

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 республиканской научно-технической конференции

20–21 мая 2021 г.

Минск
БНТУ
2021

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;
Маляревич 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»;
Хрусталева Б. М. – заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение 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 «Теплогазоснабжение 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, теплогазоснабжения, 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_2021-1. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 18.06.2021. Объем издания: 5,4 Мб. Заказ 316

Белорусский национальный технический университет

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

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

ISBN 978-985-583-650-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

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

Использование электрогидравлической обработки при подготовке к брикетированию коммунальных отходов решает проблемы переработки горючих отходов

Хрусталёв Б. М.¹, Пехота А. Н.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;

²Белорусский государственный университет транспорта,
Гомель, Республика Беларусь

Представлены результаты исследований физико-химических свойств осадков сточных вод, прошедших специальную кратковременную электрогидравлическую обработку. Применение описанного метода обработки осадка сточных вод расширяет возможности его использования в различных технологиях. Предложен способ комплексного эффективного использования в качестве брикетированного топлива.

В настоящее время в Республике Беларусь остро стоит вопрос увеличения объемов использования отходов и создание предпосылок к «нулевому» захоронению отходов. В комплексе проблем жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь одной из важнейших проблем продолжает оставаться – выбор направлений по утилизации осадков сточных вод. Проблема утилизации осадков городских сточных вод является важной экологической задачей для городов нашей страны. Количество осадков, выделяющихся при очистке сточных вод на современных очистных сооружениях, составляет от 2 до 10 % от расхода поступающих вод. При этом из них используется в народном хозяйстве 4–5 % от всего объема, как правило, в сфере почвоулучшающих композиций, в связи, с чем в существенных объемах осадки складываются и хранятся на территории очистных сооружений, что создает неблагоприятную экологическую ситуацию вблизи городской черты.

Все вышесказанное, приобретает особую важность еще и потому, что последние десятилетия многими странами в рамках развития концепции национальных стратегий устойчивого развития осуществляется стремительный переход к эффективному использованию производственных, коммунальных отходов и биомассы с применением технологий сжигания и получения топлива. Например, страны Евросоюза декларируют до 2030 г. замещение четвертой части потребляемого топлива для транспорта за счет жидких видов биотоплива, получение которых будет осуществляться с помощью технологий переработки различных отходов и биомассы.

Развитие данного направления применения горючих отходов в качестве нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергетике в первую очередь связано с увеличивающимся мировым потреблением, обеспечивающимся ростом как национального, так и мирового ВВП в последние десятилетия. Так, по данным Института экономики НАН Беларуси [1], численность населения на нашей планете прибавляется по 1 млрд. чел. последние 60 лет с динамикой каждые 13 лет.

Актуальность применения брикетированного топлива из ОСВ основывается на том, что основной компонент – возобновляем, а его объем ежегодно увеличивается пропорционально росту населения и производства [2]. Использование вторичных энергетических ресурсов приобретает дополнительную актуальность, также в связи со снижением запасов ископаемых видов топлива, необходимостью укрепления энергетической безопасности, а также экономической и экологической потребностью увеличения уровня использования отходов. При этом, например, использование древесных отходов совместно с другими возобновляемыми видами топлива позволяет сократить выбросы углекислого газа в атмосферу [3]. Это окончательно не решает проблему изменений климата, но в совокупности с другими действиями может смягчить его катастрофические изменения.

На данном этапе одними из сдерживающих факторов широкого применения ОСВ в различных разработанных технологиях являются повышенная влажность, наличие минеральных (механических) примесей и повышенное содержание тяжелых металлов в составе топлива.

Одним из решений данных сдерживающих факторов является применение электрогидравлической обработки (ЭГО) данного вида отхода, в результате которой, по данным проведенных исследований отмечено уменьшение количественного содержания серы, цинка, никеля, хрома, меди, марганца и свинца. Это, в целом, дает возможность регулировать и обеспечивать допустимое содержание этих элементов в физико-химическом составе применяемого ОСВ на экологически безопасном или нормативно необходимом уровне.

Эффект достигается за счет того, что во влажной среде осадка сточных вод происходят электрические разряды, создавая сверхвысокое импульсное гидравлическое давление, при этом гидродинамические эффекты, приводят к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями.

В реакторе, в результате специально сформированного импульсного (искрового, кистевого) высоковольтного электрического разряда между электродами, создаются мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, которые в зависимости от регулируемой оператором продолжительности, частоты, мощности и длительности электрического импульса тока разрядов, запускают механические резонансные явления позволяющими осуществлять обработку материалов.

Все перечисленные факторы оказывают на жидкость и объекты, помещенные в нее, разнообразное физическое и химическое воздействие. Ударные перемещения жидкости вблизи зоны разряда, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны разрушать неметаллические материалы и вызывать пластические деформации металлических объектов. При этом электрогидравлическая обработка отходов, совершающаяся без промежуточных механических звеньев, сопровождается широким комплексом физических и химических явлений таких как: инфра- и ультразвуковые излучения, интенсивные импульсные световые, тепловые, ультрафиолетовые излучения; многократная ионизация соединений и элементов, содержащихся в обрабатываемых отходах [4].

В табл. 1 представлены данные полученные при исследовании ОСВ городских очистных сооружений г. Гомеля на содержание различных металлов в жидких пробах до и после ЭГО.

Таблица 1

Сравнения данных полученных до и после электрогидравлической обработки ОСВ

№ пробы	Название	Металл	V, см ³	Концентрация, мг/кг	Степень изменения концентрации
1	Ил исходный	Zn	50,0	986,672	2,277
2	Ил после обработки 3 мин	Zn	50,0	433,422	
3	Ил исходный	Ni	50,0	12,501	2,474
4	Ил после обработки 3 мин	Ni	50,0	5,053	
5	Ил исходный	Cr	50,0	23,547	1,497
6	Ил после обработки 3 мин	Cr	50,0	15,731	
7	Ил исходный	Cu	50,0	96,719	2,467
8	Ил после обработки 3 мин	Cu	50,0	39,205	
9	Ил исходный	Mn	50,0	24,403	1,567
10	Ил после обработки 3 мин	Mn	50,0	15,570	
11	Ил исходный	Pb	50,0	9,417	1,412
12	Ил после обработки 3 мин	Pb	50,0	6,670	

Все эти явления, в комплексе, воздействуя на обрабатываемый состав отходов позволяют уменьшать содержание таких химических элементов как Zn, Ni, Cr, Cu, Mn, Pb, S влияющих на формирование, например, выбросов вредных веществ при сжигании многокомпонентного топлива с использованием ОСВ, а также при непосредственном сжигании осадка сточных вод в качестве однокомпонентного состава топлива [5].

Таким образом, применение электрогидравлической обработки осадков сточных вод высоковольтным короткоимпульсным (на уровне 10–20 мкс) электрогидравлическим разрядом в течение 3 минут, позволяет уменьшать концентрацию некоторых химических элементов в рабочем составе ОСВ. Наблюдается изменение концентрации таких элементов как Zn, Cu, Ni в пределах 2,277–2,474 раза соответственно, а концентрация Pb Cr, Mn снижается в пределах 1,412–1,567 раза соответственно.

Механически обезвоженный осадок содержит 65–80 % воды. После термической сушки теплотворная способность может достигать 9-16 МДж/кг, а переработка 1 тонны ОСВ (в расчете на сухую массу) позволяет получить в зависимости от состава 531–556 кг условного топлива [6].

Таким образом, анализ показывает, что существует широкий спектр возможностей получения топлива с использованием коммунальных отходов. Их применение в технологиях брикетирования многокомпонентных составов позволяет обеспечивать сокращение объемов захоронения отходов, повышать уровень использования горючих отходов в качестве вторичных энергоресурсов, а также реализовывать программы замещения импортируемых энергоносителей.

