = g - kv^{5/2}, \quad (9)$$

где  $k = \frac{3}{8} \frac{1}{r} \frac{\rho_c}{\rho_m} c_0$ .

Из физических соображений понятно, что это дифференциальное уравнение первого порядка следует решать при условии  $\frac{dv}{dt} \geq 0$ . В аналитиче-

ском виде его решение затруднительно и поэтому решение было получено при помощи пакета Wolfram Mathematica. Анализ можно провести только численно.

Обсудим основные результаты. Для того, чтобы выявить общие черты функций  $v(t)$ , целесообразно построить графики этих функций в относительных масштабах. Определим величину  $t_y$  для каждого варианта движения по отдельности. На рис. всем им приписано значение равное единице. Точно также для каждой установившейся скорости, соответствующей  $t \rightarrow \infty$ , будем приписывать значение

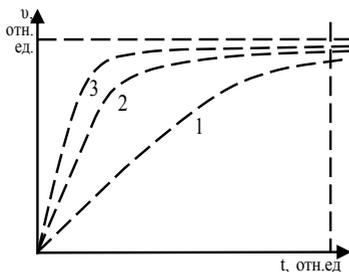


Рис. Графики зависимости скорости падения тел от времени при различных зависимостях сил сопротивления от скорости:

$$1 - F_c \sim v; \quad 2 - F_c \sim v^2; \\ 3 - F_c \sim v^{5/2}$$

равное единице. Горизонтальную шкалу времени делим на равные отрезки. По вертикальной шкале скоростей откладываем их относительные значения. Таким образом строим три кривые, соответствующие трем случаям рассматриваемых движений. С целью экономии места шкала времени произвольно обрезана. Итак, мы получили три кривые, которые оказываются вложенными друг в друга (рис.).

График 1 соответствует вязкому трению. Скорость падения в этом случае нарастает очень плавно. График 2 соответствует аэродинамическому сопротивлению с постоянным коэффициентом аэродинамического сопротивления  $c_x$ . В этом случае изменение скорости

падающего тела происходит гораздо быстрее. Наконец, третий график соответствует силе аэродинамического сопротивления с  $c_x$ , зависящим от скорости по рассмотренному выше закону. В этом случае установление скорости падения происходит практически сразу. Промежуток времени, в течение которого совершается переход от ускоренного движения с ускорением, близким к  $g_0$ , к движению с очень малым ускорением (к установившейся скорости движения), также очень мал.

### Литература

1. Матвеев, Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. – Ленинград: Гидрометиздат, 1965. – 876 с.

2. Патрашев, А. Н. Гидромеханика / А. Н. Патрашев. – М.: Военн.- мор. изд-во, 1953. – 719 с.

3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 904 с.

4. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1951. – 575 с.

5. Испулов, А. А. Кубическая сплайн-интерполяция индивидуальных законов сопротивления авиационных бомб / А. А. Испулов, Д. А. Битюков, И. А. Якушев // Авиация: история, современность, перспективы развития: материалы V междунар. конф., Минск, 22 октября 2020 г. / Белорус. гос. акад. авиации. – Минск, 2021. – С. 157–158.

УДК 537.311.31

### **Электрофизические свойства пленок из углеродных нанотрубок**

Борисов В. А.

Белорусский национально-технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Одним из важных критериев при создании приборных и сенсорных устройств на основе углеродных нанотрубок является установлением механизмов проводимости, а также всевозможное изменение их электрофизических свойств путем улучшения их композиции. Для разработки различных датчиков и сенсоров макроскопические образцы на основе углеродных нанотрубок могут создаваться не только в виде композитов, но и в виде пленок, волокон, покрытий и т.д. Объектом исследования являются пленки из однослойных нанотрубок, которые были получены методом фильтрации через пористые мембраны суспензий, содержащих углеродные нанотрубки.*

Целью работы является установление механизмов электропроводности в пленках из углеродных нанотрубок.

Особая геометрия и различная структура дефектов пленок из УНТ позволили наблюдать эффекты квантового переноса в этих материалах, таких как слабая локализация, возникающая при диффузионном движении электрона, которое сопровождается интерференцией волновых функций электрона, описавшего замкнутую траекторию и вернувшегося в исходную точку за счет упругого рассеяния на примесях для двух противоположных направлений движения. Интерференция волновых функций повышает вероятность обратного рассеяния, вследствие чего сопротивление повышается [1]. Вследствие необходимости сохранения фазы волновой функции

электрона, возможным только при упругом рассеянии, этот эффект возможен в рассмотрении только при очень низких температурах. В работе [2] было продемонстрировано влияние эффекта слабой локализации на температурную зависимость сопротивления пленок из однослойных углеродных нанотрубок.

В низкоразмерных системах, в частности, к которым относятся пленки из углеродных нанотрубок, при низких температурах помимо эффекта слабой локализации может наблюдаться и другой механизм проводимости – прыжковая проводимость. Прыжковому механизму проводимости соответствует очень малая подвижность, так как прыжки электронов связаны со слабым перекрытием хвостов волновых функций соседних центров. Зависимость сопротивления от температуры согласно этой модели, разработанная Моттом, имеет следующий вид

$$R = R_0 \exp\left(\frac{T_m}{T}\right) \frac{1}{d+1}, \quad (1)$$

где  $R$  – сопротивление образца;  $T$  – температура;  $T_m$  – размерная константа;  $d$  – размерность системы [3].

Анализ литературных источников, в частности [4], свидетельствует о наличии такого механизма переноса заряда как прыжковая проводимость для пленок из УНТ при низких температурах.

На всем температурном интервале температурная зависимость сопротивления в неупорядоченных материалах, обычно характеризующихся большими проводящими областями, разделенными небольшими изолирующими барьерами может быть объяснена в рамках другого механизма электропроводимости – флуктуационно-индуцированное туннелирование. Физика этого механизма заключается в наблюдении, что, поскольку электроны стремятся туннелировать между проводящими областями в точках их наибольшего сближения, соответствующие туннельные переходы обычно имеют небольшой размер и поэтому подвержены большим колебаниям напряжения на переходе за счет температуры. Вследствие этого флуктуации напряжения напрямую влияют на вероятность туннелирования и вносят характерное изменение в обычно не зависящую от температуры туннельную проводимость.

Во всем интервале температур зависимости  $R(T)$  может быть аппроксимирована выражениями (2–4), которые получаются в рамках модели флуктуационно-индуцированного туннелирования, которая справедлива для неупорядоченных систем, в том числе массивов углеродных нанотрубок и полимерных композиционных материалов

$$R = R_0 \exp\left(\frac{T_1}{T + T_0}\right), \quad (2)$$

где параметры  $T_0$  и  $T_1$  определяются следующим образом

$$T_0 = \frac{16\varepsilon_0 h A V_0^{3/2}}{2\pi^2 k_B (2m_e)^{1/2} W^2}, \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{8\varepsilon_0 A V_0^2}{e^2 k_B W}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $h$  – постоянная Планка;  $A$  – площадь туннельного барьера;  $V_0$  – высота барьера;  $k_B$  – постоянная Больцмана;  $m_e$  – эффективная масса электрона,  $W$  – ширина туннельного барьера,  $e$  – заряд электрона.

Температура  $T_1$  является аналогом энергии активации и соответствует энергии барьера. При  $T = T_0$  энергии флуктуаций достаточно велики, чтобы преодолеть барьер, при этом соотношение  $T_0/T_1$  характеризует вероятность туннелирования при низких температурах в отсутствие флуктуаций [5].

Температурная зависимость сопротивления  $R(T)$  оригинальных пленок из УНТ изображена на рис.

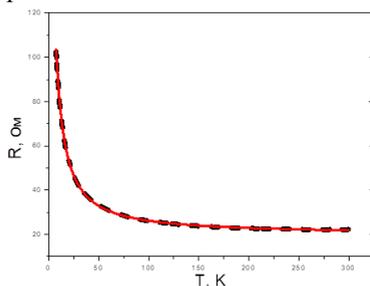


Рис. Температурная зависимость сопротивления  $R(T)$  необработанных пленок из углеродных нанотрубок:

сплошная красная линия – аппроксимация уравнением, полученная в рамках модели флуктуационно-индуцированного туннелирования

Из рис. видно, что полученная зависимость хорошо согласуется с выражением (2). Кроме того, из значения подгоночных параметров  $T_1$  и  $T_0$ ,

полученных с помощью компьютерной программы Origin, в которой была проведена аппроксимация, учитывая геометрические размеры пленки, можно получить значение ширины  $W$  и высоты  $V_0$  туннельного барьера для каждого из исследуемого образца.

На основе температурной зависимости сопротивления установлено, что на большом интервале температур основной вклад в сопротивления пленок из углеродных нанотрубок может быть объяснен в рамках модели флуктуационно-индуцированного туннелирования. Однако при очень низких температурах необходимо учитывать вклад и других механизмов электропроводимости.

### Литература

1. Bergmann, G. Weak localization in thin films / G. Bergmann // Phys. Rep. – 1984. – Vol. 107, No. 1. – P. 1–58.
2. Evidence for hole localization in a low stage acceptor graphite intercalation compound / L. Piraux [et al.] // Solid State Communications. – 1985. – Vol. 56. – P. 567–569.
3. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В. Ф. Гантмахер // М.: Физматлит. – 2013.
4. Hopping Conduction in Disordered Carbon Nanotubes / D. P. Wang [et al.] // Solid State Communications. – 2007. – Vol. 142. – P. 287–291.
5. Транспортные свойства ориентированной и изотропной бумаги из одностенных углеродных нанотрубок / М. С. Галков [et al.] // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 104–111.

УДК 621.316

### Using solar panels to recharge car battery

Akhmedov A. P.<sup>1</sup>, Khudoyberganov S. B.<sup>1</sup>, Yurkevich N. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan,

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

*Today, solar energy technologies for automobiles perform mainly auxiliary functions: battery recharging, power supply in the field, and others. A solar cell in a vehicle can compensate for battery self-discharge and leakage current during long periods of parking. An example of using solar cells to recharge electric vehicles (electric scooters, electric cars) is a charging station.*

Currently, there are several applications of solar panels in automobiles: 1) solar cars, which use the energy of the sun to move, 2) recharging the battery, 3) powering additional devices while driving and parking, 4) solar-powered stations for recharging electric cars.

The first solar car model was developed by William Koob in 1955. The first production solar car VenturiAstrolab was released in 2006. It was equipped with a 16 kW asynchronous electric motor with 50 N·m of torque, a 7 kWh nickel-metal-hybrid battery, and a 600 W panel solar panel.

The designs and characteristics of solar cars are constantly improving: increasing the power and area of solar cells, developing effective systems of electric drive, reducing the coefficient of aerodynamic drag to 0,10–0,12. For twenty years, the average speed of solar-powered electric cars has increased more than fourfold.

The principle of solar cells is to produce direct current when sunlight strikes monocrystalline/polycrystalline silicon wafers. The total power of solar cells depends on the total number of silicon wafers used and the surface area of the wafers. Typically, it is 0,74 kW for a total solar panel area of 2 square meters. The performance of solar panels is directly dependent on the intensity of solar radiation and the angle of placement of the solar modules. The amount of solar energy entering the territory of Russia in a week exceeds the energy of all Russian reserves of oil, gas, coal and uranium [1, 2].

Currently, there is a large variety of solar cell battery designs, including flexible film-based, which allows them to be placed on a curved surface. Placement of solar panels on vehicles can be: horizontal (the most common type of arrangement); vertical (encountered much less often than horizontal); with adjustable tilt and turn (tracking system); integrated (on the entire outer surface of the vehicle); remote (eg, on a car trailer); inside (under the glass) and outside the vehicle (on the roof).

Today there are several models of solar-powered devices for charging the vehicle's discharged battery. For example, the device of firm "Velleman" thanks to energy of the sun allows to receive pressure on an output not less than 13,5 V at a current strength in 350 mA that on assurance of developers, quite enough for start of the car with absolutely discharged accumulator [3]. In the manual of the device it is indicated that it is designed to charge the battery on clear days or days with little cloudiness. In fact, in sunny weather with low clouds and air temperature outside the car, about 18–20 °C, the charging current was about 180 mA. But even this current is enough to start the engine of the car with a discharged battery.

The solar battery in the car can compensate for the self-discharge of the battery, and the leakage current during long periods of parking. When the car is not

in use, the power balance is negative during parking: the cabin light comes on when you leave the car, the door lock solenoids work, the alarm, the on-board computer and the clock consume about 12–15 mA. The battery should not be discharged for a long time: sulphation, loss of capacity, irreversible processes develop, recovery methods are not always efficient and often not long-term. To compensate losses it is necessary to obtain from solar cells a voltage of not less than 13,5–14,5 V and a current of 60–150 mA, charging with a small current (equalizing charge) positively affects the battery, prolonging its life. If the voltage is higher, electrolysis will occur, the electrolyte level will drop, hydrogen will be released, and the acidity of the electrolyte will change. If the voltage is much lower, the battery will not charge at all. Therefore, in the electrical circuit with a powerful solar battery, capable of recharging the battery, it is necessary to connect a controller [4].

The simplest controllers simply disconnect the solar panel when the battery voltage reaches about 14,4 V (for a battery with a nominal voltage of 12 V). When the battery voltage drops to 12,5–13V, the solar battery is reconnected and charging is resumed. The maximum battery charge level is 60–70 %. More advanced controllers at the final stage of the charge use so-called pulse width modulation (PWM – power wide modulation) of the charging current. In this case it is possible to charge the battery up to 100 % [5].

Solar battery of small size with power less than 10 watts has a significant internal resistance and will be a source of current, as it is loaded on the battery with low internal resistance. As much as it has worked out, so much has given back to the battery. Therefore, it is inexpedient to put a controller, as it is a consumer itself (from 5 mA and more depending on the model, around the clock), and when the engine is running the battery is perceived as fully charged, and turns off the solar battery. Discharge can be avoided by including a Schottky diode in series with the solar cell.

Solar cells are indispensable for a car that is in the field for a long time (expeditions, exercises, hiking, etc.), where the battery has a heavy load: running stereo, car refrigerator, laptop, turned on headlights, etc.

The main element of uninterruptible and autonomous power supply is a power inverter (Fig. 1).

It converts the energy stored in the battery into standard 220 V voltage, providing the necessary power and starting currents. The battery may not be discharged more than 50 % as otherwise the inverter will shut down. Charging 36 A/h at maximum power of ten watt solar panel will take 45 hours, when reducing the power the time increases accordingly.

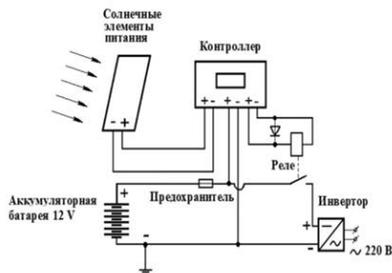


Fig. 1. General scheme of connection of solar cells for recharging the battery and autonomous power supply

An example of using solar cells to recharge electric vehicles (electric scooters, electric cars) is a charging station consisting of three main components:

- a moving panel (solar panel). Electricity in the system is generated by a biaxial photovoltaic generator with 12 modules. The solar panels move behind the sun. Therefore, such a system generates 40 percent more energy than similar static systems;

- an energy storage system. Vanadium redox batteries are used to store energy. The batteries can accumulate up to 100 kWh of energy, providing up to 10 kW of current, which in turn makes it possible to get the energy you need at any time;

- intelligent electric recharging system (connection). It can determine the make and the owner of the car being charged at the moment, keep financial and quantitative records of the recharged energy [6].

Fig. 1 shows a general connection diagram of solar cells for recharging the battery and autonomous power supply.

Thus, today, the technology of solar energy application for road transport performs mainly auxiliary functions: battery recharging, power supply in the field and others [7–8].

## References

1. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Innovation technologies in water, municipal services and water transport: Mater. of scientific and technical conf. in Minsk, May 20–21, 2021 / Belarusian National Technical University. – Minsk, 2021. – P. 181–184.

2. Akhmedov, A. P. Methodology of combining real and virtual laboratory works in the educational process of students / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, J. A. U. Ochilov // Precision Science. – 2019. – № 40. – C. 27–31.

3. Akhmedov A. P. Combination of real and virtual laboratory works in the educational process of students / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Actual problems of modern natural science: Mater. XI Resp. scientific-methodological seminar, Minsk, December 3, 2020. 2020 г. – Minsk, 2020. – С. 91–95.

4. Strebkov, D. S. Technology of Large-Scale Solar Energetics / D. S. Strebkov (in Russian) // Light and Engineering. – 2008. – Vol. 16, № 4. – С. 5–11.

5. The charger charges with the help of the sun // Ctek [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ctek.ru/news/zaryadnoe-ustrojstvo-zaryazhaet-pri-pomoshhi-solnca.html>. – Access date: 20.07.2019.

6. Solar charge controller LS1024R / LS1524R / LS2024R: manual [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.sunyour.ru/files/EP\\_LSxx24R\\_instruction\\_ru\\_.pdf](http://www.sunyour.ru/files/EP_LSxx24R_instruction_ru_.pdf). – Access date: 10.05.2020.

7. Solar charging stations for electric cars // Inside care lectronics [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.insidecarelectronics.com/solnechnie-zaryadnie-stancii-dlya-elektromobiley/>. – Date of access: 12.03.2020.

8. Kutbidinov, O. M. Experimental Research of Utilized Oils of Traction Transformers / O. M. Kutbidinov, D. T. Yusupov, Sh. A. Samadov, E. S. Abdullaev // International Journal of Advanced Research in Science: Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 8, Issue 3. – P. 1–6.

УДК 629.4.012

### **Функциональная диагностика системы управления асинхронным тяговым приводом электровоза**

Файзуллаев Ж. С.

Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Функциональный контроль и диагностирование электровозов представляет собой актуальное направление исследования, находящегося на стыке технической диагностики и современной теории управления. Система управления электровозов переменного тока является сложным динамическим объектом, имеющим различные взаимосвязи между управляемым электрооборудованием, предназначенным для регулирования его режима работы, то есть перехода от одной установившейся скорости к другой, сопровождаемой изменяющимся тяговым моментом.*

С точки зрения технической диагностики различные режимы электровоза требуют правильности их функционирования в данный момент реального времени, то есть оперативности получения информации о перехо-

де объекта в другое установившееся состояние. Для того, чтобы определить текущее техническое состояние движущегося электровоза производят измерение ряда его параметров или диагностических признаков и осуществляют их анализ. При этом возникает проблема построения адекватной математической модели управления, выбора информативных диагностических измерений, оценки точности и достоверности диагностической информации, предусматривающей селективность с возможностью количественного определения их характеристик. Кроме того, диагностическая измерительная информация должна быть инвариантной, с малой чувствительностью к шумам и другим мешающим воздействиям [1].

Методы и средства функциональной диагностики электровозов должны обеспечивать достоверность диагностики не ниже 90 %, ошибка типа «ложная тревога» не выше 10 %, устойчивость к помехам, выдачу удобной для машиниста информации о состоянии движущегося электровоза, а также возможность хранения информации в ПЭВМ в виде, обеспечивающем контроль системы управления, создание базы данных и последующего мониторинга. При движении электровоза преобладают внезапные отказы, что и обуславливает необходимость разработки и применения функционального диагностирования, позволяющего быстро обнаружить и устранить либо локализовать отказавший элемент.

Структурная схема системы автоматического управления тягового электропривода электровоза переменного тока представлена на рис. 1.

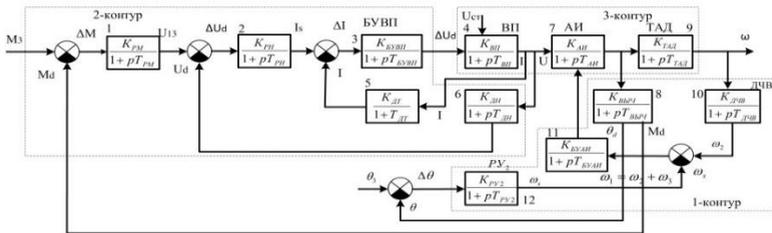


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления тягового электропривода по углу момента в режиме тяги: 1, 2, 3, ..., 12 – нумерация блоков;  $M_3$  – задачик момента;  $M_d$  – электромагнитный момент;  $\Delta M$  – ошибка регулирования; РМ – регулятор момента; БУВП – блок управления входного преобразователя; ВП – входной преобразователь 4QS; АИ – автономный инвертор; ТАД – тяговой асинхронный двигатель; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; ДЧВ – датчик частоты вращения; БВыч – блок вычислителя; БУАИ – блок управления автономным инвертором;  $\theta_3$  – задачик угла;  $\theta$  – угол момента; Руг – регулятор угла;  $\omega_s$  – частота скольжения;  $\omega_2$  – частота вращения ТАД

Из структурной схемы видно, что кроме четырехквadrантного преобразователя 4QS система имеет датчики постоянного и переменного тока, и напряжения, частоты вращения ТАД, а также БУВП и БВыч момента ТАД, БУАИ, блоками управления РМ, ДН и ДТ.

В целом система управления ТАД имеет два контура регулирования. Первый контур – это контур регулирования угла момента ТАД  $\Delta\theta = \theta_{\text{зад}} - \theta$  с подчиненным контуром регулирования частоты вращения статора  $\omega = \omega_2 - \omega_s$ , который управляет блоком управления автономного инвертора АИ(7).

На рис. 1 показан второй контур регулирования момента с подчиненными контурами регулирования постоянного напряжения  $U_d$  и тока  $I_d$  между входным преобразователем ВП(4) и инвертором АИ. Задатчик этого контура формирует сигнал  $M_3$ , который сравнивается со значением  $M_d$  на выходе вычислительного устройства Выч(8), определяемый по формуле [2]:

$$M_d = \frac{3}{2} p_1 (\Psi_{1\alpha} i_{1\beta} - \Psi_{1\beta} i_{1\alpha}), \quad (1)$$

где  $p_1$  – число пар полюсов;  $\Psi_{1\alpha}, \Psi_{1\beta}$  – проекции векторов потокосцепления  $\psi$  и тока статора  $I_1$ , соответственно.

Сигнал с регулятора момента РМ(1) через регулятор напряжения РН(2) и регулятор тока, блок управления напряжения БУВП(3) идет на входной преобразователь ВП(4), который подает сигнал на автономный инвертор АИ(7), питающий трехфазный ТАД(9). В этот контур входят датчики тока ДТ(5) и напряжения ДН(6), устанавливающие обратную связь контура.

Передаточная функция контура регулирования момента с учетом пренебрежения постоянных времени  $T_i$  блоков 3, 7, 5, 6 ввиду их малости то есть  $T_{\text{БУВП}} \ll T_{\text{ВП}}, T_{\text{аи}} \ll T_{\text{ВП}}, T_{\text{ДТ}} \ll T_{\text{ВП}}$  и  $T_{\text{ДН}} \ll T_{\text{ВП}}$  после несложных эквивалентных преобразований представляется в виде

$$W_{\text{КМ}}(p) = \frac{(1 + pT_{\text{ВП}})^2(1 + pT_{\text{ВП}})}{[(1 + pT_{\text{РМ}})(1 + pT_{\text{ВП}})]^2 - (1 + pT_{\text{РМ}})^2(1 + pT_{\text{ВП}})K_{\text{ДТ}}K_{\text{БУВП}}K_{\text{ВП}} - T_x}, \quad (2)$$

где  $T_x = (1 + pT_{\text{ВП}})K_{\text{ВЫМ}}K_{\text{РМ}}K_{\text{АИ}}K_{\text{БУВП}}K_{\text{ВП}}$ .

Приведенная передаточная функция ПФ контура регулирования частоты статора  $\omega_1 = \omega_2 + \omega_s$ , которую реализует блок управления инвертором БУАИ, с учетом значений малого порядка выражается в виде

$$W_0(p) = \frac{(1 + pT_{\text{РУ2}})(1 + pT_{\text{Выч}})(1 + pT_{\text{ТАД}}) + T_y}{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})(1 + pT_{\text{РУ2}})(1 + pT_{\text{Выч}})} - \frac{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})K_{\text{РУ2}} \cdot K_{\text{Выч}} \cdot K_{\text{БУАИ}} \cdot K_{\text{АИ}}}{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})(1 + pT_{\text{РУ2}})(1 + pT_{\text{Выч}})}, \quad (3)$$

где  $T_y = (1 + pT_{\text{РУ2}})(1 + pT_{\text{Выч}})(1 + pT_{\text{БУАИ}})K_{\text{БУАИ}} \cdot K_{\text{АИ}} \cdot K_{\text{ДЧВ}} \cdot K_{\text{ВП}}$ .

Передаточные функции (3), (4) имеют четвертый порядок и отражают динамику системы регулирования ТАД в режиме тяги.

Известно, что с целью упрощения порядка математической модели системы контроля и диагностирования, например, до второго порядка используется три подхода: методы ортогональных редукций, дискретизации и линеаризации [4, 5].

Методы ортогональной редукции предусматривают уменьшение размерности исходной модели путем аппроксимации исходной передаточной функции ПФ некоторой другой, близкой к ней ПФ, например, вычеркиванием переменных, ортогонально описанной в пространстве состояния. В соответствии с этим сначала находят матрицы  $A$ ,  $b$ ,  $c$  описания исходной системы в некотором базисе пространства состояния [3, 4]:

$$\dot{X} = AX + bu; \quad y = cX. \quad (4)$$

Здесь  $X(t)$  связана с матрицами  $A$ ,  $b$  равенством  $X(t) = e^{At}b$ . Такое описание дает возможность создать упрощенную диагностирующую математическую модель объекта, путем простого отбрасывания части переменных состояния. Несомненный интерес функционального диагностирования для сложных динамических объектов представляет метод избыточных переменных, который дает возможность минимизации размерности ПФ схемы, если известны сигналы измерительных датчиков на входе и выходе объекта диагностирования [5, 6].

Схема функционального диагностирования системы управления ТАД электровоза в режиме тяги целесообразно строить с использованием метода ортогональной редукции совместно с методом избыточных переменных как своеобразную динамическую модель, совмещающую простоту первого и точность второго метода (рис. 2).

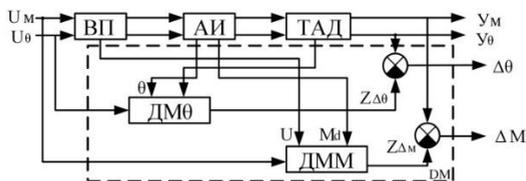


Рис. 2. Блок-схема контроля и диагностики САУ ТАД: ВП – входной преобразователь 4QS; АИ – автономный инвертор; ТАД – тяговый асинхронный двигатель; ДМ $\theta$  и ДММ – соответственно диагностирующие математические модели второго порядка контура регулирования момента  $M_{\Delta}$  и угла  $\theta$ , синтезированные методом ортогональной редукции

Для работы схемы диагностируемой модели ДМ используются существующие датчики измерения входных сигналов  $\Delta M$ ,  $\Delta \theta$ , выходных сигналов  $U_M$ ,  $U_{\theta}$ , а также выходных сигналов промежуточных блоков [7]. Устройства контроля и диагностирования с использованием ПЭВМ формирует по вышеуказанным данным избыточные переменные  $Z_{\Delta M}$  и  $Z_{\Delta \theta}$ , которые используются для проверки правильности функционирования:

$$\Delta_{\theta} = \sum_{i=1}^n m_i y_i - z_{\theta} = 0, \quad (5)$$

$$\Delta_M = \sum_{j=1}^n m_j y_j - z_M = 0, \quad (6)$$

где  $m_i$ ,  $m_j$  – постоянные коэффициенты системы контроля.

Укажем, что контроль и диагностирование параметров и сигналов САУ ТАД производится при каждом изменении момента и частоты движения электроваза.

Функциональное диагностирование группы электрических аппаратов дает возможность корректировать сроки проведения ремонта электроваза, оно не заменяет плановую систему содержания, а является дополнением к ней и дает возможность определения технического состояния каждого блока САУ управления ТАД электроваза. Результаты моделирования упрощенной передаточной функции диагностируемой модели регулирования скорости электроваза подтвердили теоретические выводы о полноте, глубине и оперативности функционального контроля и диагностирования [8].

## Литература

1. Буйносов, А. П. Техническая диагностика электроподвижного состава / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко. – Екатеринбург: Изд-во Ур ГУПС, 2013. – 119 с.
2. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.
3. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
4. Мироновский, Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем / Л. А. Милоновский // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 8. – С. 96–121.
5. Латышев, А. В. Диагностирование линейных динамических систем / А. В. Латышев // Автоматика и телемеханика. – 1991. – № 8. – С. 145–154.
6. Плакс, А. В. Расчет систем управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс, А. С. Мазнев. – Л.: ЛИИЖТ, 1986. – 73 с.
7. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы. респ. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – Р. 181–184.
8. Ахмедов, А. П. Методика совмещения реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Ж. А. У. Очиллов // Точная наука. – 2019. – № 40. – С. 27–31.

УДК 621.314.212

### **Regression model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity**

Yusupov D. T.<sup>1</sup>, Kutbidinov O. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Academy of science of the Republic of Uzbekistan  
Institute of energy problems,

<sup>2</sup>Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

*Collected data on the failure of traction transformers ODSE-5000/25B, which are in operation for 2017–2019 and air humidity in these years. Based on these data, a model has been developed that determines the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity. The conducted*

*studies show that the model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity has a polynomial character.*

Traction transformers of electric locomotives lower the voltage to a value that is most favorable for the operation of traction motors [1–4].

The traction transformer on an electric locomotive performs the following functions [2–5]:

- reduces the voltage of the contact network to the level of power supply of the TED and other electrical equipment;
- regulates the output voltage within the specified limits;
- provides power to the power supply system of passenger wagons.

Traction oil transformers play an important role in ensuring reliable and uninterrupted power supply of railway transport [3–6]. Failure of traction transformers can cause many problems [4–5]. Traction transformers are affected by factors that cause them to fail or stop working during operation [4–6]. One of them is air humidity.

The data on failure indicators of ODSE-5000/25B traction transformers, which are in operation for 2017–2019, and the average indicators of air humidity in these years, have been collected.

Regression analysis is a statistical method for studying the influence of one or more independent variables  $X_1, X_2, \dots, X_p$  on the variable  $Y$ .

The regression equation [7], which establishes a linear relationship between two indicators, has the form:

$$y_1 = a_1 + b_1 x_1, \quad (1)$$

where  $y_i$  are the number of traction transformers repaired;  $x_1$  is humidity index;  $a_1$  is regression constant;  $b_1$  is the regression coefficient.

In regression, the  $R^2$  coefficient of determination is a statistical measure of how well the regression predictions approximate the real data points. An  $R^2$  of 1 indicates that the regression predictions perfectly fit the data.

Values of  $R^2$  outside the range 0 to 1 occur when the model fits the data worse than the worst possible least-squares predictor (equivalent to a horizontal hyperplane at a height equal to the mean of the observed data). This occurs when a wrong model was chosen, or nonsensical constraints were applied by mistake.

Fig. 1, 2 and 3 below show the relationship between the technical failure of traction transformers and the humidity in the air.

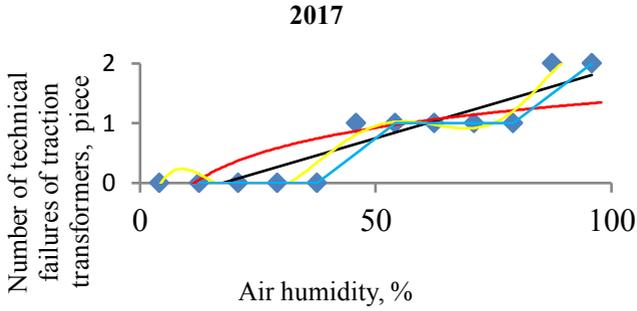


Fig. 1. Dependence of indicators of technical failures of traction transformers on indicators of air humidity

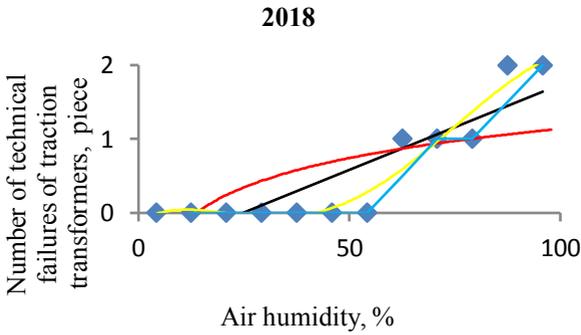


Fig. 2. Dependence of indicators of technical failures of traction transformers on indicators of air humidity

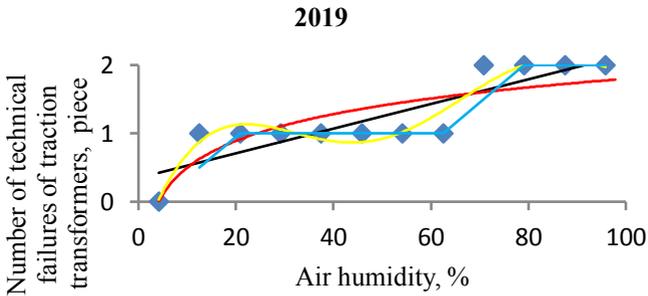


Fig. 3. Dependence of indicators of technical failures of traction transformers on indicators of air humidity

The linear, logarithmic, and polynomial equations of the relationship between two variables were obtained using the regression method. The results of the obtained equations are given in Table 1.

Table 1

Formulas for the dependence of the number of technical failures of traction transformers on air temperature

ODSE-5000/25 B	Linear	Logarithmic	Polynomial
2017	$y = 0,0231x - 0,4038$	$y = 0,6302 \ln(x) - 1,5399$	$y = -8 \cdot 10^{-10}x^6 + 2 \cdot 10^{-7}x^5 - 3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,0015x^3 - 0,0368x^2 + 0,3716x - 1,0456$
	$R^2 = 0,8462$	$R^2 = 0,5998$	$R^2 = 0,9542$
2018	$y = 0,0231x - 0,5705$	$y = 0,572 \ln(x) - 1,495$	$y = -3 \cdot 10^{-20}x^6 + 9 \cdot 10^{-10}x^5 - 4 \cdot 10^{-7}x^4 + 5 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0024x^2 + 0,0355x - 0,1252$
	$R^2 = 0,7646$	$R^2 = 0,4465$	$R^2 = 0,9334$
2019	$y = 0,018x + 0,3479$	$y = 0,5654 \ln(x) - 0,8047$	$y = 10^{-10}x^6 - 3 \cdot 10^{-8}x^5 + 2 \cdot 10^{-6}x^4 + 10^{-5}x^3 - 0,0061x^2 + 0,1954x - 0,6779$
	$R^2 = 0,7606$	$R^2 = 0,7102$	$R^2 = 0,9376$

Conclusions: 1. A model has been developed that determines the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity. 2. The conducted studies show that the model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity has a polynomial character.

### References

1. Yusupov, D. T. Investigation of factors influencing the operational characteristics of traction transformers / D. T. Yusupov, O. M. Kutbidinov, Sh. A. Samadov, E. S. Abdullaev // E3S Web of Conferences. – 2021. – № 274. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127413007>.
2. Yusupov, D. T. Investigation of winding faults of traction transformers / D. T. Yusupov, O. M. Kutbidinov, Sh. A. Samadov, E. S. Abdullaev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 868. – doi:10.1088/1755-1315/868/1/012026.
3. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы респ. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. –

Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – P. 181–184.

4. Zhou, L. FDS analysis for multilayer insulation paper with different aging status in traction transformer of high-speed railway / L. Zhou, D. Wang, L. Guo, L. Wang, J. Jiang, W. Liao // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2017. – № 5. – P. 3236 – 3244.

5. Pankaj, Sh. Experimental Evaluation of Water Content in Transformer Oil / Sh. Pankaj, S. Y. Rood, R. K. Jarial // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2. – P. 284–291.

7. Yusupov, D. T. Regression Model for Determining the Breaking Voltage of Cleaned Transformer Oils / D. T. Yusupov, H. A. Khamrakulova // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2021. – № 8. – P. 17032–17036

УДК 621.385

### **Статистика отказов и анализ повреждаемости электрических машин**

Нуриддинов С. Б., Авазов Б. К., Каршиев К. Т.

Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Республика Узбекистан,

*Для определения повреждений наиболее целесообразным и эффективным является метод продления ресурса изоляции путем капсулирования локального повреждения с использованием пропиточных материалов и теплового излучения. На протяжении последних десяти лет в УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» сохраняется стабильная тенденция по пробой изоляции и межвитковому замыканию (МВЗ) обмотки якоря типа НБ-514. В этой связи была выдвинута гипотеза о том, что пробои изоляции и межвитковые замыкания обмотки якорей наиболее часто происходят в результате интенсивных процессов тепло- и массообмена в изоляции лобовых частей их обмоток с открытыми головками секций.*

Традиционный путь исследования надежности электрических машин – исследование статистических данных об отказах. При первоначальном изучении статистики отказов по типам электрических машин наибольшее внимание уделяется «слабым» узлам и причинам отказов. При исследовании надежности систем или отдельных технических изделий пользуются следующими приемами: система разбивается на блоки, затем определяются надежность каждого блока и результирующая надежность всей системы.

Система разбивается на блоки на основании анализа функционального назначения и физических процессов, происходящих в системе и блоках. Однако нет смысла исследовать все блоки, входящие в систему, так как их надежность обычно значительно различается. Отказы некоторых из блоков практически невозможны, и их учет при определении результирующей надежности только усложняет эксперименты и расчеты, практически не меняя окончательный результат. Поэтому при составлении структурных схем пользуются методом «слабых звеньев», выделяя только те блоки, надежность которых в данных условиях минимальна.

В этом аспекте рассмотрим основные типы электрических машин. В асинхронных двигателях при исследовании на надежность следует выделять как «слабые звенья» обмотку статора и подшипниковый узел. В синхронных машинах следует выделять обмотки статора и ротора, щеточный аппарат и контактные кольца, подшипники (или подпятники), системы охлаждения и пожаротушения и т. д. Машину постоянного тока с точки зрения ее надежности представляют из следующих узлов: коллекторно-щеточный и подшипниковый узлы, обмотки якоря, узлы возбуждения, добавочных полюсов и компенсационные узлы [1].

Отказы электрических машин можно разделить на конструкционные, технологические (производственные) и эксплуатационные. Конструкционные отказы возникают из-за несовершенства (незнания) или нарушения правил проектирования и конструирования электрической машины, технологические – из-за нарушения процесса производства или ремонта, эксплуатационные – из-за неправильного применения, отсутствия защиты, нарушений условий эксплуатации электрических машин. Отказы электрических машин могут быть обусловлены старением материалов и износом узлов, а также случайной концентрацией нагрузки, предвидеть которую практически невозможно.

Долгий и кропотливый труд по сбору статистических данных об отказах и их анализу необходим для разработки и уточнения методик расчета надежности электрических машин, обеспечения и повышения надежности, совершенствования технологии изготовления, разработки выбора электрических машин, создания и улучшения систем защиты и правил технической эксплуатации [2].

Проанализируем причины отказов электрических машин различных типов.

Асинхронные двигатели. В подавляющем большинстве случаев (85–95 %) отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом:

- межвитковые замыкания – 88 %;

- пробой межфазной изоляции – 7 %;
- пробой пазовой изоляции – 5 %.

На подшипниковый узел приходится 6–9 % отказов и небольшой процент связан с такими причинами, как распайка выводных концов, скручивание валов, разрыв стержней ротора и др.

Причины отказов можно дифференцировать следующим образом:

- технологические – 38%;
- эксплуатационные (главным образом неудовлетворительная защита электродвигателей) – 45 %;
- конструкционные – 17 %.

Под неудовлетворительной защитой следует понимать отсутствие тепловой защиты или ее отказ. Исследования показали, что разброс времени срабатывания тепловой защиты, даже ненастроенной, практически не влияет на аварийность. При защите электродвигателей плавкими ставками, что имеет место в большинстве случаев, они отказывают вследствие работы на двух фазах. Материалы эксплуатации свидетельствуют о том, что 80 % аварий (вследствие работы на двух фазах) происходит из-за отсутствия тепловой защиты и только 20 % – от ее неисправности.

Одна из распространенных причин повышенной интенсивности отказов электродвигателей – вибрация агрегата, которая влечет за собой отказы подшипников, обмотки, а иногда и трещины в чугунной оболочке электродвигателя и в лапах крепления постаментов. Повышенная вибрация объясняется неудовлетворительным сочленением электродвигателя и исполнительного механизма, остаточной неуравновешенностью вращающихся масс, повышенным зазором между телами качения и кольцами шарикоподшипника, искажением формы посадочных мест под установку подшипника или их несоосностью, овальностью колец шарикоподшипника и т. п.

На процесс разрушения изоляции ускоряющее влияние оказывают концентрации нагрузок: повышенные механические усилия при переходных процессах, перегрузки по току, перенапряжения, вибрации и другие факторы. В этой ситуации наличие участков с пониженной электрической прочностью и приводит к повреждению обмотки, ибо амплитуды практически возможных перенапряжений недостаточны для пробоя доброкачественной изоляции. При изготовлении обмотки возможно попадание на ее поверхность ферромагнитных частиц, вибрация которых в магнитном поле приводит к постепенному разрушению изоляции.

Недостаточно надежное крепление лобовых частей обмотки создает условие для повреждения изоляции преимущественно у выхода стержней из пазов. Со временем происходит опускание корзинок лобовых частей обмотки, в связи, с чем появляются более уязвимыми при вибрации и уда-

рах под воздействием внезапных электродинамических усилий (короткое замыкание и несинхронные включения – пуски и реверсы для двигателей). Серьезной опасности изоляция обмотки подвергается также при тепловых перегрузках, вызванных причинами местного характера. Так, при разрушении изоляции листов и местном замыкании сегментов активной стали температура в области замыкания может достигать 200–300 °С. Повреждению изоляции обмотки статора способствует также проникновение в машину воды и масла.

Причиной повреждения активной стали является в основном ослабление ее запрессовки. Прессовка стали должна производиться примерно через 0,5 мм, причем давление прессовки увеличивается с 80–100 до 179 Н/см<sup>2</sup>. При меньших давлениях не обеспечивается необходимая плотность прессовки, при больших – возникает опасность повреждения лаковой пленки под вентиляционными распорками, где местные давления достигают 1000–1200 Н/см<sup>2</sup>.

Относительно редкие, но тяжелые аварии вызываются разрушением роторных валов. Причиной аварии может быть заклинивание ротора при разрыве бандажа, распространение трещин от зубцов в глубину вала, а также температурные напряжения в теле ротора, вызванные несимметричным распределением тепловых потоков в плоскости поперечного сечения. Например, разность температур поверхности большого зуба и внутренней области ротора у нейтральной оси в турбокомпрессорах с косвенным охлаждением достигает 90–100°С. При этом напряжение разрыва, направленной вдоль оси ротора, может составлять величину порядка 16 000–180 000 Н/см<sup>2</sup>.

Распространенной неисправностью является снижение сопротивления изоляции цепи ротора из-за загрязнения токопровода маслом и угольной пылью. Снижение сопротивления изоляции может произойти также вследствие загрязнения самой обмотки.

Чаще всего повреждения подшипников и подпятников сопровождаются выплавлением баббита, повреждением вкладышей и цапф подшипниковыми токами и вытеканием масла. Выплавление баббита обычно происходит в результате нарушения работы системы маслоснабжения. При быстрой остановке агрегата повреждения цапф оказываются незначительными, так как расплавленный баббит играет роль смазки. Поврежденные вкладыши подлежат замене или перезаливке. Возникновение подшипниковых токов типично для крупных электрических машин. Весьма значительные токи протекают через подшипники при замыкании цепи возбуждения на корпус и наличии заземления во внешней цепи ротора. В этом случае повреждения шеек вала и вкладышей подшипников могут быть весьма серьезными.

Однако даже небольшие подшипниковые токи при длительном протекании приводят к повреждению вкладышей и шеек валов.

Весьма ответственным узлом гидрогенераторов является подпятник. Повреждения подшипников обуславливают существенный процент отказов электрических машин этого типа. Наиболее характерными повреждениями подпятников являются износ, задиры и выплавление баббитового слоя на поверхности сегментов, а также повреждения от подшипниковых токов. Повышенный износ может быть обусловлен чрезмерной удельной нагрузкой на определенных участках поверхности сегментов, вызванной их температурной деформацией или иными причинами.

Повышенная вибрация электрических машин свидетельствует о наличии недостатков конструкции, дефектов изготовления и сборки, а также о возникновении повреждений. Вместе с тем сама вибрация является источником серьезных повреждений и аварий.

В результате повышенной вибрации происходит ослабление прессовки активной стали, нарушение плотности соединений, разрушение сварных швов и деталей вследствие усталости материала и контактной коррозии, снижение газоплотности, ускоренный износ изоляции, нарушение герметичности в системах водо- и маслоснабжения, повышенные потери и нагрев подшипников, расстройство работы и износ контактных колец и щеточного аппарата и т. д.

В результате проведенного анализа статистических данных отказов тяговых электродвигателей постоянного тока большегрузных электровозов установлению ТЭД НБ-514 установлено, что наиболее не надежными элементами являются обмотка якоря и коллекторно-щеточный узел. По проведенному анализу число отказов электродвигателей по коллекторно-щеточному узлу колеблется от 41,6 % (по предприятиям УП «Ўзтемирийўлмаштаъмир») и в среднем по всем отраслям составляет 26,5 %; по обмотке якоря – от 21,6 % (УП «Ўзтемирийўлмаштаъмир») до 4,2 % [3].

Рассмотрим характерные повреждения основных узлов машин постоянного тока. К характерным повреждениям коллектора относятся изменение его формы из-за неравномерного износа, нарушение полировки поверхности с появлением на ней царапин, подгорание и оплавление пластин при неблагоприятной коммутации и круговых огнях. При возникновении одного из указанных повреждений машина должна быть остановлена для проведения соответствующего ремонта.

Повреждение обмотки якоря происходит по следующим причинам:

- из-за пробоя корпусной изоляции между обмоткой и пакетом стали якоря;
- межвитковых замыканий (в якорях с многовитковыми секциями);

- распайки соединительных петушков коллекторных пластин с обмоткой (в машинах большой мощности);
- разрушения бандажей, удерживающих обмотку якоря (в высокоскоростных машинах) и др.

Повреждения обмоток возбуждения, обмоток добавочных полюсов и компенсационных обмоток довольно редки. Они представляют собой пробой корпусной изоляции между обмоткой и магнитной системой машины.

Из механических частей машин постоянного тока наиболее подвержены износу подшипники скольжения или качения и шейки вала. Характерными признаками повреждений этих узлов являются износ вкладышей, вытекание смазки, нарушение работы смазочных колец, поломка шариков или роликов, разрушение сепараторов, заклинивание шариков, заедание шеек вала во вкладышах подшипников и др. Повреждения щеточной траверсы могут проявляться в виде поломки кольца траверсы, закрепляющего ее в подшипниковом или другом устройстве, расстройстве регулировки положения щеткодержателей на пальцах или bracketах траверсы, повреждения пальцев или bracketов, удерживающих щеткодержатели на траверсе и др. Появление любого из указанных повреждений приводит к отказу машины, которая должна быть остановлена для проведения соответствующего ремонта.



Рис. Фрагмент поврежденной изоляции якорной обмотки электрической машины

Приведен (рис.) фрагмент характерного локального повреждения изоляции лобовой части якорной обмотки ТЭМ НБ-514 со стороны противоположной коллектору. При таком повреждении наиболее целесообразным и эффективным будет метод продления ресурса изоляции путем капсулирования локального повреждения с использованием пропиточных материалов и теплового излучения [4]. На протяжении последних десяти лет в УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» сохраняется стабильная тенденция по пробое изоляции и межвитковому замыканию (МВЗ) обмотки якоря ТЭД типа НБ-514. В этой связи была выдвинута гипотеза о том, что пробой изоляции и межвитковые замыкания обмотки якорей наиболее часто происходят в результате интенсивных процессов тепло-массообмена в

изоляции лобовых частей их обмоток с открытыми головками секций. Так как эти двигатели работают в тяжелых природных условиях (дождь, снег, перепады температур и т. д.)