Литература

1. Беларусь 2030: государство, бизнес, наука, образование: матер. 2-й Междунар. науч. конф., 29 мая 2015 г., Минск / Белорусский государственный университет. – Минск: Право и экономика, 2015. – 146 с.
2. Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник Брестского гос. технич. университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – С. 43–45.
3. Пехота, А. Н. Многокомпонентное топливо на основе древесных отходов – одно из направлений решения задач энергосбережения / А. Н. Пехота // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт: науч.-произв. журнал. – 2010. – № 1. – С. 121–122.
4. Бугаенко, Л. Т. Химия высоких энергий / Л. Т. Бугаенко, М. Г. Кузьмин, Л. С. Полак. – М.: Химия, 1988. – 364 с.
5. Пехота, А. Н. Использование вторичных ресурсов в энергетическом балансе – дополнительный резерв энергосбережения и обеспечения стабильной

сырьевой топливной базы / А. Н. Пехота // Вестник Брестского государственного университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 53–55.

6. Исследование многокомпонентного брикетированного топлива на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля и исследование теплотехнических свойств брикетов: отчет по НИР / Белорус. гос. ун-т трансп.; научный рук. А. Н. Пехота. – Гомель, 2020. – 99 с.

УДК 628.5+504.5

Уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу Земли

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании анализа литературных источников приведены основные схемы антропогенного круговорота углекислого газа в атмосфере Земли и рассмотрены основные методы его улавливания.

Концентрация углекислого газа (CO_2) в атмосфере в последние годы имеет тенденцию к постоянному увеличению и пока нет никаких реальных фактов, что эта тенденция изменится. Несмотря на ускорение темпов вовлечения возобновляемых источников энергии в энергетический потенциал стран мира, в будущем индустриальным и развивающимся странам придется, по всей вероятности, продолжить сжигать нефть, уголь и природный газ.

Учитывая тот факт, что мировое человечество еще в середине прошлого века озаботилось существенным увеличением выбросов CO_2 в атмосферу и это вылилось в подписание целого ряда международных договоров и соглашений. В 2001 г. была создана межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Результатом работы группы явилась разработка доклада, утвержденного в 2005 году в Монреале, Канада. В докладе четко изложена схема антропогенного круговорота углекислого газа, которая включает четыре основных этапа: **улавливание, транспортировка, хранение** и его **использование**.

Прежде чем улавливать углекислый газ, нужно определиться с основными источниками промышленных выбросов CO_2 в атмосферу. В табл. приведены основные, наиболее крупные источники выбросов (более 1 млн. т. CO_2 в год)

Всего в атмосферу Земного шара выбрасывается ежегодно порядка 23,5 Гт CO₂ в год. Эти выбросы сосредоточены в 4 основных регионах: Северная Америка (среднезападная и восточная части США), Европа (северный и западный регионы), Восточная Азия (восточное побережье Китая) и Южная Азия (Индийский регион).

Вопросы **транспортировки** углекислого газа мало чем отличаются от транспортировки таких соединений, как природный газ, они широко известны, и мы на них останавливаться не будем.

Потенциальными техническими видами **хранения** являются: геологическое хранение (в геологических формациях, таких как нефтяные и газовые месторождения, не имеющие промышленного значения угольные пласты и глубоко залегающие соленосные формации); хранение в океане (прямой выброс в столб океанской воды или в морскую впадину) и промышленная фиксация CO₂ в неорганических карбонатах (табл. 1).

Таблица 1

Источники промышленных выбросов CO₂

№ п/п	Процесс	Количество источников	Выбросы CO ₂ , млн.т в год
1.	Ископаемое топливо		
1.1.	Энергетика	4942	10539
1.2.	Производство цемента	1175	932
1.3.	Нефтеочистительные заводы	638	798
1.4.	Сталелитейная промышленность	269	646
1.5.	Нефтехимическая промышленность	470	379
1.6.	Другие источники	90	83
2.	Биомасса		
2.1.	Биоэтанол и биоэнергетика	303	91
	ИТОГО:	7887	13468

Использование углекислого газа (примерно 120 млн.т в год) основано на известных технологиях: производство мочевины, метанола, в холодильном оборудовании, при упаковке пищевых продуктов, в напитках и огнетушителях.

К настоящему времени разработан целый ряд приемов, методов и технологий по **извлечению** CO₂ из газовых выбросов предприятий; улавливание CO₂ из воздуха, которым дышат экипажи в подводных лодках и космических кораблях. К основным методам по улавливанию CO₂ из газового потока можно отнести применение жидкого растворителя – моноэтаноламина, обработка первичного топлива в реакторе потоком, насыщенным воздухом или кислородом для создания смеси, состоящей главным обра-

зом из оксида углерода и водорода, так называемый «синтетический газ». Кроме того, применяются химические растворители, мембраны, твердые сорбенты и криогенное разделение. Такими способами можно улавливать до 80–90 % выбрасываемого CO_2 . Но большая часть образующегося углекислого газа на планете не может быть уловлена человеком (извержение вулканов, разложение органических веществ, дыхание растений и животных) и тогда встает вопрос об уменьшении его содержания в атмосфере Земли. Можно, конечно, увеличить площадь лесных насаждений, абсорбирующих углекислый газ, но леса вырубают так интенсивно, что на Земле просто не хватит площадей для этой цели.

Ученые многих стран предлагают свои **методы улавливания** углекислого газа из атмосферы. Среди таких предложений есть интересные, но мало реальные:

– Окружить всю планету по экватору космическими спутниками, отбрасывающими тень и отражающими солнечные лучи, предлагает ученый Роджер Энджел [1]. Он уверен, что достаточно загородить от солнечных лучей участок диаметром в две тысячи километров, создав тень площадью около 300 млн га. Крылья спутников будут зеркальными, чтобы отбрасывать солнечные лучи обратно в космос.

– Построить аэрозольный щит от солнца хотят ученые российского НПО «Тайфун» [2]. Они проводят эксперименты с различными видами аэрозолей в особой климатической камере, чтобы понять, какой из них лучше защитит планету от излишнего нагревания. Мелкие капли аэрозоля будут отражать солнечные лучи и, как туман, не давать солнцу «жарить» слишком сильно. Известно, что эффективно охлаждают Землю выбросы вулканов, насыщенные диоксидом серы. Однако это вещество вредное, может разрушить озоновый слой. Как защитить озоновый слой от серной кислоты, в которую превратится диоксид серы в смеси с облаками? Ученые из Гарварда предлагают решение простое, как все гениальное – карбонат кальция. «Фактически, это антациды для стратосферы», – прокомментировал один из соавторов исследования Франк Койч. Создатели планируют добавлять аэрозоль в топливо самолетов.

– Превращение диоксида углерода в ценные химические вещества, такие как метан, привлекает большое внимание специалистов для использования в поддержке программ CCS (захвата и утилизации углерода) [3]. Например, некоторые заводы в Германии уже работают на основе концепции Power to Gas (энергия в газ), которая позволяет аккумулировать и транспортировать энергию от электричества в виде сжатого газа.

– Большинство методов удаления углекислого газа из потока газа требуют более высоких концентраций, таких как те, которые присутствуют в дымовых выбросах электростанций на основе ископаемого топлива. Было

разработано несколько вариантов, которые могут работать с низкими концентрациями, существующими в воздухе, но новый метод, разработанный в MIT, значительно менее энергоемкий и дорогостоящий [4]. Метод, основан на пропускании воздуха через пакет заряженных электрохимических пластин. Само устройство представляет собой большую батарею, которая поглощает углекислый газ из воздуха, проходящего через ее электроды, когда она заряжается (заполняется CO_2), а затем выпускает CO_2 в процессе разрядки.

При зарядке аккумулятора CO_2 на поверхности каждого электрода происходит электрохимическая реакция. Электроды покрыты соединением, называемым полиантрахиноном, находящимся в виде нанотрубок. Такие электроды имеют естественное сродство к углекислому газу и легко реагируют с его молекулами в газовом потоке, даже когда он присутствует в очень низких концентрациях. Обратная реакция происходит, когда аккумулятор CO_2 разряжается и в процессе выходит поток чистого углекислого газа. Вся система работает при комнатной температуре и атмосферном давлении. Это бинарное сродство позволяет захватывать углекислый газ при любой его концентрации в смеси газов, в том числе при концентрации 400 частей на миллион, как в атмосферном воздухе, и позволяет выпускать его в любой поток, в том числе в поток 100 % CO_2 .

Исследователи создали компанию под названием Verdox для коммерциализации разработанного ими процесса и надеются создать опытно-промышленную установку в течение ближайших нескольких лет.

– Японские ученые нашли новый способ, который поможет бороться со все увеличивающейся концентрацией углекислого газа в земной атмосфере. Ключом этого способа является специальный пористый полимерный материал (porous coordination polymer, PCP), наполненный ионами цинка, который эффективно поглощает CO_2 из атмосферы и, не расходуя большого количества энергии, трансформирует его в полезные органические соединения. Наличие ионов цинка в полимере PCP позволяет этому материалу поглощать атмосферный углекислый газ в 10 раз более эффективно, нежели это могут делать другие подобные материалы. Более того, PCP-полимер поддается процедуре регенерации, опытные его образцы выдерживали без потери эффективности около 10 восстановительных циклов.

– Новый материал способен улавливать молекулы диоксида углерода (CO_2) и преобразовывать их в полезные органические материалы. Его разработали исследователи Киотского университета совместно с коллегами из Токийского университета и Цзянсуйского университета в Китае [2]. Исследователи разработали новый пористый материал – пористый координирующий полимер, состоящий из ионов цинка. Ученые протестировали свой материал с помощью рентгеновского структурного анализа и обна-

ружили, что он может селективно улавливать только молекулы CO_2 . После улавливания углерода преобразованный материал может быть использован для производства полиуретана, материала с широким спектром применений – из него можно сделать одежду, бытовую технику и упаковку.

По сообщению информационного агентства NHK, министерством охраны окружающей среды Японии принято решение начать со следующего года работы по выделению и сбору диоксида углерода непосредственно из атмосферы. При этом полученные вещества затем будут использовать как сырье в различных целях.

В настоящее время уже предложен наиболее дешевый способ улавливания углекислого газа [5]. Аризонский университет (ASU) и компания Silicon Kingdom Holdings (SKH) заключили соглашение о внедрении технологии очистки воздуха от углекислого газа с помощью «механических деревьев».

Устройства, разработанные профессором ASU Клаусом Лакнером, работают как «механические деревья», которые, фильтруя потоки ветра, улавливают молекулы углерода и позволяют его сохранить для повторного использования. В отличие от существующих способов борьбы с вредными выбросами, технология улавливает углерод из атмосферы без механического всасывания воздуха, не используя энергоемкие устройства. Вместо этого происходит фильтрация естественных потоков воздуха, на которые реагируют заполненные сорбентом диски. По словам разработчиков, технология предлагает наиболее дешевый способ улавливания CO_2 – менее 100 долларов за тонну.

Технологию планируют внедрять кластерами, каждый из которых состоит из 12 «деревьев», способных удалять CO_2 в объеме до одной тонны в сутки. Систему протестируют на экспериментальной ферме, мощность которой составит до 100 тонн CO_2 в сутки. Затем планируется несколько ферм, мощность каждой из которых составит до 3,8 млн тонн углерода в год. Улавливание и хранение углерода позволяет бороться с глобальным потеплением и загрязнением окружающей среды.

Литература

1. Кривоченко, М. Сокращение выбросов не замедлило изменение климата [Электронный ресурс] / М. Кривоченко // Naked Science – 2020 – № 51. – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/sci/sokrashhenie-vybrosov-ne-zamedlilo-izmenenie-klimata>. – Дата доступа: 10.04.2021.

2. Wu, P. Carbon dioxide capture and efficient fixation in a dynamic porous coordination polymer [Electronic resource] / Pengyan Wu, Yang Li, Jia-Jia Zheng [etc.] // Nature Communications – volume 10, Article number: 4362

(2019) – Mode of access: <https://gisprofi.com/gd/documents/novyy-material-ulavlivaet-uglekislyj-gaz.html>. – Date of access: 10.04.2021.

3. Kensei, Y. Low-temperature Conversion of Carbon Dioxide to Methane in an Electric Field [Electronic resource] / Kensei Yamada, Shuhei Ogo, Ryota Yamano [etc.] // Chemistry Letters – 2020/ – Vol.49, No.3. – Mode of access: <https://www.journal.csj.jp/doi/10.1246/cl.190930>. – Date of access: 10.04.2021.

4. Chandler, D. MIT engineers develop a new way to remove carbon dioxide from air / David Chandler / MIT News Office. – October 24, 2019. – Mode of access: <http://news.mit.edu/2019/mit-engineers-develop-new-way-remove-carbon-dioxide-air-1025>. – Date of access: 10.04.2021.

5. Lackner, K. Powerful 'mechanical trees' can remove CO₂ from air to combat global warming at scale / Klaus Lackner // ASU News – April 29, 2019 – Mode of access: <https://asunow.asu.edu/20190429-solutions-lackner-carbon-capture-technology-moves-commercialization>. – Date of access: 10.04.2021.

УДК 697.9

Оценка эффективности организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания в условиях загрязненного атмосферного воздуха крупных городов

Зафатаев В. А., Ланкович С. В.
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Республика Беларусь

Определены условия работы и энергоэкономичность системы организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания, в которой для подогрева приточного воздуха используется теплота солнечного излучения и теплота удаляемого из помещений воздуха. При расчете количества лучистой теплоты, воспринимаемой зданием, учтено состояние загрязнения атмосферного воздуха, характерное для крупных городов.

Введение. Современное состояние мирового энергетического сектора характеризуется высокими темпами роста энергопотребления и соответствующим увеличением дефицита энергоресурсов. В Беларуси, где энергоемкость валового внутреннего продукта существенно выше, чем у других развитых стран, это имеет особое значение, и поднимает статус энергосбережения на уровень государственной политики.

Главным направлением в решении проблем энергосбережения является разработка энергосберегающих процессов, схем, установок, технологий. Наиболее остро проблема энергосбережения проявляется в конечном по-

треблении секторами национальной экономики тепловой энергии, – ее доля в топливно-энергетическом балансе составляет до 33 %, причём доля конечного теплопотребления в секторе промышленности и в жилищном секторе составляет 37 и 38 % соответственно [1].

Тепловая энергия для Беларуси не является импортируемым ресурсом. Для обеспечения потребностей в тепловой энергии стране требуются первичные ресурсы для ее производства, которые требуется импортировать по причине малой обеспеченности собственных недр и экономической нецелесообразности их добычи и переработки в конечный вид, пригодный для непосредственного использования. Причиной высокого уровня потребления тепловой энергии является, в том числе, устаревшее, часто физически изношенное оборудование с низким показателем эффективности. Не является исключением и оборудование, используемое в системах создания и поддержания параметров микроклимата в зданиях различного назначения – отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Таким образом, для повышения эффективности теплоиспользующих систем и установок необходимо рассмотреть возможность их модернизации с вовлечением вторичных и возобновляемых энергетических ресурсов – солнечной радиации, бытовых тепловыделений и др.