### Литература

1. Смирнов, В. П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза / В. П. Смирнов. – Иркутск: Изд-во иркутского гос. ун-та, 2003. – 328 с.

2. Худоногов, А. М. Анализ надежности изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава с учетом особенностей климатических условий внешней среды / А. М. Худоногов, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 232–236.

3. Инструкция по ремонту завода «Ўзтемирйўлмаштамир» УК в АО «УзЖД» от 16.01.2016, № 74. – 2016. – 13 с.

4. Иванов, В. Н. Надежность электрических машин тягового подвижного состава / В. Н. Иванов, Д. В. Коноваленко, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 1. – С. 196–198.

УДК 556.5:556.114:001.891

### Использование легочных пресноводных моллюсков для биомониторинга поверхностных вод

Чиркин А. А., Балаева-Тихомирова О. М., Кацнельсон Е. И., Пинчук П. Ю.  
Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,  
Витебск, Республика Беларусь

*Легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbis* чувствительны к действию неблагоприятных экологических факторов в водных средах обитания. Впервые у них описаны изменения по типу метаболического синдрома, развивающегося у человека при действии стрессовых факторов. Выявленные реакции у моллюсков могут моделировать метаболические изменения у человека от загрязненных поверхностных вод благодаря гомологии 120 ферментов у человека и моллюска *Biomphalaria glabrata*, имеющего аннотированный геном.*

С 12.04.2022 г. вступают в силу изменения в Водный кодекс Республики Беларусь. Существующая законодательная база обеспечивает надлежащий контроль за сохранением экологического и биоэкологического кон-

троля поверхностных вод Республики Беларусь. В последние годы наметился подход к более широкому использованию гидробионтов для оценки биологического компонента экологического состояния водных сред их обитания. Так в Европейском Союзе в 2010 году в качестве тест-организма для биоиндикации химического и иного загрязнения природных вод принят легочной пресноводный моллюск *Lymnaea stagnalis*, у которого многие метаболические процессы, например, синтез стероидных гормонов, аналогичны таковым у человека [1]. Недостатком этого тест-организма является то, что транспорт кислорода в гемолимфе осуществляется медьсодержащим гемоцианином, который обладает худшими по сравнению с железосодержащим гемоглобином свойствами. Поэтому на протяжении последних семи лет в нашей лаборатории разрабатывался способ оценки биоэкологического состояния водоемов посредством анализа биохимических показателей гемолимфы и гепатопанкреаса двух видов легочных пресноводных моллюсков *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*. У последнего вида транспорт кислорода в гемолимфе осуществляется железосодержащим гемоглобином, т. е. как у человека.

Было проведено одновременное биохимическое исследование образцов гемолимфы и тканей гепатопанкреаса у этих двух видов легочных пресноводных моллюсков с последующей оценкой биоэкологического состояния водоемов путем их ранжирования в зависимости от биохимических показателей гемолимфы и гепатопанкреаса в пределах 7 рангов (от 1 – самое низкое значение показателя, до 7 – самое высокое значение показателя). В результате обследованные озера можно было сравнить по суммарной величине рангов группы показателей. Однако остался нерешенным вопрос о том, насколько специфичны выявленные биохимические изменения у моллюсков для человека [2, 3].

При анализе результатов было обращено внимание, что в гемолимфе некоторых моллюсков обнаруживались изменения, похожие на признаки метаболического синдрома у человека. Метаболический синдром (МС) является одной из ведущих причин случаев внезапной смерти в состоянии видимого здоровья. Расшифровка биохимических механизмов развития и создания критериев выявления МС рассматривается скорее, как биологическая проблема, поскольку возникновение компонентов этого синдрома тесно сопряжено с общими негативными явлениями урбанизации общества, в том числе и загрязнений поверхностных вод. Минимальный перечень рутинных признаков метаболического синдрома у человека включает повышенную массу тела, повышенное артериальное давление, повышенное содержание в крови глюкозы и триглицеридов и сниженное содержание липопротеинов высокой плотности. В качестве экспериментальных моделей МС используются животные с каким-либо генетическим дефек-

том, приводящим к развитию различных патологических изменений, характерных для МС у людей. Чаще всего используют следующих животных: крысы Zucker с ожирением и сахарным диабетом 2-го типа, спонтанно-гипертензивные крысы с ожирением, мыши *db/db* и другие млекопитающие. Кроме того, существуют методики по индукции этих нарушений путем внешних воздействий – химических препаратов и/или диеты [4].

Цель исследования: 1) выявить особенности транспорта липидов и содержания глюкозы в гемолимфе двух видов легочных пресноводных моллюсков, отличающихся по характеру транспорта кислорода, для оценки биоэкологического состояния водных сред обитания и возможности моделирования метаболического синдрома; 2) провести сравнительный анализ степени гомологии ферментов у человека и ближайшего родственника *Planorbarius corneus* легочного пресноводного моллюска *Biomphalaria glabrata*, для которого известен аннотированный геном.

**Материал и методы.** Опыты поставлены на 100 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 50 особей *Lymnaea stagnalis* (прудовик) и 50 особей *Planorbarius corneus* (роговая катушка). Моллюски собирались в летне-осеннем периоде, поскольку в это время стабилизируются морфометрические и биохимические параметры животных. Моллюски были собраны в пяти водоемах Витебской области: р. Витьба в черте г. Витебска и в озерах Будовесь, Афанасьевское, Дубровское и Селявское. Река Витьба перегорожена плотиной, что сформировало слабо проточный водоем с очевидными последствиями антропогенной нагрузки. Озеро Селявское отличается чистотой из-за практически полного отсутствия водостоков из ферм и населенных пунктов и рассматривается в данной работе как контрольный водоем. Все моллюски взвешивались на весах Scout Pro и в полученных образцах гемолимфы определяли содержания общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицеридов и глюкозы с помощью стандартных наборов НТПК «Анализ-Х». Поиск и отбор нуклеотидных последовательностей, кодирующих белки человека, осуществлялся на сервере <https://www.ensembl.org>; поиск гомологичных последовательностей для моллюска *Biomphalaria glabrata* осуществлялся на сервере <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> при помощи ресурса BLAST; описание белков для человека было взято с ресурса <https://www.uniprot.org>; парное выравнивание и сравнение последовательностей человека и моллюсков выполнено в программе MEGA 5.2; построение 3D-структур ферментов для моллюсков осуществлялось на сервере <https://swissmodel.expasy.org> по шаблону 3D-структуры ферментов человека, найденных в банке данных трехмерных структур белков и нуклеиновых кислот <http://www.rcsb.org>. В работе использован следующий алгоритм: поиск нуклеотидной последовательности → построение аминокислотных после-

454

довательностей сравниваемых белков → их парное выравнивание и оценка степени гомологии первичных структур NS (нуклеотидные последовательности) AAS (аминокислотные последовательности) → оценка третичных структур по архитектуре молекул и их доменной организации [2, 5]. Содержание исследованных компонентов гемолимфы выражали в ммоль/л, а массы тела в г. Все полученные материалы вводились в электронные таблицы и обрабатывались методом параметрической вариационной статистики по Стьюденту.

**Полученные результаты и обсуждение.** Для общей оценки состояния метаболизма в организме целесообразно определить количество одного из конечных продуктов. Таким продуктом может быть холестерол, который представляет собой конечную молекулу, выделяемую из организма в виде желчных кислот. Следует отметить, что на базе холестерола формируются также важнейшие низкомолекулярные биорегуляторы: глюкокортикоиды, минералокортикоиды, половые гормоны, витамин D и кальцитриол. В конце 60-х и начале 70-х годов XX века было показано, что легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* способны синтезировать вещества стероидной природы из ацетата [1]. Холестерол плохо растворим в воде, поэтому он выделяется с желчью, а не с мочой. В связи с этим целесообразно определить содержание одной из важнейших транспортных форм данного стероида – липопротеинов высокой плотности. Учитывая, что в данной работе исследуются долгосрочные эффекты адаптации моллюсков к вредным компонентам водной среды обитания, необходимо было также изучить наличие краткосрочных и долгосрочных резервов энергии, а именно содержание глюкозы и триглицеридов [2]. Все эти показатели имеют отношение к метаболическому синдрому, вызванному развитием инсулинорезистентности.

В результате проведенных исследований установлено, что общим типом изменений транспорта липидов у обоих видов легочных пресноводных моллюсков по сравнению с моллюсками из контрольного водоема оз. Селявское является снижение содержания общего холестерола и холестерола липопротеинов высокой плотности. Кроме того, в гемолимфе *Lymnaea stagnalis*, обитающих в обследуемых водоемах по сравнению с обитающими в оз. Селявское повышено содержание триглицеридов. Эти данные свидетельствуют о том, что в обследованных водоемах Витебской области имеются загрязнения, вызывающие, вероятно, усиленный синтез стероидных гормонов из холестерола (признак хронического стресса, направленного на активацию глюконеогенеза) и начальные стадии повреждения печени, ведущие к ослаблению обратного транспорта холестерола из периферических тканей в составе липопротеинов высокой плотности. Повышение уровня триглицеридов в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* являет-

ся, по всей видимости, результатом мобилизации долгосрочных липидных резервов в условиях снижения содержания глюкозы. У моллюсков из озера Дубровское выявлены 3 критерия метаболического синдрома: повышение массы тела и уровня триглицеридов на фоне уменьшения холестерина липопротеинов высокой плотности. Проведенные исследования также показали, что у *Planorbarius corneus*, обитающих в оз. Будовесть, выявлены 3 критерия метаболического синдрома – повышение массы тела и уровня глюкозы на фоне снижения холестерина липопротеинов высокой плотности. У моллюсков из оз. Афанасьевское – 2 критерия (повышение уровня триглицеридов и снижение ХС ЛПВП), у моллюсков из оз. Дубровское – 2 критерия (повышенная масса тела на фоне снижения ХС ЛПВП при нормальном уровне глюкозы) и у моллюсков из реки Витьба – 2 критерия (повышенный уровень глюкозы и сниженное содержание ХС ЛПВП при нормальной массе тела). Полученные результаты показывают, что легочные пресноводные моллюски возможно использовать как тест-организмы для изучения управления уровнем холестерина эндогенными и экзогенными биорегуляторами. Тип транспорта кислорода не оказывает влияния на особенности изменений общего холестерина и холестерина липопротеинов высокой плотности. Реактивность процессов транспорта триглицеридов и глюкозы имеет явные видовые различия, что связано, вероятно, с типом транспорта кислорода. Следовательно, *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* могут явиться перспективными тест-организмами для исследования инсулинорезистентности.

Сравнительный биоинформатический анализ показал, что гомология ферментов нерегулируемого протеолиза составила 66,8 % / 61,9 % (в числителе по нуклеотидным последовательностям, в знаменателе по аминокислотным последовательностям); ферментов регулируемого протеолиза 73,1 % / 64,7 %; убиквитинподобных модификаторов 80,5 % / 66,6 %; внеклеточных ферментов 71,6 % / 37,2 %; внутриклеточных ферментов 67,8 % / 45,2 %. Лизосомальные ферменты имели гомологию от 38 до 70 %. Гомология ферментов по классам: оксидоредуктазы 51,2 % / 51,0 %; трансферазы 54,4 % / 57,4 %; гидролазы 48,0 % / 50,1 %; лиазы 35,7 % / 35,1 %. Таким образом, выявлен средний уровень гомологии ферментов человека и легочного пресноводного моллюска.

**Выводы.** Легочные пресноводные моллюски возможно использовать как тест-организмы для изучения транспорта липидов и глюкозы между тканями организма. Тип транспорта кислорода не оказывает влияния на особенности изменений уровней общего холестерина и холестерина липопротеинов высокой плотности в гемолимфе моллюсков. Тип транспорта кислорода определяет видовые особенности транспорта триглицеридов и глюкозы в гемолимфе моллюсков. В гемолимфе моллюсков, обитающих в

456

разных озерах, удается выявить по 2–3 биохимических признака метаболического синдрома у человека. Использование моллюсков для моделирования допустимо по этическим и экономическим причинам.

### **Литература**

1. Detailed review paper (DRP) on molluscs life-cycle toxicity testing Environment Directorate // Series on Testing and Assessment. – Paris: OECD Environment, Health and Safety Publications. – 2010. – № 121. – 182 p.

2. Чиркин, А. А. Молекулярно-структурная гомология протеолитических ферментов: монография / А. А. Чиркин, О. М. Балаева-Тихомирова. – Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2022. – 124 с.

3. Чиркин, А. А. Место биохимических исследований в экологическом ранжировании водоемов / А. А. Чиркин [и др.] // Новости медико-биологических наук. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 45–49.

4. Чиркин, А. А. Моделирование биохимических признаков сахарного диабета у легочных пресноводных моллюсков / А. А. Чиркин [и др.] // Новости медико-биологических наук, 2016. – Т. 14, № 3. – С. 28–32.

5. Чиркин А. А. Молекулярно-структурная гомология протеолитических ферментов в изучении механизма протеолиза и его регуляции / А. А. Чиркин [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хім. навук. – 2021. – Т. 57, №. 2. – С. 206–221.

УДК 621.311.22

### **Methodology of laboratory lessons in electrical engineering**

Khudoyberganov S. B., Kurbanov I. B.  
Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

*A laboratory workshop's goal is usually to: specify abstract educational material and deepen the concepts studied in theoretical courses, teach practical research methods and the ability to use special experimental tools; instill general and specific experimentation skills; and form practical skills in setting up devices and conducting electrical circuit measurements. In most cases, the stated duties can be solved to some degree using the usual method of arranging and conducting laboratory classes. However, this is insufficient, because a modern specialist must be trained to acquire knowledge freely, think creatively, and communicate effectively in the workplace.*

Laboratory classes allow students to integrate theoretical and methodological knowledge and practical skills into a single process of educational and research

activities. Because of the rapid evolution of the laboratory activity in its present form, practically all graduates should be equipped for experimental research work.

Laboratory work has a high degree of uniqueness based on the individual specialization; consequently, personalized methodological advice is preferable to general pedagogical ones in this scenario. The selection of instructional material content is not restricted to the scientific aspect of the subject. The practical material of the training course should create the major types of professional activity of the future expert in accordance with the principles of the activity approach and the concept of the development of a creative personality.

In addition to recognizing the importance of a laboratory workshop in the educational process, it is necessary to define the major responsibilities of laboratory classes. To teach the skills and abilities of handling the listed equipment and experimental techniques; to teach to generalize and formalize the results of research; to instill the skills of laboratory research preceding production tests and the ability to understand their results; to instill the skills of laboratory research preceding production tests and the ability to understand their results; to instill the skills of laboratory research preceding production tests and the ability to understand their results Use laboratory classes to evaluate students' independent work on theory [1].

An important side effect of the laboratory workshop is that the teacher can control the independent work of students on the course and take timely action if this work is not done enough. This moment is especially important for courses that do not have practical classes in the curriculum or have an insignificant number of hours for them, when it is not possible to control the student's independent work in practical classes. For the above reasons, it is considered more rational to use the parallel method of conducting laboratory classes, i.e., theoretical material, after its presentation in the lecture, is immediately taken to the laboratory workshop. In this case, the frontal method of performing laboratory work is optimal. But this method requires a large amount of the same type of work, requiring a large number of instruments and equipment. In this case, it is advisable to apply a compromise parallel-serial or cyclic method. Work in the laboratory is divided into several cycles, and a specific cycle begins after the lecturer has read the necessary material; during the execution of the work of this cycle, the lecture continues and students receive the information necessary for the work of the next cycle, etc. In particular, in our laboratory, the workshop is divided into cycles: electrical measuring instruments, single-phase current circuits, three-phase current circuits, and electrical machines [2].

Until the lecture on the provision of the first cycle has been delivered, practical exercises are allowed. They can be devoted to solving problems of electrical measurements, calculations of circuits with various ways of connecting re-

sistances, etc. The content of the work of the laboratory workshop is chosen in such a way that it corresponds to the essence of the course being studied. The nature and topics of the work should take into account both professional training and the specifics of the specialty. For students studying in the motor transport direction, when conducting laboratory work on rectifying a three-phase alternating current, it is necessary to focus students' attention on the rectifier blocks of the AC generators of cars (Fig.). Each work should cover any issue or section of the course. With the cyclic method of work, the theme of the cycle should correspond to some section of the theoretical course and should ensure systematic and consistent learning. The cycle's works should complement one another and not be repeated. An example is the content of the first cycle of works [3]. As a result, the student should get the most complete understanding of the instruments of direct assessment. It is desirable in each job to provide, in addition to the mandatory program, additional tasks related to, for example, controlling and measuring devices in cars. This stimulates students to expand and deepen their knowledge and increases their interest and independence. It is important to correctly determine the scope of each assignment and the time allotted for it.

To reduce the time required to prepare a report on laboratory work in recent years, our department has developed a special report form where the student only has to fill in the appropriate tables (the results of the measurements) and draw graphs. But experience has shown that, without specific methodological recommendations, students find it difficult to defend laboratory work. Therefore, to help students perform laboratory work, special manual-guides were prepared, which contain a system of methodological instructions that reveal to students the goals and content of the forthcoming work as well as the features of using instruments and equipment [4–6].

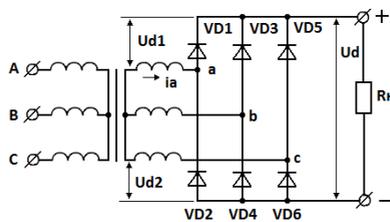


Fig. Three-phase bridge rectifier

The work of students in a laboratory lesson proceeds in the form of studying a manual, compiling the required records, drawing up electrical circuits and coordinating them with the teacher, performing measurements and filling in tables

with the data obtained, processing data results, performing calculations and calculations, building graphs and diagrams, assessing errors in measurements, generalizing the obtained data, and drawing up conclusions. When the validity of a theoretical dependence is being checked, it is important to show the degree of agreement between theoretical and experimental dependences by constructing appropriate graphs, tables, etc.

When studying electrical measuring instruments, it is important to learn their design features. The principle of operation of measuring mechanisms is to acquire the skill of including the device in the circuit, taking the reading of the device based on the correct determination (especially for multi-limit and multi-scale devices) of the division value, and learning to obtain correction curves as a result of comparing the tested devices with the reference ones. On the basis of an experimental study of transformers and electrical machines, they gain practical skills in turning them on and operating them, removing and studying performance characteristics, and assimilating the principle of operation on the basis of elucidating the electromagnetic phenomena occurring in these devices. In the process of preparing and conducting experiments, students can use individual advice from the teacher [7].

A report on the work performed is compiled by each student and drawn up after the completion of the work in extracurricular time. The volume and content of the report are determined by the assignment for this work. The quality of the final report testifies to the effectiveness of the implementation of the pilot study by the student. The report must be approved by the teacher and, if its quality does not meet the established requirements, then it must be finalized by the student. Work on finalizing and improving the quality of reports is an additional means of intensifying and activating students' independent work. The report should contain brief information on the theory, calculation formulas, schemes for which experiments were carried out, tables of measured values, data of measuring instruments (system, nominal values, accuracy class, etc.), basic calculation ratios used in this work, graphs and vector diagrams, and conclusions based on the results of the work. In the report, graphic symbols in diagrams, as well as letter symbols, must be drawn according to the standard. Graphs and vector diagrams are drawn to scale on graph paper. It is possible to represent multiple functional dependencies from a single argument on a single graph. For each of these dependencies, their own scales should be indicated, plotted parallel to the coordinate axes. During the quality control of the work, the knowledge and skills acquired by students are checked during the defense of the work [8]. The student is allowed to defend himself if there is a report drawn up in accordance with the requirements for it. During the defense, the correctness of the content of the report, the correctness of the calculations and conclusions are preliminarily checked, and the knowledge of students is determined during the inter-

view and by answering questions. Usually, after the defense of the last laboratory work, the teacher automatically issues a credit for laboratory classes and notes in the journal.

### References

1. Дондоков, Д. Д. Методические основы преподавания электротехники в педагогическом ВУЗе / Д. Д. Дондоков. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2003. – 240 с.

2. Yurkevich, N. P. Studying the magnetic field of a multilayer solenoid in the laboratory physics workshop / N. P. Yurkevich [и др.] // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс]: материалы респ. науч.-техн. конф., 20–21 мая 2021 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 176–180.

3. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: матер. респ. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. – Минск: БНТУ, 2021. – Р. 181–184.

4. Ахмедов, А. П. Методика совмещения реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Ж. А. У. Очиллов // Точная наука. – 2019. – № 40. – С. 27–31.

5. Юркевич, Н. П. Использование компьютерных технологий для контроля знаний студентов при выполнении физического практикума в рамках работы совместного факультета ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич [и др.] // Вода. Газ. Тепло 2020: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», 8–10 октября 2020 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 324–328.

6. Ахмедов, А. П. Современные педагогические технологии при преподавании раздела «Электрические машины» / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Р. Н. У. Эрназаров // Точная наука. – 2018. – № 30. – С. 19–22.

7. Ахроров, Ф. Б. Повышение долговечности контактов тяговых реле стартеров электротехнологическим методом / Ф. Б. Ахроров, С. Б. Худойберганов // Техника и технология наземного транспорта: материалы междунар. студ. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 18 декабря 2019 г. / Науч. редактор Н. В. Пшениснов, сост. А. Н. Сидоров. – Нижний Новгород: Науч.-изд. центр «XXI век», 2020. – С. 30–33.

8. Юркевич, Н. П. Контроль знаний студентов при изучении курса общей физики в рамках образовательной программы ТИПСЭАД-БНГУ / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов, Р. М. Мирсаатов, М. А. Темирова, С. Б. Худойбергенов // Высшая школа. – 2020. – № 3. – С. 26–28.

УДК: 331.41

### **Диагностика системы мотивации персонала и пути ее совершенствования**

Якубова Х. М., Мухтарова Д.

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Актуальность исследования обусловлена несоответствием уровня технологического развития сравнительно небольших компаний мировым трендам. Инновации стали неотъемлемой частью развития и борьбы компаний любой отрасли за лидерство. В XXI веке ключ к успеху hi-tech предприятия зависит, прежде всего, от уровня подготовки и мотивации персонала. Автором исследования выдвинута гипотеза, согласно которой инновационная система мотивации, учитывающая специфику отрасли, способна сократить отток высококлассных специалистов.*

Задачи исследования: определить особенности традиционного и инновационного подходов к мотивации персонала в высокотехнологичных компаниях.

Практическая значимость работы состоит в анализе и формировании эффективной системы мотивации персонала какой-либо организации. Сформулированные рекомендации по внедрению инновационных технологий мотивации персонала компаний могут успешно применяться при формировании и реализации стратегии развития высокотехнологичных предприятий.

Важнейшим элементом эффективного управления является диагностика системы мотивации труда персонала [1–5]. Но для эффективного управления мотивацией персонала ее необходимо исследовать и оценивать. В то же время измерение мотивации – сложная методическая проблема. Необходимо совершенно четко понимать следующее:

– Почему диагностика мотивации труда персонала является важнейшим элементом системного менеджмента организации?

– Как подобрать инструментарий для диагностики системы мотивации и стимулирования персонала организации?

– Какие правила необходимо соблюдать, чтобы формировать эффективную модель диагностики системы мотивации персонала организации?

Система диагностики определяется прежде всего тем, что каждая организация использует методы и технологии мотивации работников, учитывающие не только ее особенности и специфику, но и качество внешней среды, включая постоянные изменения на рынке труда. Поэтому необходимо разработать гибкие и адаптивные к сложившейся ситуации нормативные документы:

– ключевые показатели деятельности персонала, с помощью которых оценивается качество выполнения работы;

– положение о системе мотивации и пакет документов, формирующих материальное и нематериальное стимулирование работников;

– критерии определения индивидуальных и общих результатов работы подразделений и организации в целом.

Модель мотивации позволяет оптимизировать расходы на персонал и становится неотъемлемой частью целостной системы управления человеческими ресурсами организации.