Для повышения эффективности энергопотребления в зданиях на нужды отопления и вентиляции предлагается система приточно-вытяжной вентиляции, в которой реализована возможность использования возобновляемых и вторичных энергетических ресурсов [2, 3]. В дневное время суток в течение отопительного периода в предлагаемой системе осуществляется подогрев воздуха в щелевом канале 1, образованном наружным светопрозрачным вентилируемым фасадом 2 и наружной поверхностью стен 3 здания под действием солнечного излучения. При движении по щелевому каналу воздух аккумулирует теплоту солнечного излучения, в том числе отраженную от наружной поверхности стены. Также в системе осуществляется передача теплоты от греющего теплоносителя – вытяжного воздуха – к нагреваемому приточному воздуху в прямоточном теплообменнике 4–5 типа «труба в трубе», оборудованном в нижней части устройством дополнительного подогрева воздуха 20, содержащим электронагреватель 17 и тепловую пушку с газовой горелкой 18.

Конструктивное решение предлагаемой системы вентиляции поясняется схемой на рис. 1.

Известно, что загрязненный продуктами сгорания топлива атмосферный воздух характеризуется более высокой оптической плотностью, ухудшающей условия инсоляции и пропуск инфракрасного излучения. Кроме того, пылевые и сажевые микрочастицы, витающие в воздухе, способны оседать на поверхности светопрозрачных элементов зданий, снижая

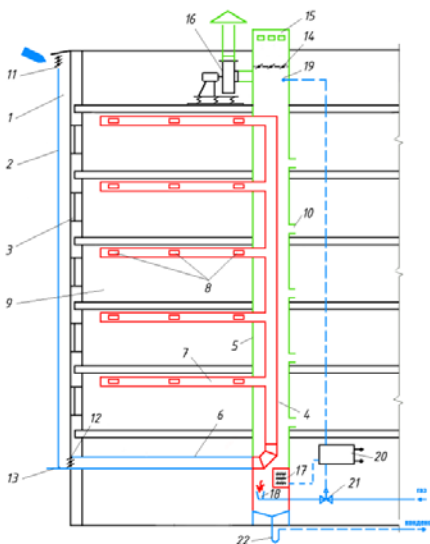


Рис. 1. Система приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания

степень их светопропускания. Задачей настоящего исследования являлось определение энергетической эффективности предлагаемой системы вентиляции в условиях загрязнения атмосферного воздуха крупных городов. Отметим, что энергетическая эффективность предлагаемой системы вентиляции в условиях чистого атмосферного воздуха определена ранее [2]. Теоретические предпосылки и описание исходных данных также представлены в работе [2]. Дополнительным условием для настоящего исследования является введение в расчет факторов, учитывающих условия загрязнения атмосферы и затенение остекления светопро-

зрачного навесного фасада, образующего вместе с наружной стеной здания щелевой канал для прохода приточного воздуха.

Как было отмечено ранее [2] определить величину экономии энергии на нужды отопления и вентиляции здания отдельно по каждому месяцу в отопительном периоде за счет эксплуатации в здании предлагаемой системы вентиляции затруднительно, поскольку установить взаимосвязь между помесечной продолжительностью солнечного сияния и температурой наружного воздуха не представляется возможным. Для решения указанной проблемы разработан следующий подход [2]: величину помесечной экономии энергии на нужды отопления и вентиляции здания определили в виде доли от общей экономии энергии на соответствующие нужды в отопительный период, где в качестве коэффициента пропорциональности принято отношение продолжительности солнечного сияния в часах по каждому месяцу отопительного периода к среднему количеству часов в месяце отопительного периода. Так, для г. Полоцка, согласно разработанному методу, длительность солнечного сияния в октябре составила 10,7 % от среднемесячного времени работы предлагаемой системы вентиляции, в ноябре – 4,2 %, в декабре – 3,0 %, в январе – 5,3 %, в феврале – 8,3 %, в марте – 14,9 %.

На рис. 2 показано изменение величин возможной экономии энергии на нужды отопления и вентиляции здания за счет применения предлагаемой системы вентиляции (при наличии устойчивого солнечного облучения) и величин затрат энергии на нужды отопления и вентиляции (в случае отсутствия или неиспользования нетрадиционных средств рекуперации тепловой энергии, которыми оснащена предлагаемая система вентиляции) в зависимости от температуры наружного воздуха для условий чистой атмосферы и для условий загрязненного атмосферного воздуха в крупных городах.

При температурах наружного воздуха от $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше, при наличии устойчивого солнечного облучения здания в условиях чистой атмосферы расчетная величина экономии энергии за счет использования теплоты солнечной радиации и теплоты удаляемого воздуха в предлагаемой системе вентиляции будет превышать затраты энергии на нужды отопления и вентиляции аналогичного здания, не оснащенного предлагаемой системой.

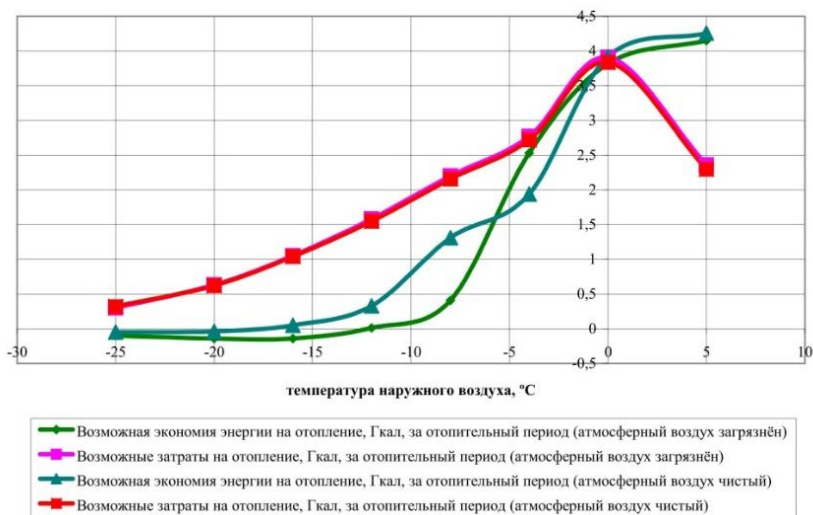


Рис. 2. Возможная экономия и затраты энергии на нужды отопления и вентиляции, Гкал, за отопительный период в расчете на одну солнцеприемную панель девяти типовых жилых комнат

В условиях загрязненной атмосферы и при наличии устойчивого солнечного облучения здания предлагаемая система вентиляции будет обеспечивать и поддерживать допустимые условия микроклимата без необходимости использования дополнительных энергопотребляющих устройств

только при температурах наружного воздуха от +2,1 °С и выше. При температурах наружного воздуха от –18 °С и ниже в условиях чистой атмосферы и при температурах от –14 °С и ниже в условиях загрязненной атмосферы экономический эффект за счет использования в предлагаемой системе вентиляции тепловой энергии возобновляемых и вторичных источников отсутствует. В эти периоды в здании условия микроклимата необходимо обеспечивать за счет задействования в предлагаемой системе вентиляции устройств дополнительного подогрева воздуха.