Функция контроля и, как следствие, диагностика организации – это характеристика управления, которая позволяет выявить проблемы и скорректировать деятельность организации до того, как эти проблемы перерастут в кризис.

Вот что написано в мудрой китайской книге «И Цзин» («Книге перемен») еще три тысячи лет назад, задолго до того, как возникли первые идеи науки управления: «Когда умный человек видит, почему он добился успеха, он делает так снова. Когда же он видит свои ошибки, он не повторяет их». Одна из важнейших причин необходимости контроля состоит в том, что любая организация, безусловно, обязана обладать способностью вовремя фиксировать свои ошибки и исправлять их до того, как они повредят достижению целей организации.

Специалисты топ-менеджмента и кадровых служб должны быть высокопрофессиональными для определения цели и задач диагностики действующей системы мотивации, поскольку этот процесс сам по себе и по существу, и по содержанию является чрезвычайно сложным методологически.

Потребность в данной процедуре чаще всего связана либо с коррекцией деятельности по управлению персоналом организации, либо с решением каких-то конкретных проблем, например с профессиональным развитием работников, условиями их труда, текучестью кадров и т. д. От этого зависят критерии эффективности системы мотивации сотрудников организа-

ции и показатели, по которым осуществляется анализ. Большое значение имеет также позиция руководителя, настроенного на сохранение действующей системы мотивации персонала организации или разработку новой. Кроме того, выявление мнений и обсуждение деятельности организации акцентируют внимание персонала на проблемных зонах организации и формируют установки на необходимость изменений. Если в дальнейшем выявленные ожидания работников не будут удовлетворены, диагностика потенциально может привести к демотивации их трудового участия.

Первый шаг оценки состояния мотивации трудовой деятельности состоит в формировании модели диагностики системы мотивации и стимулирования персонала организации.

Выбирая инструментарий и методики, с помощью которых обеспечивается объективная оценка групповой мотивации, важно учитывать факторы, повышающие удовлетворенность персонала результатами своей деятельности, поскольку трудовые мотивы работников разнообразны. В зависимости от жизненного цикла, организация, например, может быть сориентирована на одни цели на этапе стабильности, когда компания не стремится к изменениям, и на совершенно другие цели – на этапе развития, когда проявляется потребность в инновациях, новых идеях и продуктах.

В целом, на основе разработанной модели диагностики в организации должна быть получена информация, позволяющая решить по меньшей мере три ключевые задачи:

Во-первых, обеспечить оптимальное сочетание взаимных ожиданий – ожиданий организации от работников и ожиданий работников от организации. В первом случае речь идет о способности персонала к достижению поставленных целей, которые необходимы организации, а во втором – о запросах и потребностях работников, реализация которых должна быть им обязательно гарантирована организацией.

Во-вторых, определить возможные модификации трудового поведения персонала. Параметрами прогнозирования выступают характеристики значимых элементов трудового потенциала сотрудников – профессионально-квалификационного, психофизиологического и личностного. Оценивая динамику их развития, можно реально выявить поле организационного мотивирования и стимулирования трудовой деятельности персонала, воздействие на которое обеспечивает совпадение интересов работников и организации. Система организационного стимулирования труда в качестве инструмента управления предопределяет зависимость повышения удовлетворенности работника статусно-ролевым положением, ее принадлежности к организации от степени актуализации индивидуальных потребностей, что обуславливает творческое выполнение работником своих функций в соответствии со стратегией организации.

В-третьих, как вывод из двух предыдущих, на основе диагностики системы мотивации персонала фиксируется объем ресурсов, необходимых для совершенствования действующей модели, включая соотношение затрат на реализацию мероприятий и получаемых результатов.

В соответствии с новыми практиками управления человеческими ресурсами модель диагностики системы мотивации персонала организации должна характеризовать такие составляющие данного процесса, как:

- формализация социально-трудовых отношений для качественного выполнения работниками стандартов профессиональной деятельности;
- персонифицированный контроль высшего руководства за реализацией стратегии вовлеченности персонала;
- индивидуализация отношений между ключевыми работниками и работодателями;
- обеспечение внутренней мобильности персонала в организации.

Одновременно диагностическая модель должна быть сбалансированной, учитывать приоритеты других направлений кадрового менеджмента (системы отбора и найма персонала, планирования карьеры, профессионального обучения и т. д.) и обеспечивать руководство организации информацией, основанной на унифицированных критериях и достоверных методах. Принципами эффективности диагностической модели являются нацеленность на совершенствование труда работников, тщательная подготовка, конфиденциальность, надежность оценки и предоставление персоналу организации «обратной связи» по результатам диагностики.

Для совершенствования диагностики системы мотивации персонала организации, разработка ее модели должна осуществляться в три этапа.

На первом этапе анализируется информация о цели стратегии организации, специфике стадии ее развития, действующих системах мотивации персонала у реальных и потенциальных конкурентов на рынке труда. Результат первого этапа – обобщение полученных данных, которое позволяет выявить ключевые факторы, предопределяющие эффективность процессов мотивации персонала с учетом особенностей внешней среды организации.

На втором этапе определяются объекты и субъекты оценки внутренней среды; источники, на которых она будет основываться; способы проведения, процедуры, критерии и периодичность проведения оценки; степень охвата персонала. Результат второго этапа – систематизация полученной информации, которая обеспечивает понимание причин низкой результативности действующей системы мотивации и стимулирования персонала и выявление основных направлений ее совершенствования. Принципиальное значение имеет характеристика влияния таких мотивационных факторов, как организационная культура, структура потребностей работников, их

представление о критериях эффективности труда, соответствие ценностных ориентаций организации и занятых и т. д.

На третьем этапе определяются технологии, формализующие систему материальной и немонетарной мотивации и стимулирования персонала, и процедуры, обеспечивающие сопровождение внедрения данной системы. При этом персонал должен понимать следующее: что лично ему и организации дает реализация разработанной модели, и как проводимые изменения в дальнейшем повлияют на заработную плату или статус тех или иных категорий работников, расстановку приоритетов в профессиональной деятельности и программах личного развития, повышение участия в управлении организацией.

Таким образом, анализ управленческой деятельности по мотивации персонала позволяет описать основные источники удовлетворенности работников трудом. Также диагностика системы мотивации персонала описывает положительные и отрицательные факторы групповой мотивации и объективно существующие противоречия между целями бизнеса, целями собственников бизнеса, руководителей и персонала. Данная процедура позволяет оценить эффективность деятельности работников, ее направленность на достижение успеха и поставленных целей, количественные и качественные характеристики результативности, индивидуальные характеристики и вклад в общие показатели подразделения и организации в целом.

### Литература

1. Мескон, М. Х. Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М.: Дело, 1997. – 492 с.
2. Сперанский, А. А. Оптимизация системы оплаты труда и материального стимулирования / А. А. Сперанский, Н. В. Драгункина. – М.: Альфа-Пресс, 2006. – 190 с.
3. Травин, В. В. Основы кадрового менеджмента / В. В. Травин, В. А. Дятлов – М.: Дело, 1995. – 332 с.
4. Одегов, Ю. Г. Оценка эффективности работы с персоналом – методический подход / Ю. Г. Одегов, К. Х. Абдурахманов, Л. Р. Котова. – М.: Альфа-Пресс, 2011. – 752 с.
5. Одегов, Ю. Г. Значение оценки персонала в формировании системы вознаграждений / Ю. Г. Одегов, В. В. Халиулина // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2016. – № 2. – С. 84–87.

## **Цифровые тенденции и их формирование сферы преподавания**

Бернацкая Д. А.

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Данная статья развивает конструктивный взгляд на применение цифровых технологий в образовании – то, что иногда называют «образовательными технологиями», что включает в себя использование цифровых технологий для поддержки преподавания, обучения и воспитательной работы, показывает мобилизацию цифровых технологий для изменения повседневной практики образования для студентов и преподавателей. Статья (наряду с недавним опытом пандемического дистанционного обучения) указывает на ограниченность возможностей технологий для изменения давно сложившихся моделей образовательных возможностей и результатов. Тем не менее, поскольку энтузиазм по поводу оцифровки образования продолжается в свете появления технологий искусственного интеллекта и виртуального образования, в статье заложены некоторые основы и существующие возможности для развития оптимизма в отношении образовательных технологий.*

Непоследовательные и неравномерные результаты образования, основанные на технологиях, резко обострились в связи с продолжающимся реагированием на пандемию COVID-19, когда страны пытаются внедрить формы «дистанционного обучения», при которых учащиеся могут поддерживать определенную непрерывность образования вдали от привычных очных классов и групп. Этот резкий разрыв в системе образования высветил как возможности, так и ограничения цифрового образования [1].

Пандемия COVID также высветила озабоченность по поводу качества преподавания и обучения, которое стало возможным благодаря дистанционному онлайн-образованию, наряду с выраженной «потерей знаний» среди малообеспеченных и других обездоленных групп населения, в сочетании со значительными психосоциальными нагрузками при постоянном онлайн-обучении. Хотя цифровые технологии и сыграли ключевую роль в поддержании базовых форм образования во многих странах с высоким уровнем дохода во время пандемии COVID-19, однако это оказалось весьма ограниченной формой обучения [1].

Несмотря на уроки последних лет, привлекательность цифровых технологий как простого решения долгосрочных образовательных проблем остается сильной. С каждой новой технологией остается надежда, что «на

этот раз» инструменты будут другими, а значит, ожидания будут реализованы. Другими словами, для педагогов существует непреходящая привлекательность «технического решения» – то есть попытки использовать «мощь» цифровых технологий для решения проблем не технологического характера. В последнее время развитие онлайн-технологий породило пагубное технологическое решение, когда считается, что только цифровые технологии способны управлять и решать застарелые общественные проблемы инновационными способами [1].

Одной из важных тенденций в сфере образования в категории вспомогательных технологических устройств является использование альтернативных устройств ввода. Они позволяют учащимся с ограниченными возможностями использовать компьютеры и планшеты, оснащенные модифицированными клавиатурами с большими кнопками, курсорами, которыми можно управлять ртом или ногами, и другими возможностями. Для учеников, чья инвалидность не позволяет им использовать какие-либо устройства ручного ввода, технология преобразования речи в текст стала надежной альтернативой. Кроме того, более тонкие технологические достижения, такие как легко читаемые шрифты, облегчающие работу учащихся с дислексией, поддерживают тех, кто имеет небольшие проблемы с обучением [2].

Эти тенденции в области образовательных технологий будущего разрушают барьеры, разделяющие учеников по их способностям к обучению.

Планшеты стали мобильными устройствами, которые учащиеся используют чаще всего, и не зря – они достаточно малы и портативны для индивидуального использования, достаточно велики для совместного использования несколькими учащимися и достаточно универсальны, чтобы служить в качестве видеоплеера, текстового процессора или образовательного игрового устройства.

Широкие возможности для творческого применения планшетов существуют для преподавателей Ассоциация по надзору и разработке учебных программ отмечает, что изменить практику работы в классе с помощью технологий очень, очень трудно. Это отражение того факта, что планшеты чаще всего используются для обновления существующих образовательных практик, таких как распространение материалов и ведение записей, а не для новых, инновационных целей. Следующее поколение преподавателей, использующих планшеты, окажет глубокое влияние на учащихся, обучая их более высокой технологической грамотности и расширяя их возможности для получения новых знаний [2].

Тенденции в сфере образования будут развиваться на волне расширения возможностей Интернета и увеличения пропускной способности сетей, что позволит с большей легкостью внедрять передовые технологии в

468

школы. Две основные области применения технологий следующей волны – это дополненная реальность и виртуальная реальность (AR/VR). Устройства дополненной реальности улучшают реальные материалы, например, заставляют карту соскакивать со страницы, а продукты виртуальной реальности создают погружение в цифровой мир, в котором учащиеся взаимодействуют с виртуальными 3D-мирами, что повышает эффективность обучения [2].

Компания Google уже сделала первые шаги в области AR/VR, выпустив картонное устройство для просмотра виртуальной реальности. Это устройство является частью приложения и платформы Google Expeditions, выпущенной в 2017 году. AR/VR-обучение особенно хорошо подходит для студентов в областях STEM, предоставляя преподавателям доступ к виртуальному препарированию, изучению микроскопических организмов вблизи и многим другим образовательным приложениям. Но это еще не все – технология AR/VR также позволяет учащимся обогнуть земной шар и изучить исторически важные моменты вблизи и лично, путешествуя по Вселенной, не выходя из аудитории [2].

Между тем, голосовые платформы, такие как Google Echo и Amazon Alexa, которые все чаще появляются в домах по всей стране, также находят применение. Эти устройства позволяют учащимся мгновенно получать ответы на вопросы. С их помощью можно играть в образовательные игры, проводить опросы своих одноклассников, общаться со студентами по всему миру и многое другое [3].

Устойчивые темпы технического прогресса в образовании способствуют тому, что преподавание становится карьерой с прекрасным будущим. Сильная гуманитарная подготовка может стать прочным фундаментом для студентов, заинтересованных в карьере в сфере образования. Кроме того, онлайн-программы обучения, могут обеспечить дополнительный уровень личного видения того, как студенты и преподаватели могут использовать технологии в образовании.

### **Литература**

1. Future Education Technology: How Digital Trends Are Shaping Teaching [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://online.maryville.edu/blog/future-ed-tech/>. – Дата доступа: 28.03.2022.
2. Future Education Technology: How Digital Trends Are Shaping Teaching [Electronic resource]. – Mode of access: <https://online.maryville.edu/blog/future-ed-tech/>. – Date of access: 28.03.2022.
3. Keri Facer and Neil Selwyn. Digital technology and the futures of education –towards ‘non-stupid’ optimism [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377071.locale=en>.

**Лингводидактическое обеспечение  
технического образования**

**Інтэграцыйнасць як умова эфектыўнасці выкладання  
замежнай мовы ў тэхнічнай ВНУ  
(з досведу працы кафедры «Англійская мова» № 2)**

Мартысюк Н. П.

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт  
Мінск, Рэспубліка Беларусь

*Разглядаецца семантычная арганізацыя высокачастотных лексем «эфектыўнасць» і «эфектыўны», а на іх падставе – семантычная арганізацыя канструкцыі «эфектыўнасць выкладання курсу замежнай мовы ў тэхнічнай ВНУ». Комплексны дысцыплінарны падыход да апісання чалавека як педагагічнага аб'екта ўтварае аснову інтэграцыйнасці. Інтэграцыйнасць разглядаецца ў якасці ўмовы эфектыўнасці выкладання замежнай мовы ў тэхнічнай ВНУ. Алімпіяда па англійскай мове, англамоўны конкурс PowerPoint прэзентацый, спецкурс «Замежная мова (прафесійная лексіка)» – спосабы ажыццяўлення эфектыўнасці.*

Вынікова-ацэначны бок усялякай сферы чалавечай дзейнасці сімбалізуецца словамі *эфектыўнасць* і *эфектыўны*, напрыклад: *эфектыўнасць будаўніцтва/дыпламатычных стасункаў, эфектыўнае планаванне/навучанне* і інш. Сучасны змястоўны аспект гэтых словаў выводзіцца ад лацінскага слова *effectus* (*эфект*) з яго першапачатковым значэннем «дзеянне, уздзеянне, уплыў» і з даданага пашыранага значэння «вынік, дзейнасць, ўражанне» [1]. Такім чынам, унутраная форма слова *effectus* (*эфект*) адлюстроўвае і працэс дзеяння («дзеянне»), і ягоную накіраванасць на аб'ект уздзеяння («уздзеянне, уплыў»), і вынік уздзеяння («вынік, дзейнасць»), і ўяўленне (думка) аб выніку ўздзеяння («ўражанне»). Відавочна, што такая ж самая арганізацыя ўнутранай формы захавалася і ў ягоных вытворных формах *эфектыўнасць* і *эфектыўны* – аб'ёмістая, шматпланавая, а таму і вельмі зручная для апісання якасці выніку мэтанакіраванай дзейнасці чалавека, якая і абумоўлівае папулярнасць выкарыстання гэтых лексічных адзінак.

Але ўсялякая мэтанакіраваная дзейнасць сама па сабе не існуе. Яна павінна быць абумоўленай вонкавымі альбо ўнутранымі падставамі для яе здзяйснення, то бок павінна быць матываванай. У дачыненні да педагагічнай дзейнасці, а дакладней, да практыкі выкладання, мы маем справу з вонкавай матываванасцю, якая адпавядае **патрэбам** развіцця грамадства – **умовам** слушнай мэтанакіраванай арыентацыі педагагічнага працэсу і ягоных суб'ектаў на дасягненне вынікаў, цалкам адпавядаючых

пастаўленай сацыяльназначнай мэце – фарміраванню ўсебакова і гарманічна дасканалай асобы.

У сваю чаргу, усебакова і гарманічна дасканалая асоба – чалавек як педагагічны аб’ект – і ёсць тым самым аб’ядноўваючым пачаткам, які вывучаецца ўсёй сістэмай гуманітарных ведаў ва ўсіх ягоных шматбаковых праявах: як асоба, група, клас, грамадства і інш. Таму ацэнка любога стану грамадства, любых пераўтварэнняў (або тэхнічных, або навуковых, або сацыяльных) павінна суадносіцца з задачамі развіцця і ўдасканалення чалавека, дзе чалавек разглядаецца як «мэта развіцця грамадства, ягоны сэнс і вынік засяроджання высілкаў» (пераклад – *наш*) [2, с. 18].

Такім чынам, калі чалавек ёсць цэнтрам асэнсавання праблемаў развіцця грамадства, дык праблема чалавека робіцца комплекснай праблемай, даследаванне каторай дапушчае ўзаемадзеянне навук, то бок інтэграцыю. **Стан жа ўзаемадзеяння навук, стан інтэграцыі, што дае магчымасць апісаць чалавека і ягоную дзейнасць у пэўным змястоўна-сэнсавым кантэксце з пажаданым вынікам (эфектыўнасцю), можна назваць *інтэгратаўнасцю*.**

Са сказанага вынікае, што ў дачыненні да тэхнічнай ВНУ, інтэгратаўнасць выкладання ёсць той першачарговай умовай, якая забяспечвае выкананне сацыяльнай замовы на падрыхтоўку спецыяліста інавацыйнага тыпу – прафесіянала, здольнага апэратыўна ставіць і выконваць задачы, прадывкаваныя ўмовамі рыначнай эканомікі, прафесіянала, здольнага несці адказнасць за кіраванне тэхналагічнымі працэсамі.

Што тычыцца інтэгратаўнасці як умовы эфектыўнасці выкладання курсу замежнай мовы ў тэхнічнай ВНУ, тут слухна засяродзіцца на семантычнай арганізацыі дыскурсу выкладання гэтай дысцыпліны з уласнага досведу.

У акрэсленых варунках, то бок у тэхнічнай ВНУ, слова *эфектыўнасць* разглядаецца ў значэнні «дадатны вынік», то бок паляпшэнне якасці навучання пры змяньшэнні колькасці гадзін<sup>1</sup>, адведзеных для выкладання дысцыпліны. Як дасягнуць такога выніку? Адказ такі – трэба абпірацца на ўнутраныя рэзервы:

– па-першае, на інтэграцыю тэхнічных і гуманітарных ведаў у змест вучэбнага тэксту па прадмеце «Замежная мова (англійская)». Мэта

---

<sup>1</sup> *паляпшэнне якасці навучання пры змяньшэнні колькасці гадзін мае значэнне ‘аптымізацыя адукацыйнага працэсу’*

інтэграцыі – даць новыя веды аб тым, што «сучасныя аб’екты пазнання – гэта складаныя комплексы, у якіх існуе чалавек», садзейнічаць «разуменню аб’ектыўнасці дзейнасці чалавека, ягонай ролі ў пераўтварэнні навакольнага асяроддзя» (пераклад – *наш*) [3, с. 5–6]. Атрымоўваецца, такім чынам, што вучэбны тэкст па замежнай мове ў тэхнічнай ВНУ выконвае ролю каардынатора навучальнага працэсу;

– па-другое, на інтэграцыю тэхнічных і гуманітарных ведаў у межах пазакласных мерапрыемстваў для студэнтаў малодшых курсаў накіраваны алімпіяды па англійскай мове і англамоўнага конкурсу PowerPoint прэзентацый. Мэты інтэграцыі – спрыяць павышэнню матывацыі да вывучэння замежнай мовы, паказаць магчымасці і перспектывы, якія адкрывае перад спецыялістам валоданне замежнай мовай. Атрымоўваецца, такім чынам, што і алімпіяда па англійскай мове, і англамоўны конкурс PowerPoint прэзентацый выступаюць у якасці механізмаў эфектыўнасці, а менавіта, спосабаў паляпшэння якасці выкладання замежнай мовы ў акрэсленых варунках;

– па-трэцяе, на інтэграцыю тэхнічных і гуманітарных ведаў у межах спецкурсу «Замежная мова (прафесійная лексіка)» для студэнтаў старэйшых курсаў. Мэты інтэграцыі – удасканаленне навыкаў, атрыманых на папярэдніх этапах вывучэння мовы і прадметаў па спецыяльнасці, набывшце новых ведаў, якія будуць карыснымі ў будучай прафесійнай дзейнасці падчас камунікавання на замежнай мове, а таксама неабходнасць бесперапыннай самаадукацыі. Атрымоўваецца, такім чынам, што дадатковыя формы заняткаў па англійскай мове ізноў жа выступаюць у якасці механізмаў эфектыўнасці – спосабаў паляпшэння якасці выкладання замежнай мовы ў акрэсленых варунках.

Прыведзеная тыпалогія інтэгрэтыўнасці падкрэслівае значнасць замежнай мовы як пасярэдніка міждысцыплінарнага абмену, здольнага пашырыць межы тэхнічных навук за кошт сацыягуманітарных ведаў.

## Літаратура

1. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/searchall.php?SWord=эффект&from=ru&to=xx&did=&stypе=> (дата обращения 19.02.2022).

2. Пуляев, В. Т. Социально-гуманитарные науки и новая парадигма развития общества / В. Т. Пуляев // Интегративные тенденции в современном социально-гуманитарном знании: материалы Междунар. науч. конф, Минск, 16–17 нояб. 1999 г. / Минск. гос. лингв. ун-т. – Минск, 2000. – С. 13–23.

3. Особенности интеграции гуманитарных и технических знаний: сб. докладов Всерос. науч. конф. с междунар. Участием, 27–28 сент. 2018 г. /

М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2018. – 386 с.

УДК 372.881.111.1

**Олимпиада по английскому языку как механизм повышения эффективности обучения иностранным языкам в техническом вузе**

Крюкова Л. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье обобщается опыт кафедры «Английский язык» № 2 БНТУ по подготовке и проведению олимпиады по английскому языку. В силу специфики обучения иностранным языкам в условиях технического вуза, проведение таких внеаудиторных мероприятий рассматривается как один из механизмов повышения эффективности обучения.*

Обучение иностранным языкам в условиях технического вуза несомненно имеет свою специфику, поскольку не только формирует востребованные коммуникативные компетенции будущих инженерных кадров, но и реализует комплексную задачу интегрирования технических и гуманитарных знаний и навыков в процессе подготовки специалиста, нацеленного на инновационную деятельность.

К специфике обучения иностранным языкам инженерных специалистов следует отнести постепенное уменьшение количества аудиторных часов, отводимых на изучение дисциплины, и, как следствие, изменение содержания обучения, направленного в данных условиях на более узкую специализацию в конкретной профессиональной сфере. В этом случае основное внимание на аудиторных занятиях смещается на изучение узкоспециальной лексики в ситуациях иноязычного профессионального общения с использованием грамматических и синтаксических конструкций, свойственных научно-техническому дискурсу. Чтобы соблюсти баланс в формировании профессиональных компетенций (hard skills) и универсальных компетенций (soft skills), необходимо развивать и активно внедрять различные механизмы эффективности преподавания иностранных языков в неязыковом вузе, которые способны обеспечить интеграцию профессиональных и гуманитарных знаний.

Одним из таких механизмов можно считать олимпиаду по английскому языку, которая ежегодно проводится в Белорусском государственном техническом университете в рамках ежегодного Международного молодежного форума «Креатив и инновации». В отличие от олимпиад по учебным

дисциплинам общего среднего образования, целью вузовского внеаудиторного мероприятия является не выявление и поддержка наиболее одаренных учащихся, а повышение мотивации и интереса к изучению иностранного языка, расширение и активизация диапазона лингвистических и коммуникативных навыков студентов. Поэтому для участия в олимпиаде приглашаются не только студенты с лучшими знаниями по предмету, но и все желающие получить дополнительные возможности для совершенствования своих навыков иноязычной коммуникации, которые дает это внеаудиторное мероприятие.

Процесс подготовки к олимпиаде обычно занимает более двух месяцев во втором семестре и стимулирует преподавателей и студентов к внедрению эффективных форм организации аудиторной и самостоятельной работы студентов. Так, подготовленные тренировочные тестовые задания, аналогичные заданиям олимпиады, позволяют активизировать лексические и грамматические навыки, полученные в школе, которые, в силу специфики инженерных специальностей, остаются невостребованными.

Олимпиада проводится в два этапа. Первый тур – письменный тест, включающий задания на понимание общего содержания текста, изучающее чтение, выбор лексических и грамматических форм, практическое использование лексико-грамматических единиц в контексте.

Второй тур, в который отбираются участники, показавшие лучшие результаты по итогам теста, проводится через неделю. Участники должны продемонстрировать свои навыки публичных выступлений на иностранном языке, убедительно и аргументированно изложив факты и свое мнение по актуальной теме, которая объявляется после первого тура. Среди актуальных тем для обсуждения на последних олимпиадах, проводимых кафедрой «Английский язык» № 2, были проблемы высшего образования в нашей стране и мире, глобальные проблемы XXI века и проблемы устойчивого развития общества, например: *Higher Education Problems and Prospects; Living in the 21st Century: Advantages and/or Challenges; Is Sustainability Really Sustainable?* Разработанные на кафедре критерии оценки устных выступлений включают содержание и композицию выступления, грамматическое, лексическое и фонетическое оформление речи, а также взаимодействие с аудиторией в процессе выступления и ведения дискуссии. Победители выявляются по сумме двух туров олимпиады и награждаются грамотами и дипломами.

Участие и победа в олимпиаде вызывает определенный резонанс среди студентов и, несомненно, повышает их интерес и мотивацию к изучению иностранного языка. Таким образом, процесс подготовки и участие в олимпиаде по иностранному языку в условиях технического вуза может стать механизмом повышения эффективности преподавания и изучения

дисциплины, важность которой не подвергается сомнению даже в противоречивых условиях изменяющейся глобальной ситуации.

УДК 808.1+378.016

**«Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)»  
как механизм эффективности практико-ориентированного обучения**

Муха О. Ю., Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Рассматривается важность спецкурса «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)» при практико-ориентированном обучении. Раскрываются ключевые моменты спецкурса, направленные на возможность использования знаний по английскому языку в ситуациях, схожих с реальными.*

На современном этапе система высшего образования направлена не только на формирование теоретической базы будущих специалистов, но и на формирование практических навыков, в частности навыков эффективной коммуникации на английском языке. Работа выпускников технического университета – инженеров в различных областях, архитекторов – тесно связана с взаимодействием, как с коллегами, так и с потенциальными заказчиками. Английский язык – это самый распространенный способ наладить контакт с партнером или заказчиком. На нем ведут переговоры, заключают сделки, совершают звонки и ведут переписку. Уверенное владение языком может показать уровень профессионализма наряду с другими полезными бизнес-навыками.

**При практико-ориентированном обучении** преимущественной целью является формирование у обучающихся профессиональных компетенций практической деятельности, которые востребованы сегодня работодателями, а также понимания того, где, как и для чего применяются полученные компетенции. Результат практико-ориентированного подхода в обучении – специалист, способный эффективно применять в профессиональной деятельности, имеющиеся у него компетенции на родном и на иностранном (английском) языках.

Эффективным механизмом формирования таких компетенций является спецкурс «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)», включающий основы деловой коммуникации. В рамках курса студенты приобретают уверенность в общении на «языке бизнеса», обогащают свой

словарный запас терминологией, получают представление о различиях в стилях ведения бизнеса в разных странах и чувствуют себя увереннее в своей профессиональной области.

Одним из видов деятельности в рамках этого курса является разбор различных бизнес-кейсов. Кейс-технологии получили широкое распространение в практико-ориентированном обучении, играют важную роль в формировании практических навыков и основаны на межпредметной интеграции. Обсуждая различные кейсы известных компаний, студенты узнают что-то новое помимо знаний языка. Они получают возможность использовать на практике не только знания, полученные в пределах курса английского языка, но и знания профильных дисциплин.

Отличительными особенностями кейс-метода являются: описание реальной проблемной ситуации; альтернативность выходов из проблемной ситуации; единая цель и коллективная работа по выработке решения; функционирование системы группового оценивания принимаемых решений; эмоциональное напряжение учащихся.

Занятия по анализу конкретной ситуации ориентированы на использование и практическое применение знаний, полученных в период теоретической подготовки, а также умений, опирающихся на предыдущий опыт практической деятельности студентов. Анализируя проблемы, возникающие в реальных компаниях, например, выбор подходящего кандидата на должность в компании, студенты попадают в ситуации, с которыми могут столкнуться в реальной жизни. Используя знания английского языка, студенты обсуждают профессиональные проблемы и разыгрывают реальные ситуации, что помогает повысить практическую ориентированность обучения.

Также на занятиях по спецкурсу «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)» студенты получают возможность «отрепетировать» самые стрессовые мероприятия – к примеру, провести презентацию, сделать доклад или красиво уйти от ответа на неудобный вопрос. Данный курс позволяет набраться знаний и, что самое важное, смелости прочесть полезные статьи или посмотреть дополнительные видео на языке оригинала.

Спецкурс «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)» наполнен заданиями на аудирование, которые преследуют цель помочь студентам преодолеть языковой барьер и усовершенствовать понимание иноязычной (английской) речи на слух, подготовить себя к ситуациям, тесно связанным с выполнением будущих профессиональных обязанностей, – «Telephoning skills», «Expressing opinion», «Persuading» или «Working with compliances» и т. п.

Таким образом, «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)» выступает одним из механизмов эффективности практико-ориентированного обучения и, без сомнения, необходим студентам, которые понимают, что такой спецкурс поможет им в профессиональной деятельности и карьерном росте.

УДК 808.1+378.016

### **Межпредметный потенциал дисциплины «Иностранный язык» в техническом вузе**

Сугакова Е. П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются преимущества изучения иностранного языка в техническом вузе через межпредметные связи, способствующие формированию у обучающихся иноязычной коммуникативной компетенции и повышению качества высшего образования.*

В настоящее время изучение иностранного языка в техническом вузе имеет немаловажное значение. Современное общество требует подготовки высококвалифицированных кадров инженерных специальностей с отличным уровнем владения иностранным языком, знания которого, в свою очередь, имеют высокий потенциал в развитии международных профессиональных коммуникаций.

Межпредметные связи технических дисциплин и иностранного языка имеют особенное значение в образовательном процессе. Благодаря им осуществляется возможность разностороннего подхода к изучению предметов, что, несомненно, способствует повышению качества знаний.

При разработке и подготовке программы по иностранному языку для студентов технического вуза всегда делается акцент на соответствие данного материала и основной специальности обучающихся. Профессионально-ориентированный материал способствует общему развитию будущих специалистов, формирует иноязычную коммуникативную компетенцию и позволяет использовать иностранный язык как средство профессионального и межличностного общения [1].

Благодаря межпредметным связям одновременно может проходить обучение студентов как иностранному языку, так и профильным дисциплинам. Кроме изучения специальной литературы, чтения и перевода текстов на своих занятиях преподаватель должен применять дополнительные методы обучения. К таким методам можно отнести работу учащихся в

группах, индивидуальные задания, задания на карточках, использование схем и таблиц, аудирование, дискуссии и презентации. Нужно также уметь формулировать проблемные ситуации и предлагать различные способы их решения студентам. Таким образом лучше будет усваиваться новый материал, легче будет проходить процесс формирования и совершенствования навыков речи. Кроме того, работа с профессионально-ориентированным материалом позволит повысить интерес обучающихся к изучению иностранного языка.

Как известно, преподавание иностранного языка в Белорусском национальном техническом университете происходит в условиях дефицита академических часов [2]. Поэтому при организации своей работы преподаватель должен учитывать этот фактор и по возможности максимально точно подбирать адаптированный материал, тесно связанный с техническими профессионально-ориентированными предметами. Так, например, на первом курсе, в первом семестре студенты специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» в разделе «Energy Engineering» учебника «Английский язык для инженеров энергетических специальностей» [3], изучают энергию и ее виды. Английский язык в данном случае преподается в тесной связи с такой дисциплиной, как «Физика». В третьем семестре студенты этой же специальности на занятиях по английскому языку изучают такие разделы, как: «Отопление», «Вентиляция», «Увлажнение», «Кондиционирование». Стоит отметить, что профильное обучение студентов по данным дисциплинам начинается с третьего курса. На занятиях по английскому языку происходит первое знакомство обучающихся с образовательной программой, предусмотренной на старших курсах и, таким образом, подкрепляется интерес к дальнейшему применению полученных знаний при более детальном изучении вышеупомянутых дисциплин.

Междисциплинарный потенциал дисциплины «Иностранный язык» очень значителен в процессе подготовки специалистов технического вуза. Он позволяет повысить интерес обучающихся к образовательному процессу и поднять качество образования в целом.

### Литература

1. Янушкевич, Л. М. Формирование научно-исследовательской компетенции у студентов технического профиля на занятиях английского языка / Л. М. Янушкевич // Лингводидактическое обеспечение технического образования: материалы Междунар. науч.-технич. конф. «Вода. Газ. Тепло 2020», 8–10 окт. 2020 г. / Белор. нац. технич. ун-т. – Минск, 2020. – С. 375.
2. Мартысюк, Н. П. О роли системного подхода в обучении английскому в техническом вузе / Н. П. Мартысюк // Лингводидактическое обеспе-

чение технического образования: материалы Междунар. науч.-технич. конф. «Вода. Газ. Тепло 2020», 8–10 окт. 2020 г. / Белор. нац. технич. ун-т. – Минск, 2020. – С. 364.

3. Трухан, Е. В. English for energy engineering. Английский язык для инженеров энергетических специальностей: учебник / Е. В. Трухан [и др.]. – М.: Издательство АСВ, 2018. – 288 с.

УДК 378:811.1.8

### **О непрерывности обучения иностранному языку в системе университетской подготовки специалистов технического профиля**

Козлова О. А.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

*В статье делается акцент на необходимости обеспечения непрерывной профессионально-иноязычной подготовки в УВО технического профиля. Рассмотрен вопрос организации процесса обучения иностранным языкам в ведущих технических вузах Республики Беларусь. Проводится параллель с высшими техническими школами России.*

Качество подготовки специалистов в учреждениях высшего образования зависит от ряда факторов:

- 1) широкого спектра новых специальностей, которые наиболее востребованы на рынке труда;
- 2) наличия соответствующей материально-технической базы (оснащенность учебных аудиторий и лабораторий необходимым современным оборудованием);
- 3) обеспеченности учебной литературой и учебно-методической документацией, отвечающей требованиям времени;
- 4) разработки для каждой специальности рациональных учебных планов, включающих набор таких дисциплин, которые бы способствовали формированию и развитию требуемых профильных компетенций;
- 5) уровня квалификации профессорско-преподавательского состава;
- 6) широких связей с производством и мировым научным сообществом;
- 7) возможности участия в программах международного обмена и многое другое.

Бесспорно, преподаваемые в вузе дисциплины напрямую влияют на будущую компетентность выпускников. Ни для кого не секрет, что работодатели сегодня отдают предпочтение кандидатам, обладающим компе-

тенциями в области иноязычной профессиональной и межкультурной коммуникации. Отсюда и важность вопроса о реализации непрерывности обучения иностранному языку на протяжении всего университетского курса.

В настоящий момент система высшего образования Беларуси не может похвастаться повсеместным обеспечением непрерывной профессионально-иноязычной подготовки работников технической сферы. Исключение составляют столичные вузы, в которых отдельные факультеты выпускают высококвалифицированных специалистов со знанием иностранного языка. Так, в ведущем техническом вузе страны, Белорусском государственном техническом университете (БНТУ, г. Минск), иностранный язык преподается на всех специальностях в течение первого года обучения с интенсивностью занятий 1–2 раза в неделю согласно учебному плану конкретной специальности. Однако следует отметить, что на некоторых факультетах дисциплина «Иностранный язык» является профильной. Например, для студентов специальностей «Таможенное дело» факультета технологий управления и гуманитаризации и «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте» автотракторного факультета курс обучения иностранному языку длится 4 года и завершается итоговой аттестацией в виде государственного экзамена [1]. Для подавляющего же большинства специальностей на втором году обучения к обязательному курсу основного иностранного языка добавляется возможность изучения английского, немецкого, французского, испанского и китайского языков в форме факультатива по освоению профессиональной лексики с интенсивностью 1 раз в неделю. Радует тот факт, что недостаточная интенсивность аудиторной работы частично компенсируется внеаудиторными мероприятиями языковой направленности – олимпиадами, викторинами, а также неделями иностранных языков и зарубежных культур. Последнее реализуется в виде языковых конкурсов, конкурса слоганов на тему «Обучение в БНТУ – перспективы для будущего!», конкурса переводчиков, страноведческих викторин, рабочим языком которых является иностранный. Каждый год обучающимся предоставляется возможность принять участие в международных исследовательских проектах и программах и выступить с докладами на иностранном языке. Для студентов, изучающих немецкий язык, существует реальная перспектива пройти языковые курсы в ФРГ благодаря тесному сотрудничеству университета с представителями Германской службы академических обменов (DAAD).

Рассмотрим организацию процесса обучения иностранным языкам на примере еще одного передового вуза Беларуси по подготовке инженерных кадров – Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого (ГГТУ, г. Гомель). Здесь в качестве обязательной дисципли-

планы преподавание иностранного языка осуществляется в течение первых двух семестров 1-й ступени университетского образования с нагрузкой 51/51, 68/51 и 68/68 часов для первого и второго семестров соответственно. На втором курсе изучать иностранный язык продолжают студенты факультета автоматизированных и информационных систем в виде факультативных курсов «Иностранный язык (английский) (факультатив)», «Иностранный язык (профессиональная лексика)», «Терминологический иностранный язык», «Иностранный язык специальности» со средней интенсивностью 1 раз в неделю. Формой аттестации для факультативов выступает зачет. Как и в минском БНТУ, ежегодно организуются и проводятся языковые конкурсы, олимпиады по изучаемым языкам; лучшие студенты привлекаются к работе студенческой учебно-исследовательской лаборатории и участию в научно-практических конференциях.

Опыт показывает, что прерывание иноязычной практики, которое происходит у большинства обучающихся после первого курса, не лучшим образом сказывается на уровне их языковой компетенции. Все преподаватели, чья педагогическая деятельность регулируется системой контроля менеджмента качества, отвечают за само качество предоставляемых образовательных услуг и, следовательно, заинтересованы в достижении высоких показателей учебной работы. Педагоги сходятся во мнении, что продолжение изучения иностранного языка с уклоном в сферу профессиональной коммуникации вплоть до завершения освоения университетской программы является в современных условиях просто необходимым. Так, начиная со второго года обучения для всех специальностей можно было бы предложить курс «Перевод в области профессиональной коммуникации» (по примеру российского МАИ – Московского авиационного института) [2], с третьего курса и до окончания университета – «Профессиональное деловое общение на иностранном языке». К слову, в крупнейших российских вузах представлена современная модель профессионально и практико-ориентированного обучения иностранному языку, в рамках которой предмету «Иностранный язык» отводится место профильной дисциплины в учебных планах многих технических специальностей.

Отрадно, что и мнение студентов относительно организации образовательного процесса по изучению иностранных языков во многом совпадает с точкой зрения профессорско-преподавательского состава. По данным опроса обучающихся 2–4 курсов ГГТУ им. П.О. Сухого среди факторов, отрицательно влияющих на качественную профессионально-иноязычную подготовку, отмечены следующие: короткий период обучения; недостаток разговорной практики иностранного языка; малая возможность вариативности тем в сторону тех, которые интересуют студентов; отсутствие возможности изучать второй иностранный язык; слабая техническая осна-

ценность кафедры иностранных языков (отсутствие мультимедийного лингафонного кабинета, интерактивных досок, собственного компьютерного класса).

Таким образом, очевидным является тот факт, что приоритетное требование свободного практического владения иностранным языком, предъявляемое к выпускникам высших технических школ, сегодня не может быть в полной мере удовлетворено без пересмотра учебных планов УВО на предмет перераспределения нагрузки в пользу дисциплины «Иностранный язык». Считаем также, что залогом повышения качества современной подготовки специалистов технической области может стать реализация инновационных принципов языкового образования путем внедрения качественно новых интегративных технологий обучения иностранному языку. Последние должны быть направлены на профилизацию иноязычной подготовки [3], которая послужила бы развитию лингвистического капитала, креативно-коммуникативной компетенции и готовности будущих инженерно-технических работников пользоваться иностранным языком как инструментом успешного осуществления своей профессиональной деятельности не только в родной стране, но и на международной арене.

### Литература

1. Белорусский национальный технический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bntu.by> (дата обращения – 30.10.2021 г.).
2. Московский авиационный институт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mai.ru> (дата обращения – 01.12.2021 г.).
3. Каргина, Е. М. Интегрированные учебные программы в профильном преподавании иностранного языка в техническом вузе [Электронный ресурс] / Е. М. Каргина // Психология, социология и педагогика. – 2014. – № 9. – Режим доступа: <https://psychology.snauka.ru/2014/09/3644> (дата обращения – 04.01.2022 г.).
4. Рыбакова, Л. В. Подготовка специалистов профессионально-ориентированному английскому в технических вузах / Л. В. Рыбакова, Н. В. Неверова, Н. А. Еремеевков // Перспективы науки и образования. – 2018. – № 3 (33). – С. 88–92.
5. Улыбина, С. В. Изучение иностранного языка в техническом вузе – обязательный компонент профильной подготовки специалиста [Электронный ресурс] / С. В. Улыбина, Д. Р. Мухтарова // Студенческий научный форум – 2015: материалы VII Междунар. студ. науч. конф. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015012430> (дата обращения – 04.01.2022 г.).

**Оптимизация преподавания иностранного языка  
с использованием компьютеров**

Здоронок Ю. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Статья посвящена проблеме оптимизации процесса преподавания иностранного языка. Ограниченное количество часов, отводимых на изучение дисциплины, отсутствие эффективных пособий для многих специальностей, необходимость формирования коммуникативно-прагматической компетенции в устной форме делают использование компьютеров одним из актуальных подходов к оптимизации преподавания иностранного языка в техническом вузе.*

Для осуществления образовательного процесса по овладению иностранным языком педагогика требует всевозможных результативных алгоритмических действий или методик, а **методики – приложений**. Таким образом, в образовательном процессе присутствует разнообразие теоретических и прикладных моментов, вариантов и вариаций организации самого процесса обучения.

В отношении понятия «методика обучения иностранным языкам» существуют несколько определений. Одно из них достаточно точно сформулировано Е. И. Пассовым в «Сорок лет спустя, или Сто и одна методическая идея» и остается верным в наши дни: **методика** – это система знаний о закономерностях процесса обучения второму (неродному) языку и о путях воздействия на этот процесс с целью его оптимизации [1, с. 12].

Используемая в методике обучения категория **приема** основывается на элементарном методическом поступке, конечной целью которого является решение определенной задачи в ходе практического занятия. Более высокой ступенью в иерархически зависимом множестве базисных категорий является **метод**. Являясь обобщенной моделью реализации базовых компонентов, метод доминирует в идеи решения главной методической задачи, для которой характерно систематическое повторение одних и тех же форм и способов работы в учебной аудитории [2, с. 33].

Основу каждого метода составляют **принципы** – руководящие исходные предпосылки, имеющие некоторую закономерность и позволяющие эффективно организовать процесс обучения.

Совокупность базовых методических категорий образует **систему обучения**, которая представляет собой всеобщую модель образовательного

процесса. Методическая концепция модели обучения определяет отбор материала, цель, формы, содержание и средства обучения. Система обучения является основополагающей при создании учебных пособий по иностранным языкам.

**Подход** к обучению реализуется на практике в виде определенной стратегии, использующей тот или иной метод обучения. Носителями обучающей информации в образовательном процессе выступают **средства обучения** или своего рода инструменты, нацеленные на поддержание образовательного процесса в его материально-техническом плане.

Таким образом, **методика обучения иностранным языкам** – это система знаний, основные элементы которой, синтезируясь, не только обогащают саму науку, но и создают основу оптимизации процесса обучения иностранному языку сопутствующими приложениями прикладной значимости.

В языкознании методами решения практических задач, связанными с оптимизацией изучения языка на базе компьютерных технологий, занимается **прикладная лингвистика** [3, с. 261].

Сосредоточив внимание на определенной области применения лингвистического знания, прикладная лингвистика классифицирует оптимизацию функций языка как конкретную задачу и прибегает к чисто инженерному (техническому) подходу, моделируя функционирование языка в тех или других условиях, ситуациях и проблемных сферах с помощью компьютера.

Одним из основных направлений прикладной лингвистики, изучающим компьютерные приложения, является **компьютерная лингводидактика**, в поле деятельности которой находится методика использования компьютеров в преподавании иностранных языков, реализующаяся в виде некоторых компьютерных методов обучения [4, с. 7–8; 5, с. 8].

**Методы автоматизированного обучения** реализуются за счет управляющего воздействия компьютерной среды на обучаемого, определяют степень его активности со знанием и способ представления знания на экране компьютера, мобильного телефона и/или планшета.

Таким образом, **методика использования компьютеров** в оптимизации процесса преподавания языка – это система знаний или совокупность методов по автоматизированному управлению учебно-познавательной деятельностью обучаемого в целях достижения максимально возможного обучающего эффекта путем минимизации затрат.

Система автоматизированного управления обучением представляет собой специально разработанные электронные образовательные среды комплексного назначения. Основным фактором в структуре жизнедеятельно-

сти системы автоматизированного управления обучением являются **лингвистические информационные ресурсы** (ЛИР).

Лингвистические информационные ресурсы – это языковые и речевые данные [6, с. 158], активно использующиеся в различных сферах практической деятельности человека, например, лингвистами и различными компьютерными системами, связанными с обработкой текста речи.

Отечественные исследователи придерживаются некоторого различия между лингвистическими данными и средствами обработки лингвистического материала и на базе лингвистических ресурсов выделяют особую категорию **лингвоакустических ресурсов** [7, с. 64].

Существенным отличием лингвоакустических ресурсов от лингвистических является наличие акустического компонента, компьютерной формы представления и прикладного использования.

Лингвоакустические ресурсы могут быть представлены корпусами устной (звучащей) речи в виде аудиозаписи, транскрипции и стандартной орфографии. В электронной образовательной среде представление лингвоакустических ресурсов возможно в виде аудио- или видеоматериалов и автоматически озвученного диктором письменного текста. Так называемый «звучащий», или акустический, компонент обеспечивает необходимую основу для овладения иностранным языком, так как позволяет работать с устным текстом на фонетическом уровне, включая уровень просодии.

Прикладная направленность лингвоакустических ресурсов в системе управления обучением реализуется в момент интерактивного взаимодействия пользователя с образовательной средой, посредством которой происходит качественное изменение знаний пользователя о языке, так как интерактивная образовательная среда требует непосредственной ответной реакции на информацию, находящуюся в контексте предыдущих событий. Эффективность работы в диалоговом режиме достигается за счет последовательности предъявления обучающих кадров по заранее предусмотренному обучающему сценарию.

Программируемое управление активностью обучаемого реализуется в модульной объектно-ориентированной среде *LMS Moodle*, которую мы обеспечиваем единственно уместным в данной информационной системе лингвистическим материалом, то есть лингвоакустическими ресурсами.