Максимальные затраты энергии на нужды отопления и вентиляции в отопительный период по зданию без средств рекуперации тепловой энергии или в случае полного отсутствия солнечного облучения могут составить 14,55 Гкал (1148,90 бел. руб.) в условиях чистой атмосферы и 14,80 Гкал (1171,70 бел. руб.) в условиях загрязненной атмосферы, а максимальная экономия энергии на нужды отопления и вентиляции за отопительный период в аналогичном здании с предлагаемой системой вентиляции в случае наличия устойчивого солнечного облучения составит 11,72 Гкал (928,43 бел. руб.) в условиях чистой атмосферы и 10,54 Гкал (835,27 бел. руб.) в условиях загрязненной атмосферы. Реальная же экономия в расчете на одну солнцеприемную панель девяти типовых жилых комнат за 385 часов солнечного сияния (по г. Полоцку) в течение отопительного периода составляет 0,916 Гкал (72,56 бел. руб.) в условиях чистой атмосферы и 0,824 Гкал (65,28 бел. руб.) в условиях загрязненной атмосферы. Таким образом, чем больше время солнечного сияния и чем чище атмосферный воздух, тем выше величина экономии энергии в предлагаемой системе вентиляции (в целом, согласно приведенным выше значениям, предлагаемая система вентиляции работает экономичнее на 11 % в условиях чистой атмосферы).

Литература

1. Энергетический баланс Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведа (отв. ред.) [и др.] / Мн., 2017. – 153 с.
2. Зафатаев, В. А. Термодинамическое обоснование применения системы приточно-вытяжной вентиляции зданий с утилизацией теплоты удаляемого воздуха в условиях ее работы при низких температурах наружного воздуха / В. А. Зафатаев, С. В. Ланкович, А. С. Лапезо // Электронный сборник статей II международной научной конференции «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации», Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 / Полоцкий государственный университет; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2020. – С. 499–513.
3. Устройство тепловой вентиляции: изобр. 22969 / В. И. Липко, В. А. Зафатаев, С. В. Ланкович. – Опубл. 30.06.2020.

Особенности современного проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий

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

Рассмотрены проблемы, возникающие при проектировании СО, СВ и КВ высотных зданий, а также современные подходы к проектированию инженерных систем.

Введение

Высотное строительство зародилось в XIX–XX вв. в США, а уже во второй половине XX в. получило свое развитие в Европе. В конце XX века, строительство высотных зданий распространилось на крупнейшие города всех континентов и особо активно на города Юго-Восточной Азии.

Высотными принято называть здания, высота которых более 75 м (около 25 этажей). Данные здания могут иметь разное назначение: гостиницы, офисы, жилые дома и т. д. Часто, высотные здания являются многофункциональными и помимо помещений основного назначения могут содержать магазины, офисы, кинотеатры и другие функциональные структуры.

Размещение высотных объектов в крупных городах напрямую связано с планами их градостроительного развития, структурой застройки, их конструктивными системами, объемно-планировочными и композиционными решениями.

Проблемы проектирования инженерных систем

При проектировании высотного здания возникают серьезные проблемы, которые имеют место при проектировании инженерных систем:

1. Проектирование систем вентиляции, отопления, кондиционирования высотных зданий значительно отличается от проектирования этих систем для многоэтажных зданий, из-за значительного влияния наружных климатических воздействий.
2. Каждое высотное здание является уникальным и принятые решения не могут быть использованы для других проектов без дополнительных исследований.

Естественная вентиляция помещений.

Использование естественной вентиляции в высотных зданиях затрудняется, так как ветровое давление и гравитационные силы имеют высокие значения. Воздухообмен воздуха в высотных зданиях, как правило, регулируется системой кондиционирования воздуха.

Однако в последние годы были проведены многочисленные исследования, которые позволили разработать конструктивные решения по применению естественной вентиляции. Данные решения были реализованы в здании Main Tower.

Естественная вентиляция имеет ряд преимуществ по сравнению с кондиционированием воздуха. Например, ощущение улучшения микроклимата людей при долговременном пребывании в помещении, а также снижение прямых и косвенных затрат энергии на климатизацию здания (применение естественной вентиляции в ночное время позволяет охладить массивные ограждающие конструкции, что в итоге приводит к снижению общего и пикового расхода электроэнергии).

Конструкция окон здания Main Tower позволяет в теплый период года использовать естественную вентиляцию (рис. 1). Для обеспечения естественной вентиляции оконные створки располагаются параллельно фасаду. Створки выдвигаются на расстояние от 1 до 200 мм в зависимости от наружного климата (температуры воздуха и скорости ветра). Выдвижение оконных створок происходит автоматически в зависимости от погодных условий или регулируется индивидуально.

В здании «Городские ворота Дюссельдорфа» естественное проветривание обеспечивает конструкция двойного фасада и наличие поэтажного открытого прохода по периметру здания (рис. 2).



Рис. 1. Окна здания «Main Tower»

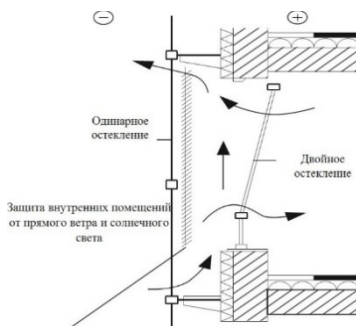


Рис. 2. Принципиальная конструкция двойного фасада

Двойной фасад состоит из внешней и внутренней части. Во внешней части расположены отверстия для притока наружного воздуха и удаления отработанного, а также для проветривания промежуточного пространства и естественной вентиляции помещений. Открывающиеся секции внутрен-

ней части имеют рамную конструкцию с двойным остеклением, что обеспечивает снижение теплопотерь в зимнее время.

Особенности устройства системы отопления высотных зданий

Системы отопления для высотных зданий разделяют на вертикальные и горизонтальные. Вертикальная разводка применяется в зданиях с единым учетом теплопотребления. В свою очередь вертикальная разводка может быть как с нижним расположением подающей магистрали, так и с верхним (рис. 3, 4). В последнее время первые получили наиболее широкое распространение. Так в multifunctional высотных жилых домах «Алые паруса», «Воробьевы горы» и т. д. предусмотрены двухтрубные системы водяного отопления с вертикальными стояками с нижней разводкой по техническому этажу и тупиковым движением теплоносителя. Такие системы хорошо налаживаются, отличаются простой в обслуживании и устойчивой работой [1].

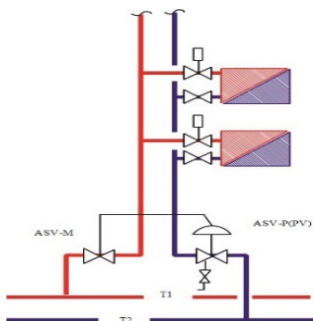


Рис. 3. Схема двухтрубной системы водяного отопления с вертикальными стояками с нижней разводкой магистрали

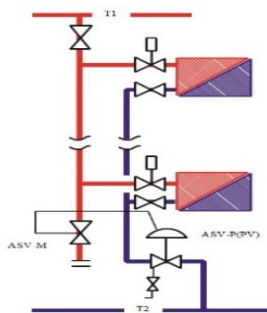


Рис. 4. Схема двухтрубной системы водяного отопления с вертикальными стояками с верхней разводкой

Одним из недостатков вертикальной системы является тот факт, что располагаемое давление отопительного прибора каждого этажа различно из-за гравитационного давления [2]. Избежать данную проблему практически невозможно, даже используя автоматические регуляторы перепада давления на стояках. Кроме того, невозможно организовать учет теплопотребления каждым потребителем. Единственным вариантом является применение распределителей теплоты на каждом отопительном приборе.

Избежать перечисленных недостатков позволяет горизонтальная система (с поквартирной или поэтажной разводкой (рис. 5)).

Такие системы обладают рядом преимуществ по сравнению с вертикальными системами. Применение поквартирной системы позволяет:

нятого решения. Причем для нижней зоны высотного здания можно использовать опыт обычных многофункциональных зданий.

При проектировании высотных зданий применяют три варианта компоновки систем вентиляции и кондиционирования воздуха:

– Децентрализованная поэтажная компоновка, при которой все оборудование располагается на рабочем этаже, и отсутствуют вертикальные вентиляционные каналы.