Мы придерживаемся мнения, что **компьютеризированное обучение** – это прежде всего лингвистическое (лингвоакустическое) обеспечение электронной среды, основывающееся на определенной методике, воздействующей на образовательный процесс в целях оптимизации. Однако оптимизация достигается не отдельной удачной методикой, а синтезом раз-

личных форм и методов в определенном сочетании, максимально подходящим для каждой конкретной ситуации.

Таким синтезом становится методика обучения лингвоакустическим ресурсам, систематизированным в динамической объектно-ориентированной среде *LMS Moodle* в учебный разговорник. Согласно определению, **разговорник** включает набор моделей предложений с лексическим наполнением и речевые образцы (часто с переводом на родной язык учащихся), типичные для разных тем и ситуаций общения, упражнения на их активизацию, а также тексты, иллюстрирующие употребление речевого материала [8, с. 241].

Обучение с помощью учебного разговорника в динамической объектно-ориентированной среде *LMS Moodle* основывается также на идеях аудиовизуального метода обучения. **Аудиовизуальный метод обучения** (АВМО) – это метод обучения языку в сжатые сроки на ограниченном лексико-грамматическом материале, характерном для разговорного стиля речи, при интенсивном использовании средств зрительной и слуховой наглядности. Полное название метода, хорошо передающее его особенности, – «аудиовизуальный структурно-глобальный» – означает, что новый материал предназначен для восприятия преимущественно на слух, а его значение раскрывается с помощью средств зрительной наглядности. Обучение же языку происходит путем усвоения глобально (целостно) воспринимаемых структур (моделей предложения, речевых образцов) [9].

Интеграция учебного разговорника в образовательный процесс построена на основе взаимного дополнения традиционного обучения информационными технологиями и предполагает замещение традиционных учебных материалов различными видами учебного взаимодействия в электронной среде. Степень насыщенности практических занятий онлайн технологиями по доставке контента и характеру взаимодействия участников позволяют классифицировать такую модель учебной деятельности как традиционное обучение с веб-поддержкой при максимальном взаимодействии через *LMS* во время изучения учебного материала. Такой комбинации обучения лицом к лицу с обучением, управляемым компьютером, могут соответствовать предложенные С. Твигом *Supplemental Model* и *Emporium Model* [10].

Таким образом, оптимизация процесса обучения иностранному языку с помощью компьютерных технологий, совершенствование и развитие новых средств информационных технологий становится определяющим фактором развития средств обучения в образовательной системе, которая в своем стремлении соответствовать тенденциям современного общества с акцентом на самостоятельное обучение в реалиях современной модели высшего образования приходит к новым формам взаимоотношений между

преподавателем и обучаемым, местом встречи которых становится учебная аудитория в системе автоматизированного управления обучением.

### Литература

1. Пассов, Е. И. Сорок лет спустя, или Сто и одна методическая идея: учеб.-метод. пособие / Е. И. Пассов. – М.: Глосса-Пресс, 2006. – 236 с.

2. Ляховицкий, М. В. О некоторых базисных категориях методики обучения иностранным языкам / М. В. Ляховицкий // Общая методика обучения иностранным языкам: хрестоматия; сост. А. А. Леонтьев. – М.: Русский язык, 1991. – С. 28–37.

3. Кибрик, А. Е. Прикладная лингвистика / А. Е. Кибрик // Очерки по общим и прикладным вопросам общего языкознания. М.: УРСС, 2001. – С. 261–262.

4. Бовтенко, М. А. Компьютерная лингводидактика: учеб. пособие / М. А. Бовтенко. – М.: Наука, 2005. – 215 с.

5. Зубов, А. В. Методика применения информационных технологий в обучении иностранным языкам: учеб. пособие / А. В. Зубов, И. И. Зубова. – М.: Академия, 2009. – 142 с.

6. Зубов, А. В. Информационные технологии в лингвистике: учеб. пособие / А. В. Зубов, И. И. Зубова. – М.: Академия, 2004. – 205 с.

7. Щукин, А. Н. Современные интенсивные методы и технологии обучения иностранным языкам: учеб. пособие / А. Н. Щукин. – М.: Филоматис, 2008. – 188 с.

8. Дубровская, Е. В. Лингвоакустические ресурсы: понятие, сущность, классификация, назначение / Е. В. Дубровская, Е. П. Курчева, М. Г. Ленгинич // Лингвистика, лингводидактика, лингвокультурология: актуальные вопросы и перспективы развития: материалы I Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Минск, 23–24 февр. 2017 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2017. – С. 62–68.

9. Азимов, Э. Г. Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам) / Э. Г. Азимов, А. Н. Щукин. – М.: ИКАР, 2009. – 448 с.

10. Что такое Blended Learning (смешанное обучение)? [Электронный ресурс] // Центр координации образовательных проектов КФУ. – Режим доступа: [https://kpfu.ru/portal/docs/F1827481577/Chto.takoe.BlendedLearning\\_smeshannoe.obuchenie\\_.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F1827481577/Chto.takoe.BlendedLearning_smeshannoe.obuchenie_.pdf). (дата обращения – 13.04.2022).

**Формирование экологической компетенции у студентов специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» на занятиях английского языка в БНТУ**

Фомичева Т. П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются возможности формирования экологической компетенции на занятиях английского языка со студентами специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». С помощью примера из преподавательской практики автор показывает насколько презентация является действенным инструментом для достижения поставленной цели.*

Принятая международным сообществом концепция устойчивого развития направлена на обеспечение экологически безопасного существования, социального и экономического благополучия сегодняшних и будущих поколений. Экологическое образование – важнейшая составляющая образования в интересах устойчивого развития. Специалист, владеющий информацией о новейших мировых достижениях в области профессиональной деятельности, умеющий общаться со своими зарубежными коллегами, экологически компетентный и культурный, способен участвовать в решении как локальных, так и глобальных проблем устойчивого развития человечества [1].

При подготовке инженера-специалиста в сфере водных ресурсов особое внимание уделяется привитию студентам экологических знаний, навыков и умений, направленных на формирование экологического сознания, мышления, мировоззрения, необходимых для общей ориентации в экологической обстановке, для устранения или ограничения экологических рисков. В рамках приоритетного в образовании компетентного подхода такая совокупность знаний, навыков и умений известна как экологическая компетенция [2].

Наряду с профилирующими предметами иностранный язык как вузовская дисциплина обладает большим образовательным, развивающим и воспитательным потенциалом в формировании у студентов экологической компетенции.

Для ее формирования на занятиях по английскому языку студентов технических специальностей факультета энергетического строительства применяются различные интерактивные формы обучения, одной из кото-

рых является презентация. Презентация представляет собой прекрасную платформу для развития навыков публичного выступления и умений речевой межкультурной коммуникации, что позволяет студентам создать продукт индивидуального творчества. На предварительном этапе при подготовке студентам предлагают разделить презентацию на четыре основные части: *introduction, main part, conclusion, questions and answers*. Каждая часть презентации имеет свои особенности и правила представления информации [3].

Например, завершая изучение темы «Worldwide Water Crisis. Sustainable Development» студентам специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» было предложено подготовить презентации, посвященные Всемирному дню водных ресурсов или Всемирному дню воды, который отмечается ежегодно во всем мире. Тема 22 марта 2022 года – «Подземные воды: сделать невидимое видимым». Этот девиз – напоминание о самом ценном ресурсе, который является важнейшим источником пресной воды.

На практическом занятии, приуроченном Всемирному дню воды, студенты представили свои презентации на эту актуальную тему: «*Groundwater: What is Groundwater*», «*Groundwater Contamination*», «*Groundwater resources of the Republic of Belarus: Problems and Solutions*» «*Groundwater for Sustainable Development*». В ходе обсуждений поднимались актуальные проблемы, связанные с вопросами экологии грунтовых вод, методами сохранения этого ресурса в мире, способами привлечения внимания общественности к состоянию водных объектов, проблемам безопасного для здоровья людей водоснабжения и рационального водопотребления. Особое внимание было уделено обсуждению использования и качества подземных вод в Беларуси как в настоящее время, так и в перспективе.

Таким образом, использование презентаций на занятиях по английскому языку показывает, что эта форма интерактивного обучения способствует формированию экологической компетенции студентов, ориентирует на развитие экологической культуры современного специалиста, ее гуманистической направленности, подготавливает к решению экологических задач.

### Литература

1. Добрынина, О. Л. Становление иноязычной эколого-коммуникативной компетентности студентов в контексте образования для устойчивого развития / О. Л. Добрынина // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Общественные и гуманитарные науки. 2008. – № 3(95). – С. 69–73.

2. Даниленкова, В. А. Формирование экологической компетенции у студентов технического вуза: автореф. ... канд. пед. наук : 13.00.08 : защищена 28.06.2005 / Даниленкова Валентина Анатольевна; Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота. – Калининград, 2005. – 28 с.

3. Крауле, Т. П. К вопросу об обучении студентов формату устной презентации / Т. П. Крауле // Лингвистическая теория и образовательная практика: сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2013. – С.92–97.

УДК 81'255.2:6

### **Перевод патентов как вид межкультурной коммуникации**

Пузенко И. Н.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

*Процесс перевода патентов – это сложное многогранное лингвистическое и экстралингвистическое явление переводческой деятельности, направленное на достижение потенциальной переводческой эквивалентности двух разноязычных текстов; сложный, комплексный аналитико-синтетический вид иноязычной речевой деятельности, в котором воспроизводится функциональная доминанта исходного текста.*

При работе с проектной и эксплуатационной технической документацией особое место занимает патент. В области технического перевода под патентом понимают описание самого изобретения. Характеризуя патент как жанр научной речи, следует заметить, что любой патент имеет конкретную иерархическую организацию и структуру, которая включает определенные пункты. Она включает заголовок и название изобретения, реферат; область изобретения, обзор известного уровня техники, критику прототипа, являющихся *предпосылкой к созданию изобретения*; а также цель изобретения, техническую задачу и технические средства, служащие базой для *краткого изложения сути изобретения или резюме изобретения*. Помимо этого, к составным элементам патента относятся чертеж и краткое описание его видов, описание изобретения, формула изобретения, технико-экономические результаты применения изобретения, ссылочная часть, вкладыш с сообщением об отказе от пункта формулы и перечень отпечаток. Некоторые из названных пунктов могут опускаться или объединяются в один из них, но в целом, однако, многие изобретатели стараются придерживаться указанных выше составляющих элементов патента.

Перевод патентов рассматривается в данной работе как сложный, комплексный, аналитико-синтетический вид речевой деятельности наряду с другими видами иноязычной речевой деятельности такими, как чтение, письмо, аудирование и говорение. Процесс перевода таких документов отражает специализированную интеллектуальную профессионально ориентированную речевую деятельность, которая носит характер общественного научно-технического труда. Перевод в данном виде деятельности играет посредническую роль в научно-технической коммуникации разноязычных говорящих, строго детерминируется экстралингвистическими факторами и сочетает в своей структуре средства двух языков. Выступая средством межкультурной коммуникации, предполагается, что специалист, переводящий патент с одного языка на другой, владеет двумя языками, культурой двух народов, знает образ мышления носителей языка, их менталитет, которые отражают особенности восприятия мира, культурные традиции этноса и его национальный характер [1, 2].

Выполняя определенные социальные функции, текст перевода патента нацелен на воспроизведение функциональной доминанты исходного текста в соответствии с коммуникативно-прагматической интенцией создателя этого текста и соблюдении норм переводного языка. Наиболее объективным критерием перевода патента является переводческая эквивалентность перевода оригиналу.

Традиционный перевод патента выполняется переводчиком или специалистом определенной отрасли знаний со знанием иностранного языка, который не является автором оригинального текста. При переводе патента из одного языка на другой следует обращать внимание на наличие в нем большого количества сложных терминов, штампов, клише и устойчивых выражений, синонимов к одному и тому же термину; многозначность слов, значение которых рекомендуется выводить из контекста; особые слова, не имеющие общепринятых значений, и встречающиеся архаизмы (*thereacross, thereby, therein, whereon, whereupon* и др.). В процессе перевода патента важно правильно и адекватно передавать названия разделов патента, абзацы текста оригинала должны полностью соответствовать абзацам переводного текста; необходимо избегать тавтологии при переводе синонимов (когда два и более синонимов следуют друг за другом), сохранять в тексте перевода последовательность цифровых обозначений деталей в описании, все формулы передавать согласно инструкциям по составлению формул.

Наряду с традиционным полным переводом патентов самыми широко распространенными письменными формами быстрого извлечения информации и ее смысловой обработки становятся аннотирование и реферирование патентов как новые виды технического перевода. Аннотационный

перевод патентов преимущественно используется при составлении разных картотек, каталогов, предназначенных для систематизации и поиска нужных патентов. Поэтому в аннотационном тексте передается предельно краткая суть изобретения и то новое, что отличает данное изобретение от ему подобных, что позволяет судить о целесообразности его более детального изучения сейчас или в дальнейшем. При этом аннотация не раскрывает содержание патента, в ней не приводятся конкретные данные, описание изобретения, характеристики и методики, она дает самое общее представление о патенте. Ее цель – дать правильное представление об изобретении. Поэтому аннотация очень близко стоит к индикативному реферату.

Реферативный перевод, как и перевод типа «экспресс-информация», составляется по документу-первоисточнику путем сокращения содержания патента и представляет собой такой вид иноязычной речевой деятельности, при которой имеют место операции по свертыванию, т. е. компрессии текста. Процесс обобщения материала при реферировании аналогичен процессу лексической трансформации при переводе. Самый распространенный из приемов обобщения при реферировании – это замена частного понятия общим, видового – родовым, т. е. он аналогичен приему генерализации в процессе перевода. Необходимым условием реферирования является предварительное понимание патента в целом. Только в этом случае можно выделить в патенте главную, существенную информацию и опустить второстепенную, менее важную. Реферат патента рассматривается как новый вторичный текст, который дает возможность читателю познакомиться с сутью излагаемого в патенте содержания текста, создание которого детерминируется результатом осмысления и понимания содержания патента в целом. Он содержит назначение, цель, тематику, методы исследования и полученные результаты. В реферате могут приводиться конкретные данные, может иметь место описание оборудования, характеристики изобретения, методики расчета [3].

Перевод заголовков патентов технического направления представляет собой вид технического перевода, используемый для составления систематических каталогов патентов и информации о новых изобретениях. Выражая суть изобретения в форме назывного предложения, он, по мере возможности, отражает именно то новое, что отличает данное изобретение от уже имеющихся, например: «способ защиты информационно-вычислительной сети от вторжений» – *the method for protecting the information-computing network from intrusions*; «устройство адаптивного преобразования данных в режиме реального времени» – *a real-time adaptive data conversion device*; «способ улучшения изучения и генерации инноваций, направленных на организацию или развитие инновационного предприятия» – *the process to improve the study and generation of innovations aimed at*

*organizing or developing an innovative enterprise; «распознавание текста с использованием искусственного интеллекта» – the text recognition using artificial intelligence.*

Обобщая изложенное, подчеркнем, что технический перевод используется для целей обмена научно-технической информацией. Содержанием обмена является то новое, что появляется в соответствующих областях научных знаний. Многие новинки в области техники оформляются в виде патентов. Поэтому на практических занятиях по иностранному языку на 2-й ступени обучения и в системе постдипломного образования рекомендуется чаще использовать патентные материалы для работы с обучающимися с варьируемой целью.

### **Литература**

1. Пузенко, И. Н. Стратегии перевода и лингвокультурная адаптация / И. Н. Пузенко // Вестник МГЛУ. Сер. 1, Филология. – 2017. – № 5. – С. 29–33.

2. Пузенко, И. Н. Некоторые особенности перевода терминов и специальной лексики в научно-технических текстах / И. Н. Пузенко // Актуальные проблемы романо-германской филологии и методики преподавания иностранных языков: материалы IX междунар. науч.-практ. конф., 25 окт. 2019 г. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2019. – С. 185–189.

3. Пузенко, И. Н. Реферирование и аннотирование как эффективный прием извлечения научно-технической информации / И. Н. Пузенко // Актуальные проблемы романо-германской филологии и методики преподавания иностранных языков : материалы IV междунар. конф., 24 окт. 2014 г. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2014. – С. 61–65.

УДК 811.112.2

### **Тексты для самостоятельного изучения иностранных языков**

Зыблева Д. В.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

*Тексты представляют собой лингвистические структуры, включающие все, что, в целом, соотносится с языком. Разноплановые оригинальные тексты предлагают широкий спектр возможностей для расширения, обновления и применения языковых навыков при самостоятельном изучении иностранных языков.*

Овладение речевыми средствами иностранного языка для реализации коммуникативных потребностей основывается на комплексном изучении его систем: фонетической, лексической, грамматической и синтаксической, что требует активной умственной деятельности. При сравнении с родным языком выявляются различия в произнесении звуков, мотивированности значений слов, синтаксической структуре предложения. Обладая твердо установившимися слухо-произносительными навыками, алгоритмом построения предложений и употребления грамматических форм родного языка, автодидакт должен постоянно преодолевать устойчивую интерференцию при формировании соответствующих умений и навыков на иностранном языке, даже при незначительном запасе знаний.

Опыт усвоения родного языка свидетельствует о том, что первичной является устная речь, овладев которой, можно переходить к письменной. Также и восприятие речи на слух служит предпосылкой для развития навыков говорения. Очевидно, что через аудирование и говорение чужой язык будет усваиваться легче, быстрее и лучше, чем через чтение и письмо.

Письменная речь на иностранном языке представляет собой трудоемкий и медленный процесс, требующий специальных знаний, в том числе, правописания. Оригинальные тексты в книгах, газетах и журналах не воспроизводят устную речь идеально, но их чтение дает возможность расширить, обновить и применить уже имеющиеся знания. Для самостоятельной работы не рекомендуется подбирать слишком сложные материалы для чтения, а следует начинать с упрощенных, с точки зрения лексики и грамматики. Подобные отредактированные аутентичные тексты обычно снабжены пояснениями, сносками, вопросами для понимания, словарями и часто сортируются по степени сложности. В настоящее время в интернете можно подобрать материал для чтения в соответствии с интересами, потребностями и имеющимися знаниями, например, комиксы с короткими и четкими предложениями или детские книги, написанные простым разговорным языком. Особое внимание следует обратить на специальные издания по изучению иностранных языков. В них рассказывается о стране и людях, тексты адаптированы для самостоятельной работы и снабжены вспомогательными средствами.

Многие художественные, научно-популярные и специализированные издания доступны в переводе, что позволяет облегчить чтение, особенно если оригинал и перевод печатаются параллельно. Здесь открывается возможность контролировать понимание отдельных слов и словосочетаний в структуре предложения и значений фразеологических единств, усовершенствовать свои знания путем сравнения предложений на иностранном и русском языках. Вначале целесообразно полностью прочитать текст пере-

вода на русском языке, лишь затем приступить к чтению текста оригинала. На более продвинутом этапе рекомендуется переводить предложения с русского языка на иностранный, сравнивая полученный результат с оригиналом.

Существует ряд самоучителей и учебных пособий по переводу, в том числе с немецкого языка на русский, с упражнениями на сопоставление текстов для выявления ошибок содержательного плана и погрешностей в языковом оформлении перевода [1].

Чтение иностранных газет и журналов также позволяет расширить коммуникативные навыки, поскольку здесь речь идет о событиях, прямо или косвенно связанных с жизнью и доступных для понимания. Однако газетно-журнальные статьи обладают четко выраженной лексико-грамматической спецификой, а именно: стилистической разноплановостью лексики (книжная лексика, разговорные и поэтические слова и словосочетания), обилием сокращений, политической терминологией, широким использованием клише. С точки зрения синтаксической организации текстов отмечается наличие кратких самостоятельных сообщений, состоящих из длинных предложений со сложной структурой, что вызывает затруднения на начальном этапе самообучения.

Материалы из специализированных книг и журналов обычно не создают непреодолимых проблем, поскольку их конкретная терминологическая лексика большей частью известна профессионалу, и он может совершенствовать и расширять свои языковые навыки без особых усилий. Синтаксическая структура характеризуется преобладанием двусоставных предложений со сложным сказуемым, атрибутивных групп и именных структур. В технических текстах имеется не только много названий реальных предметов, но и номинализируются описания реальных процессов и действий.

Хорошие отзывы у самостоятельно изучающих немецкий язык получил телевизионный курс «Alles Gute!» и сопроводительное пособие к нему, тексты которого параллельны телевизионным эпизодам, содержат современный разговорный язык, имеют глоссарий и ключи, переводы диалогов, грамматический справочник. В конце каждого эпизода предлагается страноведческий познавательный сюжет о Германии, основной смысл которого можно понять без словаря [2].

В структуру радиокурса «Deutsch – warum nicht?» и сопроводительного учебника к нему включены первичное прослушивание текста, пояснения его содержания, объяснение грамматики и повторное прослушивание. В конце учебника дается перевод репортажей, диалогов, интервью, стихов, обзор грамматики, ключи к упражнениям, алфавитный список слов. Лек-

сико-грамматический материал распределен в четырех частях радиокурса в соответствии с увеличением степени сложности [3].

Преимуществом рассмотренных выше текстов теле- и аудиокурсов состоит в том, что благодаря возможности читать и слушать можно контролировать и совершенствовать свое произношение, а также учиться воспроизводить предложения на иностранном языке, особенно реплики диалогов. Чтение вслух любых текстов способствует развитию собственных навыков говорения, а также восприятию и пониманию чужой речи.

Таким образом, для самостоятельного изучения языка подходят любые тексты для чтения. Важно помнить, что текст представляет собой не набор отдельных слов, а единое смысловое целое. Максимальную помощь пониманию прочитанного могут оказать подзаголовки, заголовки, введения, предисловия, рисунки или аннотации. Правильная подготовка к чтению и его проведение включают в себя следующие аспекты: подбор типа и содержания текста в соответствии с целью обучения; насыщенность материала незнакомыми словами; наличие вспомогательных средств для понимания; прогнозируемые трудности и пути их преодоления; оценка степени усвоения самостоятельно изученного материала.

### Литература

1. Латышев, Л. К. Технологии перевода: учеб. пособие по подготовке переводчиков (с немецкого языка) / Л. К. Латышев. – М.: НВИ-ТЕЗАУРУС, 2000 – 280 с.

2. Бальтцер, Р. А. Всего наилучшего! Телевизионный курс немецкого языка: сопроводительное пособие / Ральф А. Бальтцер, Дитер Штраус. – М.: Март, 1997 – 171 с.

3. Меезе, Х. Deutsch – warum nicht? = По немецки? – Ну конечно: сопроводительный учебник к радиокурсу немецкого языка: в 4 ч. Ч. 4 / Херрард Меезе. – Бонн: Коллен Друк Ферлаг Гмбх, 1993. – 171 с.

УДК 811.161.3'374'373.46

### Вучэбная лексікаграфія як адметны лінгваметадычны прыём

Буракова М. У.

Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. В. Сухого  
Гомель, Рэспубліка Беларусь

*У артыкуле прыводзіцца распрацоўка метадыкі ўкладання вучэбнага руска-беларускага слоўніка электратэхнічных тэрмінаў для выпрацоўкі практычных навыкаў на занятках па дысцыпліне «Беларуская мова (прафесійная лексіка)» для студэнтаў тэхнічных спецыяльнасцей вчу.*

*Указваюцца асноўныя прынцыпы адбору тэрміналагічнай лексікі пры складанні слоўніка.*

Сучасны этап жыцця сусветнага грамадства характарызуецца актыўным міжкультурным узаемадзеяннем, абменам прафесійнай інфармацыяй, у працэсе якога істотную ролю адыгрывае выкарыстанне тэрміналогіі. Тэрмін уяўляе сабой неад’емны кампанент навуковай сферы, выступае сродкам кадавання прафесійнай інфармацыі і функцыянуе ў якасці сэнсавай апоры ў разуменні прафесійнага дыскурсу. У шматлікіх лінгваметадычных даследаваннях у якасці аднаго з найважнейшых сродкаў асваення тэрміналогіі і авалодання мовай спецыяльнасці разглядаецца тэрміналагічны слоўнік.