– Централизованная компоновка с техническим этажом, при которой рабочее оборудование располагается на техническом этаже и обслуживает несколько рабочих этажей вверх или вниз вертикальными каналами.

– Комбинированная компоновка.

В высотных зданиях проблемой является размещение приемных устройств для наружного воздуха и для выброса воздуха. Эти устройства можно размещать в одном уровне технического или обслуживаемого этажа на одном фасаде с не открываемыми при эксплуатации окнами на расстоянии между ними:

– Не менее 10 м по горизонтали и не менее 6 м по вертикали.

В высотных зданиях можно размещать в одном помещении при поэтажной компоновке или на техническом этаже без перегородок приточные или вытяжные вентиляционные системы, центральные кондиционеры, холодильное оборудование, насосы, теплообменники систем теплоснабжения и отопления и другие оборудования, за исключением противодымных систем [4].

Заключение

Широкий круг и высокая сложность решаемых инженерных задач при строительстве многоэтажных и высотных зданий, требует специального исследования и детального изучения каждого конкретного объекта и поиска оптимальных решений.

Литература

1. Инженерное оборудование высотных зданий / под общ. ред. М. М. Бродач. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2011. – 458 с.
2. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
3. СТО 01422789-001–2009. Проектирование высотных зданий
4. Колубков, А. Н. Инженерное оборудование современных жилых зданий в Южной Корее / А. Н. Колубков, Н. В. Шилкин // АВОК, 2008. – № 7.

Моделирование работы систем естественной вентиляции жилых зданий с установленными механическими кухонными вытяжками

Борухова Л. В.¹, Летун Е. А.², Шибeko А. С.³

¹Белорусский национальный технический университет

²ООО «БИМ МАШИН»

³ООО «НефтеХимДиагностика»

Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты натурных исследований и математического моделирования систем естественной вытяжной вентиляции и воздухообмена жилых квартир при установке кухонных вытяжек с принудительным отводом воздуха в общий вентиляционный канал.

Во многих квартирах жилых зданий в Республике Беларусь практикуется присоединение кухонных вытяжек с принудительным отводом воздуха к каналу вытяжной естественной общеобменной вентиляции. Площадь сечения этого канала рассчитана только на общеобменную вентиляцию. С 1958 года норма удаления воздуха из кухни не изменялась и составляет для кухонь с электрическими плитами – 60 м³/ч, с газовыми: 60 м³/ч – для двухконфорочной плиты; 75 м³/ч – для трехконфорочной плиты; 90 м³/ч – для четырехконфорочной плиты [1].

Проведенный анализ нормативных и технических документов других стран для сравнения принципов организации воздухообмена и норм воздухообмена показывает, что в некоторых странах выделяется отдельная норма для непрерывно и периодически действующей вентиляции (так, в США – 90 м³/ч непрерывно и 180 м³/ч периодически действующей вентиляции).

Результаты обследований систем вентиляции квартир жилых домов различных проектов, в том числе и в рамках договора о научно-исследовательской работе № 35-19 от 15.07.2019 г. «Исследование влияния установки оконных герметичных стеклопакетов и установки кухонных вытяжек с принудительным отводом воздуха в общий вентиляционный канал на работу газоиспользующего оборудования» показывают ряд конструктивных недостатков и дефектов эксплуатации систем вентиляции, которые приводят к недостаточному воздухообмену или полному его отсутствию [2, 3].

Воздухообмен кухонь одного из обследуемых жилых зданий представлен на рис. 1.

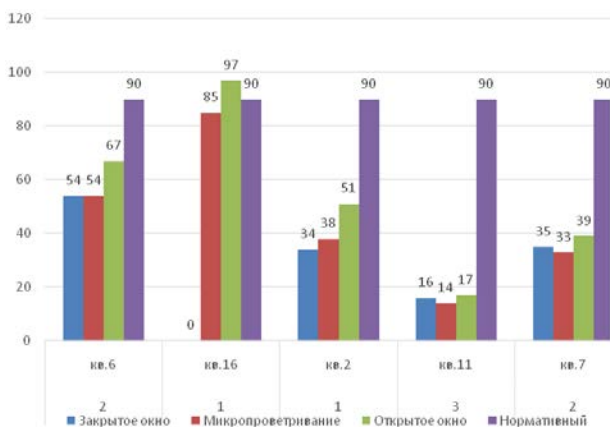


Рис. 1. Воздухообмен ($\text{м}^3/\text{ч}$) кухня трехэтажного жилого дома

При проведении исследований контролировалась концентрация углекислого газа в наружном воздухе и воздухе помещений (рис. 2).

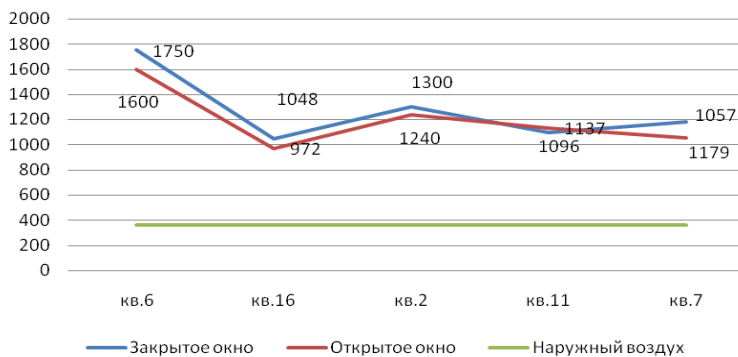


Рис. 2. Концентрация CO_2 (ppm) в квартирах трехэтажного жилого дома

Приведем данные воздухообмена одной из квартир, где установлена кухонная вытяжка. Воздуховод от кухонной вытяжки проложен за подвесным потолком и подключен к вытяжному каналу над вентиляционной решеткой. При включении вытяжки в вентиляционной вытяжной решетке наблюдается обратный поток воздуха (рис. 3).

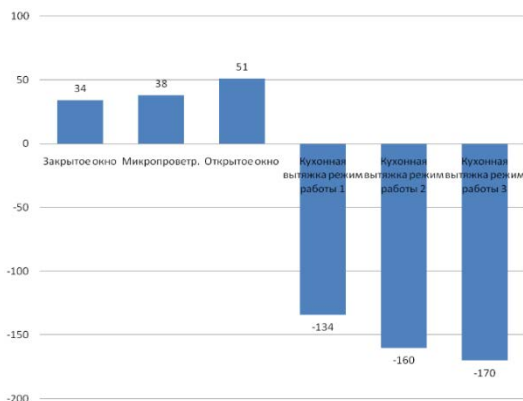


Рис. 3. Расход удаляемого воздуха (м³/ч) на кухне квартиры № 2 при отключенной и включенной вытяжке

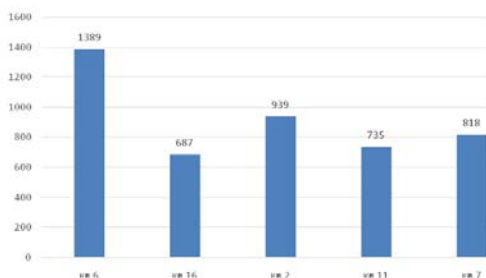


Рис. 4. Превышение содержания CO₂ (ppm) в квартирах трехэтажного сверх содержания в наружном воздухе

Превышение содержания CO₂ (ppm) в квартире № 2 с установленной кухонной вытяжкой сверх содержания в наружном воздухе составило 939 ppm. Качество воздуха в этой квартире относится к классу 3 с допустимым, но близким к низкому качеству воздуха в соответствии с классификацией ГОСТ 30494 [4].

Было проведено моделирование процессов удаления воздуха из кухни при различных режимах включения кухонной вытяжки.

Для моделирования использован пакет программ Ansys Fluent. В качестве граничных условий приняты: скорость воздуха в воздуховоде от вентилятора кухонной вытяжки, давление воздуха в помещении, давление воздуха в вытяжном канале.

На рис. 5, 6 представлены результаты моделирования процессов естественной вентиляции для помещений 1-го и 5-го этажей при выключенном вентиляторе кухонной вытяжки.

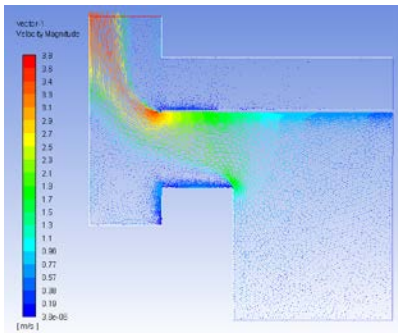


Рис. 5. Результаты моделирования первый этаж ($p_{гр} = 8,0$ Па, $v = 0$ м/с)

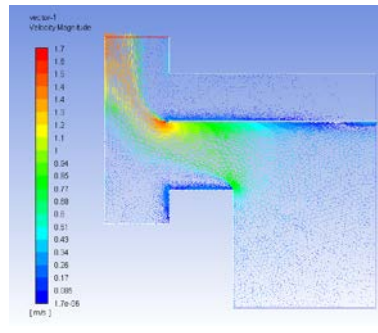


Рис. 6. Результаты моделирования пятый этаж ($p_{гр} = 1,4$ Па, $v = 0$ м/с)

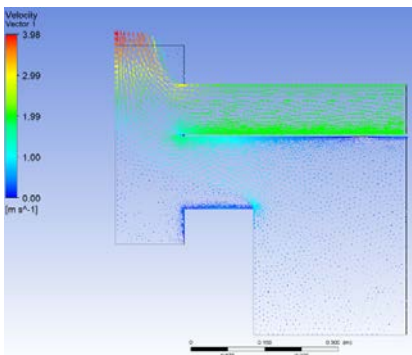


Рис. 7. Результаты моделирования ($p_{гр} = 8,0$ Па, $v = 2$ м/с)

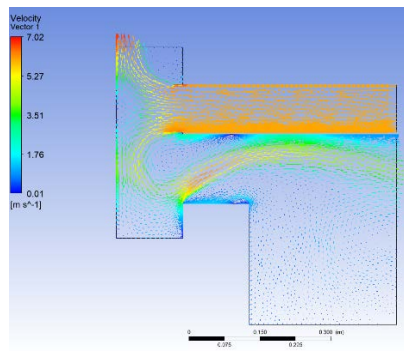


Рис. 8. Результаты моделирования ($p_{гр} = 1,4$ Па, $v = 6$ м/с)

Моделирование процессов показывает наличие обратного потока воздуха через вентиляционную решетку общеобменной вентиляции в помещение (рис. 8). Только при небольшой производительности кухонной вытяжки и скорости движения воздуха в воздуховоде до 2 м/с в помещениях нижних этажей (рис. 7) обратный поток отсутствует.

Литература

1. СН 45-3.02-01–2019 Жилые здания. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 21 с.

2. ТКП 629–2018 Техническая эксплуатация дымовых и вентиляционных каналов жилых домов. Организация и порядок проведения. – Минск: Минжилкомхоз, 2018. – 29 с.

3. Борухова, Л. В. Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // Наука и техника. – Т. 17. – 2018. – № 4. – С. 306–313.

4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. – Взамен ГОСТ 30494–96; введ. 01.01.19. – Минск: Госстандарт, 2018. – 15 с.

УДК 697.132.2

Управление параметрами теплоносителя систем отопления на основе метеоданных

Мешик К. О.

Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

На основании разрабатываемого подхода управления параметрами теплоносителя систем отопления при помощи метеоданных установлены факторы, определяющие экономическую целесообразность внедрения технологии.

Современные системы отопления позволяют самостоятельно устанавливать режимы тепловыделений в помещения, что способствует адаптации под метеорологическую ситуацию за пределами помещения.

Тарифная ставка на субсидируемую тепловую энергию для нужд отопления и горячего водоснабжения сохраняет динамику увеличения (на 40,45 % к концу 2021 года за последние пять лет). В то же время тариф на тепловую энергию, обеспечивающий полное возмещение экономически обоснованных затрат, вырастет на 17,69 % в рамках пятилетнего периода (табл. 1) [1]. Подобная тенденция актуализирует внедрение энергосберегающих технологий в сфере теплоснабжения.

Наиболее перспективным средством достижения рационализации затрат в процессе поддержания работоспособности систем в требуемом исполнении является автоматизированное управление параметрами теплоносителя. Экономическая выгода, закладываемая в алгоритмы работы системы, во всех случаях сводится к снижению общих затрат на выработку теплоты. С момента внедрения автоматизированных систем управления, системы отопления получили возможность тонко балансировать между критериями экономичности и комфорта в зависимости от предпочтений теплопотребителя.

Таблица 1

Ценовые показатели за пользование тепловой энергией 2017–2021 гг.

Год	Месяц	Субс. тариф, ВУН/Гкал	Эконом. обосн. тариф, ВУН/Гкал
2017	январь	15,6098	91,18
	март	15,6722	
	сентябрь		
2018	январь	16,9259	81,42
	декабрь		
2019	январь	18,4831	88,99
	июнь		
2020	январь	20,6216	92,25
	июнь		
2021	январь	21,9245	107,31
	июнь		

Терморегулирующие технологии позволяют устанавливать параметры теплоносителя в экономически обоснованных пределах. Сегодня одним из наиболее перспективных решений рационализированного управления системами отопления является автоматизированная настройка температур в подающем и обратном трубопроводе с привязкой к температуре наружного воздуха.

Погодозависимая автоматика становится все более актуальным решением в жилищном секторе. Экономия за счет привязки к текущим температурным условиям является существенной, особенно в долгосрочной перспективе использования. Однако, современные решения ограничиваются применением датчиков фактического измерения температуры и передачи получаемых значений на блок управления. Такая система отопления работает по принципу адаптации к предстоящим изменениям в текущий момент времени, что является достаточно эффективным решением, но не учитывает тепловую инерционность помещения

Таким образом, подчеркивается необходимость разработки средства минимизации затрат на поддержание работоспособности системы в требуемом виде во временном периоде отопительного сезона, принципиальная особенность которого заключается в экономии энергоресурсов, расходуемых на подготовку теплоносителя, с сохранением критерия оптимальности по отношению к микроклиматическим параметрам. Данный эффект достигается благодаря применению метеопрогностического подхода. Система отопления сможет работать в режиме упреждающего регулирования.

Временной период, закладываемый в основу упреждающего регулирования на основе применения метео данных, должен предусматривать воз-

возможность полного перехода микроклиматического состояния объекта эксплуатации системы отопления, обоснованного прогнозируемым температурным значением наружного воздуха в конкретно заданной географической точке. Таким образом, экономически обоснованным фактором подобного управления является объемная составляющая теплопотребления. В рамках данного исследования испытания проводились на основе одноквартирного жилого дома в г. Бресте.

В качестве временного цикла необходимо предусматривать такой промежуток времени, чтобы теплоноситель имел возможность оказать свое воздействие во временных пределах интервала обновления данных. Существует необходимость дополнительного учета потерь теплоты через ограждающие конструкции и бытовые теплоизбытки, расхода теплоты на подогрев инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции, гистерезиса элементов системы отопления, общего объема теплопотребления [2].