Мэта артыкула – прадставіць распрацоўку метадыкі ўкладання вучэбнага руска-беларускага слоўніка электратэхнічных тэрмінаў, крыніцай якіх абрана навуковая, навукова-вучэбная і даведчаная рускамоўная літаратура, з перакладам на беларускую мову для выкарыстання на занятках па дысцыпліне «Беларуская мова (прафесійная лексіка)» для студэнтаў тэхнічных спецыяльнасцей вву.

Традыцыйна пад лексікаграфіяй разумеецца навука аб укладанні слоўнікаў, слоўнікавым апісанні лексікі пэўнай мовы. Так, У. Г. Гак адрознівае чатыры апрамкі ў развіцці лексікаграфіі:

- 1) апісальны (фіксацыя лексікі мовы);
- 2) філалагічны (стварэнне этымалагічных, гістарычных, параўнальных слоўнікаў роднасных моў);
- 3) вучэбна-практычны (навучальныя і двухмоўныя перакладныя слоўнікі, размоўнікі для зносін) [1, с. 19].

Для нашага даследавання актуальны чацверты напрамак у развіцці лексікаграфіі – вучэбна-практычная лексікаграфія.

Метадыка складання вучэбнага двухмоўнага слоўніка электратэхнічных тэрмінаў заснавана на тэзаўрусным, міжкультурным і сістэмным падыходах, якія вызначаюць яго ключавыя пазіцыі: арыентацыя на карыстальніка слоўнікам і ўлік яго патрэб; арыентацыя на стварэнне ўмоў для фарміравання прафесійнай моўнай свядомасці навучэнцаў; забеспячэнне дадатковай ступені інфарматыўнасці слоўнікавага артыкула; арыентацыя на сістэмнае (тэзаўруснае) прадстаўленне тэрміналогіі; арыентацыя на ўлік канцэптуальных разыходжанняў у тэрміналогіі дзвюх навук. На макраўзроўні гэта забяспечваецца тэматычным размяшчэннем уваходных тэрмінаў; на мікраўзроўні – мікразонамі семантызацыі тэрміна, абумоўленымі спецыфікай электратэхнічнай тэрміналогіі.

Першае працоўнае азначэнне тэрміна ‘вучэбная лексікаграфія’ было дадзена Л. А. Новікавым у артыкуле «Вучэбная лексікаграфія і яе задачы»,

у якім аўтар вызначыў кола задач вучэбнай лексікаграфіі, ахарактарызаваў яе праблематыку і вызначыў тыпалогію вучэбных слоўнікаў. Пры вызначэнні паняцця Л. А. Новікаў адзначае, што «вучэбную лексікаграфію ў параўнанні з акадэмічнай можна вызначыць як лексікаграфію меншых формаў і большай вучэбнай накіраванасці» [2, с. 46].

Побач з паняццем «вучэбная лексікаграфія» ўдакладнялася і змянялася паняцце «вучэбны слоўнік». Першыя вучэбныя слоўнікі адрозніваліся ад звычайных слоўнікаў толькі мэтазгоднай з метадычнага пункту гледжання мінімізацыяй уключаных у слоўнік лексічных адзінак, што знайшло адлюстраванне ў прыведзеным вышэй азначэнні вучэбнай лексікаграфіі Л. А. Новікава.

Больш разгорнутае азначэнне паняцця «вучэбны слоўнік», якое ўлічвае ўзаемасувязь лінгвістычных і метадычных фактараў пры стварэнні слоўніка, даецца П. Н. Дзянісамым, пад якім (вучэбным слоўнікам) разумеецца «кніга, якая змяшчае ўпарадкаваны паводле таго ці іншага прынцыпу пералік слоў, адказвае метадычным патрабаванням, афармляецца, як правіла, у выглядзе аднаго невялікага па фармаце тома і забяспечвае хуткасць і легкасць атрымання даведак» [3, с. 216–217]. У дадзеным азначэнні вылучаецца тая ж адметная прыкмета вучэбнага слоўніка – невялікі аб’ём слоўніка, як і ў азначэнні Л. А. Новікава.

Так, ключавымі метадычнымі характарыстыкамі, якія вызначаюць уваходжанне тэрміна ў прафесійна арыентаваны слоўнік для студэнтаў, становяцца яго важнасць, каштоўнасць і неабходнасць.

Асноўнымі прынцыпамі адбору тэрміналагічнай лексікі і яе прадстаўленне ў вучэбным руска-беларускім слоўніку электратэхнічных тэрмінаў з’яўляюцца наступныя:

- прынцып спалучальнасці;
- прынцып словаўтваральнай каштоўнасці;
- прынцып важнасці;
- тэматычны прынцып;
- прынцып уліку парадыгматычных адносін;
- прынцып частотнасці.

Значэнне прынцыпу спалучальнасці пры адборы прафесійнай лексікі (агульнанавуковай і тэрміналагічнай) не такая значная ў адносінах да абмежаванасці/неабмежаванасці спалучальнасці тэрміна з іншымі словамі мовы. Вылучаецца найбольш значная здольнасць слова ўтвараць састаўныя тэрміналагічныя адзінкі, якія ў адзінстве патрабуюць спецыяльнай семантызацыі. Так, пры разглядзе спалучальнасці тэрміналагічнай адзінкі *ланцугі* выяўляецца цэлы шэраг састаўных тэрмінаў, ключавых для прадметнай галіны электратэхнікі: *электрычныя*

ланцугі, магнітныя ланцугі, лінейныя ланцугі, трохфазныя ланцугі і інш. Акрамя гэтага, прынцып спалучальнасці дазваляе ўлічваць камунікатыўную каштоўнасць слова.

Аналагічна пры адборы прафесійнай лексікі дзейнічае прынцып словаўтваральнай каштоўнасці, паколькі ўлічваецца не толькі колькасць вытворных, якое мае тэрміналагічнае слова, але і яго здольнасць утвараць састаўныя тэрміны: *сістэма – сістэмны (кантролер) – сістэматычныя (хібнасці) – сістэматызацыя (наказчыкаў)* і інш.

Прынцып важнасці паняцця тэрміна ў сістэме навукі суадносіцца з прынцыпамі практычнай неабходнасці і семантычнай каштоўнасці, на аснове якіх адбіраецца тэрміналагічная лексіка. Важнасць тэрміна вызначаецца метадам экспертнай ацэнкі на падставе меркаванняў спецыялістаў у галіне электратэхнікі. Напрыклад, для электратэхнікі вялікае значэнне маюць такія тэрміналагічныя адзінкі, як *электрычны ток, электрычная напруга, электрычная сіла, электрычнае супраціўленне, правадніковыя матэрыялы (дыэлектрыкі), закон электрамагнітнай індукцыі* і інш.

Тэматычны прынцып пры адборы прафесійнай лексікі цесна звязаны з улікам стандартаў і праграм па спецыяльнасці, якія вызначаюць тэмы, што разглядаюцца ў працэсе навучання. Валоданне тэматычна значымі тэрміналагічнымі адзінкамі неабходна для працы з тэкстамі і камунікатыўных зносін у рамках вызначанай прафесійнай тэматыкі. Напрыклад, пры вывучэнні тэмы «Электразабеспячэнне» для студэнтаў энергетычных спецыяльнасцей актуальнымі будуць такія тэрміны, як *трансфарматар, асінхронныя рухавікі, сінхронныя рухавікі, электрабяспека, крыніцы другой нага электрасілкавання, электронныя ўзмацняльнікі* і інш.

Прынцып уліку парадымматычных адносін паміж лексічнымі адзінкамі вызначае, ці ўключаць у вучэбны тэрміналагічны слоўнік у якасці асобных загаловаў адзінак або як кампанентаў слоўнікавага артыкула варыянты, антонімы, гіпонімы і гіперонімы. Калі ў слоўнік уваходзіць тэрмін *сінхронныя машыны*, тады павінны быць уведзены абавязкова і наступныя тэрміны: *сінхронныя генератары, якар, рухавік, электрарухавік, пуск, рабочы рэжым, ток узбуджэння*.

Прынцып частотнасці адыгрывае значную ролю пры ўкладанні вучэбнага руска-беларускага слоўніка электратэхнічных тэрмінаў і заслугу ўвае больш дэталёвага разгляду. У працэсе апрацоўкі корпуса электратэхнічных тэкстаў быў выяўлены спіс найбольш частотных тэрмінаў, якія паралельна атрымалі статус важных, а таксама ўзгадніліся з экспертамі. Акрамя таго, на падставе прынцыпу частотнасці былі выяўлены найбольш ужывальныя нетэрміналагічныя адзінкі – дзеясловы, з

дапамогай якіх адбываюцца з’явы, працэсы і вынікі ў электратэхніцы: *выдзяляць, вымяраць, вытрымліваць, выключачь, выплаўляць, запусціць, змяняцца, скажаць, разыходзіцца, рэалізаваць, кантраляваць* і інш. Гэтыя нетэрміналагічныя адзінкі разглядаюцца як актуальныя і спецыфічныя для мовы электратэхнікі, у сувязі з чым яны таксама знаходзяць свае месца ў матэрыялах вучэбнага тэрміналагічнага слоўніка.

Відавочна, што працэс укладання прафесійна арыентаваных слоўнікаў становіцца найбольш эфектыўным, калі есць наяўнасць карпусоў тэкстаў па розных тэмах. Пры ўкладанні і апрацоўцы корпуса электратэхнічных тэкстаў эмпірычным метадам былі ўдакладнены параметры, якія дазваляюць забяспечыць паспяховасць распрацоўкі аналагічных карпусоў з мэтай адбору спецыяльнай лексікі:

– электратэхнічны корпус павінен прадстаўляць не менш за 1 млн словаўжыванняў;

– уключаць цэласныя тэксты, якія характарызуюцца высокай ступенню навуковасці, дакладнасці; мець высокі статус у навуковым асяроддзі;

– тэксты, якія ўваходзяць у корпус, павінны прадстаўляць увесь спектр актуальных жанраў (манаграфіі, дысертацыі, навуковыя артыкулы, падручнікі, слоўнікі і энцыклапедыі);

– перад змяшчэннем тэксту ў корпус з яго павінны быць выдалены «лішнія» элементы, якія аказваюць негатыўны ўплыў на вынікі апрацоўкі (скарачэнні, спасылкі, загаловкі, спісы літаратуры, структурныя словы (займеннікі, лічэбнікі), даты, прозвішчы і інш).

Апрацоўка электратэхнічнага корпуса тэкстаў дала магчымасць атрымаць даныя пра бліжэйшыя сінтагматычныя сувязі адабраных слоў (прыметнік + назоўнік, дзеяслоў + назоўнік, назоўнік + назоўнік), што ў далейшым было ўлічана пры стварэнні слоўнікавых артыкулаў і метадычных матэрыялаў вучэбнай тэрміналагічнай базы даных. Так, у прыватнасці, атрыманая даныя былі выкарыстаны пры выяўленні сатаўных тэрмінаў, колькасць якіх асабліва вялікая ў тэкстах па электратэхніцы. Найбольш частотнымі ў электратэхнічных тэкстах з’яўляюцца тэрміналагічныя адзінкі – назоўнікі, і менавіта яны склалі аснову слоўніка. Найбольш частотныя прыметнікі ў большасці выпадкаў былі прадстаўлены ў якасці складу двухкампанентных тэрмінаў, напрыклад: *аб’емная шчыльнасць, магнітнае поле, віхравыя токі, электрамагнітная энергія, магнітная індукцыя, пасіўныя элементы, рэактыўны элемент, індуктыўны элемент, лінейны элемент, актыўныя элементы, унутранае супраціўленне, электрычная схема, замкнуты шлях, эквівалентнае пераўтварэнне, паралельнае ўключэнне, складаныя ланцугі,*

*халасты ход, контурныя токi, патэнцыяльная дыяграма, перыядычны ток і інш.*

Такім чынам, для эфектыўнага і выніковага вывучэння пытанняў тэрміналогіі на занятках па дысцыпліне «Беларуская мова (прафесійная лексіка)», па-першае, выкарыстоўваюцца матэрыялы «Руска-беларускага слоўніка электратэхнічных тэрмінаў» для студэнтаў тэхнічных спецыяльнасцей, па-другое, вызначаюцца крытэрыі, прынцыпы, падыходы да складання такога слоўніка студэнтамі пад час заняткаў і пад кіраўніцтвам выкладчыка з удзелам спецыялістаў тэхнічных спецыяльнасцей як экспертаў. Такая арганізацыя вучэбнай работы адпавядае сучаснаму палажэнню аб тым, што выпрацоўка прафесійнай (прадметнай) моўнай кампетэнцыі ва ўмовах вучбы будзе адбываецца больш паспяхова, калі гэты працэс працякае мэтанакіравана, метадычна арганізавана і з забеспячэннем тэрміналагічнага матэрыялу, што садзейнічае павышэнню эфектыўнасці яго авалодвання студэнтамі.

### **Літаратура**

1. Бархударов, С. Г. Каким должен быть учебный словарь? / С. Г. Бархударов, Л. А. Новиков // Русский язык за рубежом. – 1971. – № 3. – С. 46–50.
2. Гак, В. Г. Сопоставительная лексикология. (на материале французского и русского языков) / В. Г. Гак. – М.: Международные отношения, 1977. – 264 с.
3. Денисов, П. Н. Об универсальной структуре словарной статьи / П. Н. Денисов // Актуальные проблемы учебной лексикографии. – М.: Русский язык, 1977. – С. 205–225.

УДК 811.111:37.026

### **Обучение профессионально ориентированному чтению в техническом вузе**

Вержбовская М. В.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

*В статье исследуется процесс обучения профессионально ориентированному чтению в техническом вузе. Подчеркивается актуальность владения профессионально ориентированным иностранным языком для будущих специалистов. Освещены задачи, стоящие перед преподавателем, а также методы подбора языкового материала. В статье рассматрива-*

ются различные типы чтения, цели разных типов чтения и упражнения, направленные на их осуществление.

Наше время характеризуется глобализацией во всех сферах жизнедеятельности человека. Коренным образом изменились и требования к языковой подготовке будущих специалистов. Профессионально ориентированное обучение иностранному языку в вузе становится все более востребованным. Современный выпускник регулярно сталкивается с огромным количеством профессиональной литературы; он должен не только быстро находить интересующую его информацию, но и уметь воспользоваться ей. Таким образом, именно чтение на иностранном языке становится одной из «базовых компетенций специалиста, позволяющей эффективно осуществлять профессиональную деятельность» [1]. Задача преподавателя – научить студентов применять иностранный язык в качестве инструмента для получения новых знаний, поиска актуальных и достоверных источников и извлечения из них необходимой профессиональной информации.

Профессионально ориентированное чтение – это сложная речевая деятельность, направленная на восприятие и понимание текста на иностранном языке. Часто фактический уровень знаний студентов не соответствует будущим профессиональным потребностям. Задача преподавателя состоит в том, чтобы снять лексические и грамматические трудности, которые возникают в процессе прочтения профессионально ориентированного текста [2].

Одна из задач, стоящих перед преподавателем, – обучить студентов переводить технические тексты с помощью словаря. Как показывает практика работы в техническом вузе, работа со словарем вызывает трудности у студентов. Одна из них – обилие используемых терминов. Необходимо разъяснить студентам, что значение слова в общеупотребительном значении может отличаться от его значения в профессионально ориентированном тексте. К примеру, существительное *work* студенты стремятся перевести привычным для них словом «работа», а *part* – словом «часть». В то же время в техническом тексте эти существительные будут иметь значения «заготовка» и «деталь» соответственно. Не стоит забывать и о так называемых «ложных друзьях переводчика»: *design* – это не «дизайн», а «конструкция»; *construction* – не «конструкция», а «строительство»; *production* – не «продукция», а «производство». Преподаватель должен научить студентов находить правильное значение термина в словаре.

Подбирая профессионально ориентированные технические тексты для изучения, нужно учитывать то, насколько студенты подготовлены к извлечению необходимой информации. Студенты охотно вовлекаются в процесс обучения, если он соответствует их профессиональным потребностям:

текст актуальный и содержательный, а лексико-грамматические структуры соответствуют уровню их знаний. К примеру, студентам технических специальностей будет сложно перевести текст по работе паровой турбины или типам станков, если они не владеют в достаточной степени терминологией на родном языке. Возникнут трудности и с текстом, изобилующим сложными грамматическими конструкциями: инфинитивными оборотами, герундиальными оборотами, предложениями с пассивным залогом. Поэтому на данном этапе преподаватель адаптирует тексты на иностранном языке, исходя из уровня подготовки студентов [2]. Лексико-грамматическая база студентов будет постепенно формироваться и увеличиваться, что позволит в дальнейшем перейти к работе с текстами, приближенными к оригинальной технической литературе. Это позволит во многом решить проблему перехода будущих специалистов от чтения адаптированной литературы к чтению оригинальной [3].

Существует несколько видов чтения: поисковое, просмотровое, ознакомительное и изучающее [4]. Цель поискового чтения – извлечение необходимой информации из текста: студент должен научиться выделить из большого объема печатной информации только необходимую ему и в то же время исключить все остальное. Просмотровое чтение обращает внимание студентов на логическое построение текста. Студенты определяют содержание текста по его заголовку, разбирают текст на смысловые части, обобщают указанные в тексте факты. Изучающее чтение направлено на полное понимание текста. Студент переводит текст, работая над усвоением лексико-грамматических форм. Цель ознакомительного чтения – обобщить содержание текста, вычленив первостепенную информацию.

Для эффективного обучения профессионально ориентированному чтению необходимо выполнение предтекстовых, текстовых и послетекстовых упражнений, направленных на формирование конкретных умений и навыков у студентов.

Цель предтекстовых заданий и упражнений – устранение языковых трудностей, которые могут возникнуть у студентов при прочтении текста. Для этого используются такие задания, как перевод интернациональных слов, поиск и перевод устойчивых выражений, распределение слов по тематическим группам. Отбор лексики для упражнений проводится на основе частотности ее употребления в изучаемой профессиональной сфере. Лексический материал должен послужить базой для словарного запаса студентов. Для достижения целей и задач предтекстового этапа существует ряд упражнений:

1) упражнения, направленные на прогнозирование содержащейся в тексте информации. Так, работая с текстом «Marie Curie and the discovery of radium», студенты определяют основную тему текста; расставляют пред-

ложенные пункты плана в правильном, на их взгляд, порядке; отвечают на вопросы до прочтения текста;

2) упражнения, направленные на выявление структурно-смысловых компонентов и лексико-грамматических структур. Работая с текстом «Mechanical engineering», студенты читают слова и словосочетания и запоминают их русские эквиваленты; переводят однокоренные слова, обращая внимание на суффиксы и префиксы;

3) упражнения, направленные на языковую догадку терминов или незнакомых слов. Например, студенты могут прочитать интернациональные слова, сопоставляя их значение с русскими эквивалентами;

4) упражнения, направленные на формирование умений работы со словарем.

На текстовом этапе работы с профессионально ориентированным текстом преподаватель выявляет степень сформированности навыков и умений у студентов. Упражнения помогают осмыслению текста, делению его на логические части и выделению основной мысли в каждой из частей. Для решения данных задач используются коммуникативные упражнения: ответы на вопросы, подготовленные преподавателем к тексту; краткий пересказ с использованием заранее выделенных в тексте фраз или слов. Подобные коммуникативные упражнения призваны помочь усвоить профессионально ориентированную лексику в контексте.

Для текстового этапа используются следующие виды упражнений:

1) упражнения, направленные на определение главной информации в тексте. Так, работая с текстом «The role of science in manufacture», студенты подбирают заголовок к каждому абзацу. Они также отвечают на вопросы по тексту, подтверждают или опровергают предложенные утверждения;

2) вычленение информации, которая может быть использована будущими специалистами в их профессиональной деятельности;

3) упражнения, направленные на выделение смысловых опор в профессионально ориентированном тексте. Студенты сопоставляют термин и соответствующее определение, догадываются о значении слова по контексту.

На послетекстовом этапе работы студенты закрепляют лексический материал, чтобы в дальнейшем ввести его в свою активную лексику. Для этого используются упражнения, обратные тем, которые были на дотекстовом этапе работы: перевод слов и устойчивых выражений с русского на иностранный язык; перевод целых предложений или составление собственных с указанной лексикой.

На послетекстовом этапе используются следующие виды упражнений:

1) контроль понимания и усвоения всей информации профессионально ориентированного текста. Например, прочитав текст «All professions and

jobs are good», студенты отвечают на следующие вопросы: «Какие профессии наиболее престижны сейчас и почему?», «В каких отраслях промышленности создается больше всего рабочих мест?»;

2) умение находить в тексте необходимую информацию в соответствии с задачами и целями, поставленными преподавателем на предтекстовом этапе. Прочитав текст, студенты выполняют следующие упражнения: закончить предложения, используя слова и фразы из текста; перевести предложения с русского на английский язык; заменить описание одним синонимичным словом из текста;

3) умение реферировать, пересказывать текст, составить резюме. Например, студенты могут составить краткое резюме текста «The importance of engineering education», используя предложенные фразы: *the title of the text is..., it should be highlighted that..., in conclusion I may say that...*

После завершения работы над текстом преподаватель проводит итоговый контроль знаний студентов: опрос, эссе, дискуссия. Так преподаватель получает информацию об уровне знаний и умений студентов: понимают ли они профессионально ориентированный текст в целом и насколько точно они могут воспроизвести его на иностранном языке.

Итак, приобретя навыки чтения профессионально ориентированных текстов, студенты технического вуза в дальнейшем смогут самостоятельно извлекать из иностранных источников информацию, необходимую в их профессиональной деятельности.

### Литература

1. Крутская, С. В., Нуртдинова, Л. Р. Обучение профессионально ориентированному чтению в рамках ФГОС три плюс [Электронный ресурс] / С. В. Крутская, Л. Р. Нуртдинова. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-professionalno-orientirovannomu-chteniyu-v-ramkah-fgos-tri-plyus> (дата обращения – 25.03.2022 г.).

2. Табуева, И. Н. Профессионально ориентированное обучение чтению в вузе и виды его контроля [Электронный ресурс] / И. Н. Табуева. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalno-orientirovannoe-obuchenie-chteniyu-v-vuze-i-vidy-ego-kontrolya> (дата обращения – 25.03.2022 г.).

3. Чигашева, М. А. Типы текстов по специальности и их использование на занятиях по иностранному языку / М. А. Чигашева // Технологии обучения иностранным языкам в неязыковых вузах: сб. науч. ст. Межвуз. науч.-техн. конф., Ульяновск, 1 фев. 2005 г. / Ульяновск. гос. тех. ун-т. – Ульяновск, 2005. – С. 109–111.

4. Фоломкина, С. К. Обучение чтению на иностранном языке в неязыковом вузе: уч.-методич. пособие / С. К. Фоломкина; науч. ред. Н. И. Гез. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2005. – 253 с.

УДК 378.2

**Преподавание на английском языке (English Medium Instruction)  
в техническом вузе**

Ганчеренок И. И.<sup>1</sup>, Жабборов Н. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в г. Ташкенте

Ташкент, Республика Узбекистан

*Статья посвящена проблеме преподавания на английском языке в высшей школе с целью развития интеллектуальной мобильности. Представлен белорусско-узбекский опыт расширения англоязычной коммуникации в академическом сообществе. Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в г. Ташкенте позиционируется как эффективная модель реализации интеллектуальной мобильности и институализации процесса интернационализации высшей школы*

В монографии [1] мы затронули вопросы необходимости совершенствования системы образования для обеспечения адекватного ответа современным вызовам, которые уже существенным образом трансформировали и трансформируют в ближайшей перспективе мировую конфигурацию экономических, политических и общественных взаимоотношений, находящихся в тесной взаимосвязи. В режиме глобального диалога и, следовательно, интеллектуальной мобильности предполагается поиск следующих задач:

1) *технологическое развитие*: необходимость определения принципов создания новых технологий, таких как искусственный интеллект, геномное редактирование при обеспечении выполнения этических принципов и подчиненности системе признанных ценностей;

2) *кибербезопасность*: координация коллективных усилий для сохранения доверительности и безопасности инновационной и технологической магистрали 4ИР;

3) *цифровизация* индустриальных систем: увеличение доступности и расширение обеспечения услугами в сферах здравоохранения, энергетики, связи, транспорта и других.

Таким образом, само понятие глобальности диалога, с одной стороны, и очевидная доминанта цифровизации как технологии изменений в различных сферах жизнедеятельности, с другой, предполагают выбор международного языка взаимодействия в реальной и виртуальной средах. Таким языком на сегодняшний день выступает английский язык. В результате формирование иноязычной компетенции у студентов технических специальностей, обеспечивающих прорывные технологии будущего, является, безусловно, исключительно актуальной и важной задачей современных высших учебных заведений.

В этой связи особого внимания заслуживают масштабные национальные реформы в системе высшего образования Узбекистана, определенные «Концепцией развития системы высшего образования до 2030 года». В соответствии с данной концепцией, утвержденной Указом Президента Узбекистана, актуализируются вопросы повышения инвестиционной привлекательности государства, обеспечения международного признания и конкурентоспособности системы высшего образования Узбекистана, в том числе и через увеличение удельного веса специальностей и направлений образования с обучением на иностранных языках в условиях расширения контингента обучающихся в сфере инженерно-технического образования. В 2019 г. Министерство высшего и среднего специального образования (Минвуз) в партнерстве с Британским Советом запустили долгосрочную программу «Высшее образование для трудоустройства». В республике активно реализуются диалоговые площадки для обмена опытом и развития инновационных подходов в области формирования и развития англоязычной среды преподавания в высшей школе в форме международных и национальных конференций, как, например, Республиканская научно-практическая онлайн-конференция «Инновационные подходы к преподаванию технических дисциплин на иностранном языке» (Наманган) и Международная конференция «The Role of English in Higher Education and Its Impact on Graduate Employability» (Ташкент); разрабатываются оригинальные методические подходы к обучению иностранным языкам в технических вузах [2].

Особого внимания заслуживает инициированный и реализованный в Узбекистане образовательный проект «English for Science», обладающий высоким потенциалом для формирования исследовательской компетенции и развития компетентности ученого, обеспечения эффективной интеллектуальной мобильности, с одной стороны, и узнаваемости Узбекистана в мировом академическом сообществе – с другой стороны.

Одним из совместных международных учреждений высшего образования является недавно созданный совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в г. Ташкенте (СБУМИПТК) с уставными концепциями глубокой интернационализации и интеллектуальной мобильности, одобренными на межгосударственном уровне. При этом под интеллектуальной мобильностью понимается свойство фрактальности академического пространства, обеспечивающее его инвариантность в различных точках физического географического пространства. Развитие СБУМИПТК в кооперации с мировыми центрами англоязычного образования как, например, Norwich Institute of Language Education (NILE), задействованного в проекте Минвуза Узбекистана представляется перспективной моделью развития интеллектуальной мобильности в условиях цифровой трансформации рынка труда.

Английский язык является не только наиболее распространенным языком межкультурной коммуникации, ассоциируясь с термином «лингвистический империализм», но и является доминантным языком обучения и академической коммуникации (почти 95 % исследований в международных высокорейтинговых журналах опубликованы на английском языке) [3]. Самое широкое академическое распространение получил англоязычный термин «English Medium Instruction (EMI)» (преподавание на английском языке).

Сегодня, в русскоязычном академическом сообществе сформировалась устойчивая тенденция преподавания профильных дисциплин на английском языке, причем не только для иностранных студентов. В то же время идет интенсивный педагогический поиск методических подходов (например, [3, 4]), обеспечивающих качество не только формируемой коммуникативной иноязычной компетенции, но и профессиональных компетенций, включая цифровые.

Г. Лейбниц еще в XVII в. обнаружил эффект познавательной деятельности, называемый апперцепцией и предполагающий зависимость восприятия от предыдущих знаний и опыта. Как следствие, иноязычный подход к изучению дисциплины может оказаться значимым не только для формирования иноязычной компетенции по будущей специальности, но и для более качественного изучения предмета.

В качестве практического примера рассмотрим проведение курса «System Analysis and Decision-Making» для белорусских и иностранных студентов Академии управления при Президенте Республики Беларусь и Белорусского государственного университета. Занятия проводились на английском языке в смешанной очно-дистанционной форме, при этом сохранялось традиционное структурирование курса в дуальном режиме: проводились лекционные занятия (профессор и преподаватель), материал которых

закреплялся лабораторными работами по соответствующим темам, проводимых преподавателем. Лекционная часть была доступна обучаемым в виде очных лекций и онлайн-материалов к ним. Комплекс лабораторных работ был спроектирован на основе электронных таблиц, задания и методика выполнения которых предоставлялась в электронной форме в виде текстовых описаний и шаблонов-заготовок для математических моделей. Отказ от специализированных инструментов моделирования в пользу универсальных электронных таблиц (Excel, OpenOffice Calc, Google Sheets) позволил упростить техническое обеспечение курса, а также дает возможность студентам выполнять работы дома или в условиях самоизоляции.

В качестве интерактивных иллюстративных примеров в лабораторных работах присутствовали математические имитационные модели разрешения ряда проблемных ситуаций, которые могут быть использованы для проведения деловых игр, в том числе и для формирования компетенций цифровой экономики.

Важной составляющей курса является организация процесса взаимодействия с обучаемыми. В рассматриваемом случае в качестве платформы использовались LMS Moodle и Google Classroom. Оба сервиса обладают необходимой функциональностью по публикации и структурированию учебного материала, управлению сроками выполнения работ и расписанием, проверки и оценки результатов. Однако для курсов на английском языке только заданий и материалов в текстовом виде недостаточно. Необходимо общение с преподавателем как с точки зрения усвоения учебного материала, так и с точки зрения развития коммуникативной иноязычной компетенции в профессиональной сфере. Принято считать, что данную потребность удовлетворяют занятия в очном режиме, но их проведение не всегда возможно. Для этих случаев могут использоваться голосовые чаты и сервисы видеоконференций, в нашем случае Discord, Skype и Zoom.

Таким образом, рассмотренные подходы позволяют:

- 1) провести интенсивное введение в образовательный процесс учебных онлайн-материалов на иностранном языке;
- 2) повысить потенциал академической мобильности, включая виртуальную, студентов для стимулирования экспорта образовательных услуг и публикационной активности в зарубежных научных изданиях;
- 3) обеспечить высокую познавательную заинтересованность обучающихся и качество учебного процесса;
- 4) осуществить управляемую трансформацию в полностью дистанционную образовательную технологию;
- 5) повысить эффективность совместных образовательных программ в сложных эпидемиологических условиях.

При это особое внимание следует обратить на повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин инженерных вузов в контексте освоения педагогики и особенностей ЕМІ как «переключение кода» (Code Switching), «контентное обучение» (Content and Language Integrated Learning), «языковое погружение» (Language Immersion) через систему дополнительного образования в той же системе интеллектуальной мобильности между сотрудничающими вузами либо самообразования преподавателей активно работающих, например, по модели ЕМІ МИДО БНТУ.

### **Литература**

1. Ганчеренок, И. Глобализация 4.0. Ответ системы образования / И. Ганчеренок, Н. Горбачев. – Mauritius: Palmarium Academic Publishing, 2019. – 112 с.

2. Абдуллаева, Н. И. Метод обучения английскому языку в технических институтах / Н. И. Абдуллаева // Int. Sci. Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education. Collection of Scientific Articles. – Boston: Problems of Science, 2019. – P. 69–71.

3. Bezborodova, A. English in Higher Education in the Kyrgyz Republic, Tajikistan, and Uzbekistan / A. Bezborodova, S. Radjabzade // World Englishes. – 2021. – P. 1–20.

4. Basibek, N. Lecture's Perception of English Medium Instruction (EMI) at Engineering Departments of Higher Education: A study of Partial EMI at Some State Universities in Turkey / N. Basibek, M. Dolmaci, B. C. Cengiz [et al.] // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2014. – № 116. – P. 1819–1825.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

<b>Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н., Филатов С. А.</b> Термоаналитический анализ брикетированного многокомпонентного топлива .....	4
<b>Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н.</b> Особенности расчета ПДК загрязняющих веществ от сжигания многокомпонентного топлива .....	8
<b>Пехота А. Н., Пехота Е. А.</b> Технологические аспекты получения твердого топлива на основе осадка сточных вод очистных сооружений .....	13
<b>Рашидов Ю. К., Сурьятов Х. Т., Маматов М. М.</b> Расчетные зависимости для проектирования энергоэффективной самодренлируемой гелиоустановки с активным элементом.....	18
<b>Крутилин А. Б.</b> Особенности проектирования вентилируемых фасадных систем теплоизоляции в конструкциях наружных стен зданий.....	22
<b>Сизов В. Д., Павловская А. В.</b> Анализ значений коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций в некоторых странах СНГ .....	24
<b>Акельев В. Д., Сизов В. Д., Велесик О. И.</b> Аэро- теплообменная устойчивость строительных объектов .....	30
<b>Акельев В. Д., Сизов В. Д., Золотарева И. М., Кононов Д. А.</b> Процессы теплообмена при производстве цементобетонных дорожных покрытий с разогретыми заполнителями.....	34
<b>Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А.</b> Особенности проектирования, монтажа и эксплуатации солнечных коллекторов с целью получения теплоты для нужд ГВС .....	39
<b>Лешкевич В. В.</b> Некоторые результаты исследования теплопроводности пенополистирола при высоких значениях влажности .....	44

<b>Борухова Л. В., Летун Е. А.</b> Анализ возможностей применения аддитивных технологий в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции .....	47
<b>Янчук В. В., Романюк В. Н.</b> Возможность утилизации низкотемпературных потоков теплоты на энергогенерирующих источниках .....	50
<b>Бубырь Т. В.</b> Утилизация тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплотрасс .....	55
<b>Ливанский Д. Г.</b> Новое в рекомендациях по проектированию конструкций основания ледовых площадок (Р 3.02.178-2019).....	60
<b>Чигилейчик И. М., Ливанский Д. Г.</b> Влияние наружной окружающей среды на энергетические показатели высотных зданий.....	63
<b>Ливанский Д. Г., Перминова О. И.</b> Децентрализованные системы теплоснабжения в строительстве жилых домов в Республике Беларусь.....	65
<b>Ган В. О.</b> Энергоэффективные здания .....	68
<b>Космович Д. А.</b> Анализ зданий с нулевым энергопотреблением в Республике Беларусь.....	71
<b>Данькова Я. С., Красникова Е. А.</b> Энергетика и энергосбережение на примере энергоактивных зданий.....	76
<b>Бракович И. С., Шабан З. А.</b> Международные соглашения по продлению Киотского протокола .....	79

### **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

<b>Захарко П. Н., Дубенок С. А.</b> Водопользование, качественный состав сточных вод предприятий молочной промышленности .....	86
<b>Голод Ю. В., Дубенок С. А.</b> Учет качественных характеристик питьевой воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения, при нормировании сбросов сточных вод в сети водоотведения (канализации) населенных пунктов.....	91
<b>Ануфриев В. Н., Волкова Г. А.</b> Методы водоподготовки с использованием озонирования и сорбции .....	96

<b>Колобаев А. Н.</b> Учет погрешности исходных данных при определении размера вреда за сверхнормативное загрязнение водных объектов.....	101
<b>Ковалева О. В., Грузинова В. Л.</b> Обеспечение нормативов сброса сточных вод в водные объекты.....	104
<b>Михневич Э. И., Развенкова А. Ю.</b> Расчет устойчивости на взвешивание железобетонных труб при производстве тампонажа цементно-песчаным раствором .....	109
<b>Корнеев В. Н., Титов К. С., Булак И. А.</b> Теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию размещения водорегулирующих гидротехнических сооружений на реке Уборть Лельчицкого района Гомельской области.....	114
<b>Романова А. С., Бабич Н. А., Цыбин И. А.</b> Отдельные вопросы автоматизации процессов водоснабжения на примере автоматизированной системы управления технологическим процессом первого подъема водозабора № 7 «Волма» УП «Минскводоканал» .....	119
<b>Суворов И. В., Гук П. С., Цыбин И. А.</b> Концептуальный подход к модернизации локальных повысительных насосных станций в системах водоснабжения г. Минска .....	123
<b>Урецкий Е. А., Мороз В. В., Дарманян А. П.</b> Исследование эффективности работы статических смесителей и разработка малозатратных установок для смешения реагентов со сточными водами .....	128
<b>Юшенко В. Д., Велюго Е. С., Рашкевич Е. И., Ершова Е. С.</b> Особенности использования метода упрощенной аэрации подземных вод для напорных установок .....	133
<b>Якубов К. А.</b> Совершенствование системы водоснабжения города Самарканд .....	138
<b>Мурадов Ш. О., Тураев У. М.</b> Усовершенствованная технология деминерализации вод.....	144
<b>Бекмамадова Г. А.</b> Основные технологические параметры водозаборных сооружений .....	149
<b>Мирзаев Ж. П., Терещенко А. В.</b> Анализ эффективности очистки сточных вод г. Ташкент .....	154

<b>Мирзаев И. А., Терещенко А. В.</b> Интенсификация процессов биологической очистки методом прикрепленных биоценозов.....	157
<b>Кучкарова Д. Х.</b> Совершенствования комплексного использования и эффективного управления водными ресурсами .....	159
<b>Алиев М. К., Махмудова Д. Э.</b> Изучение проблемы технического состояния водопроводных сооружений и сетей в условиях Республики Узбекистан и пути их решения.....	163

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

<b>Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А., Шаталов И. М., Власов В. В., Щербакова М. К.</b> Экспериментальные исследования сопротивления движению барже-буксирных составов, работающих на внутренних водных путях Республики Беларусь .....	169
<b>Линкевич Н. Н.</b> Основные мероприятия по повышению надежности и безопасности каналов .....	171
<b>Быков К. Ю., Качанов И. В., Ленкевич С. А., Шаталов И. М.</b> Решение осесимметричной задачи при скоростном комбинированном выдавливании биметаллических дорожных резов .....	179
<b>Качанов И. В., Ковалевич В. С., Шаталов И. М., Филипчик А. В., Кособуцкий А. А.</b> Инновационная технология реверсивно-струйной очистки (PCO) металлических поверхностей гребных винтов от коррозии .....	181
<b>Левкевич В. Е.</b> К 100-летию со дня рождения доцента кафедры ГТС Е. М. Левкевича .....	184
<b>Копаченя С. С., Линкевич Н. Н.</b> Поверхностный водоотвод для предохранения земляного полотна от переувлажнения и размыва .....	189
<b>Жук А. Н., Качанов И. В., Шаталов И. М.</b> Технология реверсивно-струйной очистки металлических листов перед лазерной резкой .....	195
<b>Качанов И. В., Шаталов И. М., Кособуцкий А. А., Хвилько К. В.</b> Земснаряд повышенной производительности с трубопроводной системой на основе применения поворотов различных формпоперечного сечения.....	198

<b>Богославчик П. М., Евдокимов В. А.</b> Расчет резервного водосброса с размываемой вставкой .....	200
<b>Богославчик П. М., Шейко А. М.</b> Особенности расчета устойчивости откосов дамб шламохранилищ .....	205
<b>Качанов И. В., Ленкевич С. А.</b> Технологические основы производства заготовок для изделий медицинского назначения.....	209
<b>Немеровец О. В., Ивашечкин В. В.</b> Оценка экономического ущерба от затопления территории в период прохождения паводка катастрофической обеспеченности на примере Клястицкого гидроузла .....	214
<b>Копаченя С. С., Левицкий А. А., Линкевич Н. Н.</b> Подземный водоотвод для предохранения земляного полотна от переувлажнения и размыва .....	217
<b>Повколас К. Э.</b> Особенности применения горизонтальных инерционных барьеров для снижения колебаний плитных фундаментов при внешних вибродинамических воздействиях .....	229
<b>Яковлев Е. А.</b> Способы укрепления откосов синтетическими материалами .....	231
<b>Таболич Т. Г.</b> Инновационные технологии на водном транспорте: анализ текущего состояния, предпосылки возникновения и основные направления внедрения.....	234
<b>Курчевский С. М.</b> Применение агрохимической мелиорации на загрязненных дерново-подзолистых супесчаных почвах.....	238
<b>Крицкая В. И., Ивашечкин В. В.</b> Графоаналитический метод расчета скважинного водозабора.....	244
<b>Саямова К. Д., Амангельдиев А. Ш., Турдикулов Х. Х.</b> Численный анализ напряженно-деформированного состояния высокой грунтовой плотины с учетом данных натурных наблюдений.....	249
<b>Колосов М. А., Моргунов К. П.</b> Разжижение грунтов основания Загорской ГАЭС-2 при подтоплении котлована .....	256
<b>Моргунов К. П., Колосов М. А.</b> Оценка возможных причин образования и развития трещины в бетоне устоя нижней головы шлюза № 2 Волго-Балтийского водного пути.....	259

<b>Никитина Т. Ю.</b> Особенности обеспечения устойчивости вертикальных элементов на акватории .....	265
<b>Гарибин П. А., Федяшов А. В.</b> Опыт и перспективы возведения наплавных конструкций транспортно-энергетических ГТС.....	269
<b>Мишукова О. А., Краснонос В. В.</b> Определение устойчивости оградительного мола откосного профиля при сейсмических воздействиях .....	274
<b>Гарибин П. А., Егоров С. В.</b> Методология визуального определения технического состояния лицевой стенки больверков .....	279
<b>Гладков Г. Л., Беляков П. В., Конопацкий С. В., Ржаковская П. С.</b> Обоснование продления навигации на трассе Каспий-Азов: гидрологические и гидрометеорологические аспекты .....	284
<b>Каюмов С. Н., Хакимов С. Х.</b> Энергосберегающие технологии контактов электрических аппаратов в энергетическом строительстве .....	289
<b>Файзиев Х., Рахимов Ш. А., Жураев К. Т.</b> Теоретические и экспериментальные исследования неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах.....	294
<b>Яковлев Е. А., Синиченков А. П., Михалькевич Д. Д.</b> Экспериментальные исследования конструкции крепления земляных каналов .....	298
<b>Левкевич В. Е., Бузук А. В., Сударева Т. А.</b> Оценка эффективности эксплуатации берегозащитных сооружений на основе данных полевых обследований и технико-экономического анализа.....	302
<b>Левкевич В. Е., Мильман В. А., Решетник С. В.</b> Экспериментальное исследование подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью дистанционных методов .....	308
<b>Щербакова М. К., Таболич Т. Г.</b> Анализ информационных систем управления внутренним водным транспортом.....	312
<b>Митрахович А. И., Казмирук И. Ч.</b> Из опыта исследований осушительной способности дренажа на тяжелых почвах.....	317

<b>Селезнев В. И., Корбуг О. Б.</b> Фильтрационно-гидравлический расчет малоуклонных дрен при подпочвенном увлажнении .....	320
<b>Файзиев Х., Жураев К. Т., Рахимов Ш. А.</b> Оценка прочности и устойчивости новых конструкций креплений откосов канала при неустановившейся фильтрации .....	325
<b>Медведева Ю. А., Ивашечкин В. В., Кондратович А. Н., Чиникайло А. В.</b> Конструктивные особенности скважин для забора воды из подземных источников.....	330
<b>Ташходжаев А. У., Галиева Д. Н.</b> Опытнo–полевые исследования на участке строительства Пскемской ГЭС в Республики Узбекистан .....	334
<b>Исаков А. Ж.</b> Энергетический сектор Узбекистана и перспективы цифровизации гидроэлектростанций.....	343
<b>Турсунова У. Х., Котова Л. В.</b> Оптимизация насосного оборудования для индивидуальных тепловых пунктов .....	348
<b>Котова Л. В., Турсунова У. Х.</b> Усовершенствование работы насосов в системе горячего водоснабжения .....	353
<b>Шамсиева Н. М., Бобоеров Б. И.</b> Гидродинамические процессы централизованных системах канализации.....	358
<b>Турсунова Э. А.</b> Мировой опыт водосбережения в условиях дефицита водных ресурсов .....	361
<b>Махмудова Д. Э., Алиев М. К.</b> Состояние и проблемы питьевого водоснабжения.....	368

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

<b>Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.</b> Узкополосный интегрально-оптический фильтр .....	376
<b>Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.</b> Антенна терагерцового диапазона .....	379
<b>Юркевич Н. П., Савчук Г. К.</b> Научные методы исследования в лабораторном физическом практикуме студентов технических специальностей .....	382

<b>Yurkevich N. P., Sauchuk H. K., Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B.</b> Digital technologies in the educational space .....	389
<b>Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B., Yurkevich N. P.</b> The use of solar panels to power the air conditioning and ventilation system of vans.....	393
<b>Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И.</b> Из опыта организации научно-исследовательской работы студентов.....	397
<b>Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И.</b> Применение интерактивных видеообучающих технологий для оптимизации усвоения лекционного материала.....	401
<b>Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С., Зыков Г. Л.</b> Анализ электрических сигналов преобразователя при считывании информации с магнитного носителя .....	405
<b>Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С., Зыков Г. Л.</b> Контроль свойств металлических объектов в прошедшей и отраженной электромагнитной волне.....	409
<b>Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.</b> Расчеты распределений электрического сигнала преобразователя магнитного поля .....	414
<b>Кириленко А. И., Хведченя В. А.</b> Эффективность ветроэнергетики для Беларуси .....	419
<b>Кириленко А. И., Кириленко Т. Д., Рубанов И.В.</b> Моделирование движения тел в атмосфере .....	424
<b>Борисов В. А.</b> Электрофизические свойства пленок из углеродных нанотрубок.....	430
<b>Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B., Yurkevich N. P.</b> Using solar panels to recharge car battery .....	433
<b>Файзуллаев Ж. С.</b> Функциональная диагностика системы управления асинхронным тяговым приводом электровоза.....	437
<b>Yusupov D. T., Kutbidinov O. M.</b> Regression model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity.....	442
<b>Нуриддинов С. Б., Авазов Б. К., Каршиев К. Т.</b> Статистика отказов и анализ повреждаемости электрических машин.....	446

<b>Чиркин А. А., Балаева-Тихомирова О. М., Кацнельсон Е. И., Пинчук П. Ю.</b> Использование легочных пресноводных моллюсков для биомониторинга поверхностных вод .....	452
<b>Khudoyberganov S. B., Kurbanov I. B.</b> Methodology of laboratory lessons in electrical engineering .....	457
<b>Якубова Х. М., Мухтарова Д.</b> Диагностика системы мотивации персонала и пути ее совершенствования.....	462
<b>Бернацкая Д. А.</b> Цифровые тенденции и их формирование сферы преподавания .....	467

### **ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

<b>Мартысюк Н. П.</b> Інтэграцыўнасць як умова эфектыўнасці выкладання замежнай мовы ў тэхнічнай ВНУ (з досведу працы кафедры «Англійская мова» № 2) .....	471
<b>Крюкова Л. А.</b> Олимпиада по английскому языку как механизм повышения эффективности обучения иностранным языкам в техническом вузе.....	474
<b>Муха О. Ю., Щербицкий Н. Э.</b> «Иностранный язык (английский) (профессиональная лексика)» как механизм эффективности практико-ориентированного обучения.....	476
<b>Сугакова Е. П.</b> Междисциплинарный потенциал дисциплины «Иностранный язык» в техническом вузе .....	478
<b>Козлова О. А.</b> О непрерывности обучения иностранному языку в системе университетской подготовки специалистов технического профиля .....	480
<b>Здоронюк Ю. А.</b> Оптимизация преподавания иностранного языка с использованием компьютеров .....	484
<b>Фомичева Т. П.</b> Формирование экологической компетенции у студентов специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» на занятиях английского языка в БНТУ .....	489
<b>Пузенко И. Н.</b> Перевод патентов как вид межкультурной коммуникации.....	491

<b>Зыблева Д. В.</b> Тексты для самостоятельного изучения иностраных языков .....	494
<b>Буракова М. У.</b> Вучэбная лексікаграфія як адметны лінгваметадычны прыем .....	497
<b>Вержбовская М. В.</b> Обучение профессионально ориентированному чтению в техническом вузе .....	502
<b>Ганчеренок И. И., Жабборов Н. М.</b> Преподавание на английском языке (English Medium Instruction) в техническом вузе .....	507