Для рассматриваемого объекта эксплуатации период подготовки теплоносителя составил 180 минут, во временные пределы которого входит учет тепловой инерционности здания.

Температура воздуха в пределах февраля 2021 года для города Бреста среднесуточно колебалась от 8,2 °С до -13,4 °С (рис. 1). Максимальное различие в данном интервале составило 12,8 °С, а максимальное изменение в трехчасовом диапазоне – 9,3 °С. Установлена доступность адаптации параметров теплоносителя к новому режиму эксплуатации в рамках выбранного временного цикла. Недельные среднесуточные колебания в период с 01.02.2021 по 07.02.2021 отражены на рис. 1.

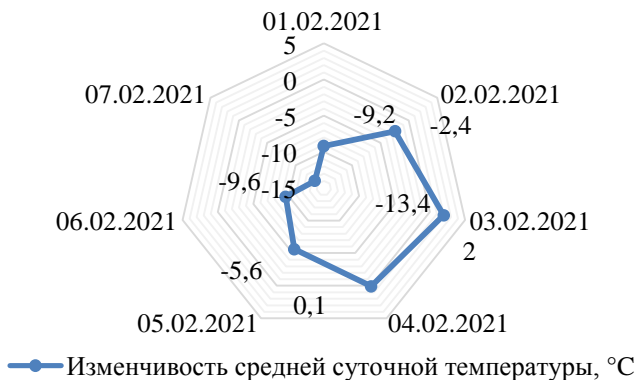


Рис. 1. Недельные колебания температуры воздуха

Данные показатели отображают экономическую целесообразность учета тепловых изменений климата во времени с целью экономии энергоресурсов в рамках управления параметрами теплоносителя.

С целью отражения экономической целесообразности изменения температурных режимов в подающем и обратном трубопроводе используются данные с наиболее значительными колебаниями температуры воздуха в 180 минутном интервале (табл. 2).

Таблица 2

Динамика изменения температуры в подающем и обратном трубопроводах на основе метеоданных (19.02.2021)

Время	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Тн, °С	-14	-14,4	-13,9	-7,3	-2,4	-1,6	-3,2	-2
Тп, °С	74,4	74,7	74,3	68,8	64,4	63,7	65,2	64,1
То, °С	61,9	62,1	61,8	58,7	55,9	55,5	56,4	55,7

Примечание: Тн – температура наружного воздуха; Тп – температура теплоносителя в подающем трубопроводе; То – температура теплоносителя в обратном трубопроводе.

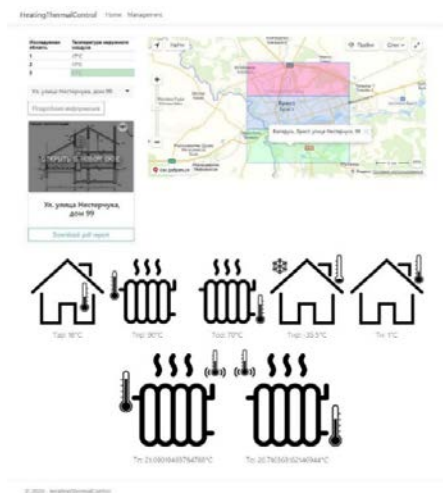


Рис. 2. Программный модуль управления параметрами теплоносителя

В рамках исследования разработан новый программный модуль, в основу которого включена возможность удаленного автоматизированного получения данных о температуре наружного воздуха напрямую со стороны передающего метеоцентра.

Также реализована возможность привязки к конкретным геокоординатам и получения метеоданных в рамках заданной территориальной области (рис. 2).

Используя программные средства, получили рабочее решение по нивелированию инерционности отопительной системы, а также улучшению экономического эффекта от использования погодозависимой автоматики без потери комфортных усло-

использования погодозависимой автоматики без потери комфортных усло-

вий, благодаря использованию информации о температуре наружного воздуха не через внешние температурные датчики, а при помощи метеоданных.

Экономия энергоносителя в процессе работы системы отопления напрямую зависит от точности прогнозируемых значений. В трехчасовой перспективе точность температурных метеоданных около 95 %.

Литература

1. Тарифы в Беларуси. Действующие тарифы / 2021 Тарифы в Беларуси [электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://www.tarify.by>. – Дата доступа: 25.03.2021.

2. Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В. С. Северянин, К. О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 74–77.

УДК 620.92

Использование электроэнергии в системах теплоснабжения

Романюк В. Н., Станецкая Ю. А., Литвинюк В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены перспективы использования электроэнергии в системах теплоснабжения в современных условиях.

Введение. Изменения на рынке энергоресурсов, обострили проблему снижения финансовых затрат на энергообеспечение, в том числе, и в системах отопления. В Беларуси, в частности, рассматривается возможность использования электроэнергии на нужды отопления и горячего водоснабжения (ГВС) в жилых зданиях. Данное решение связано с необходимостью ослабить проблему дисбаланса генерации и потребления электроэнергии, обострившуюся до крайности в связи с предстоящим вводом в строй белорусской АЭС. Без решения соответствующей задачи обеспечения совпадения графиков генерации и потребления электроэнергии невозможна работа любой энергосистемы.

Согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь 01.03.2016 № 169 «Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции», планировалось до конца 2020 года установить на ТЭС и котельных, подчиненные «Белэнерго», а также не подчиненных ему котельных, электро-

котлы, суммарной мощностью равной мощности БелАЭС, которые, в этом случае, и потребляли в необходимом количестве избытки генерации электроэнергии, обеспечивая нормальный режим работы энергосистемы страны. Документ предусматривал к 2018 году на ТЭС «Белэнерго» установку электрокотлов мощностью до 535 МВт, на котельных «Белэнерго» – до 450 МВт, и на котельных, не входящих в состав «Белэнерго» – до 200 МВт. Суммарная мощность устанавливаемых электрокотлов, согласно плану, должна составить, по максимальным показателям мощности, $\approx 1,2$ ГВт. Реализация программы затруднена по комплексу причин, в том числе, из-за увеличенной удельной стоимости электрокотельных.

В этой связи, позже приняты ряд постановлений:

– Постановление Совета Министров Республик Беларусь от 31 декабря 2019 г. № 969 «О мерах по выполнению заданий по строительству жилых домов и объектов инженерной и транспортной инфраструктуры к ним на 2020 и 2021 годы» говорится об обеспечении строительства в каждом регионе и в Минске домов, использующих электроэнергию на нужды отопления и ГВС в размере 135 тыс. м², причем объемы строительства были расписаны по каждой административно-территориальной единице страны;

– Постановление Совета Министров Республик Беларусь от 28 января 2021 г. № 51 «О Государственной программе «Строительство жилья» на 2021–2025 годы», в которой также были указаны размеры строительства таких зданий: на 2018 год (5,7 тыс. м²), на 2019 год (8,8 тыс. м²). На 2021 год подобных показателей не приведено, при этом, указано, что с 2021 по 2025 год планируется поэтапное увеличение объемов строительства с акцентированием внимания на использование энергосберегающих решений при возведении многоэтажного жилья. Важным также является и стоимость производства или закупки электроэнергии. Для данных зданий важно, чтобы электроэнергия была дешевой. Известно, что для рентабельности электроэнергии с БелАЭС для нужд таких зданий необходимо чтобы 1 кВт·ч электроэнергии стоил меньше или столько же сколько сейчас стоит 1 кВт·ч тепловой энергии. Логично, что в стоимость 1 кВт·ч электроэнергии с БелАЭС будет входить не только стоимость ее выработки, но и стоимость логистики, топлива, обслуживания оборудования по ее доставке, амортизационные отчисления.

Когда речь заходит о логистике, то имеется в виду не стоимость перевозки аккумуляторов ж/д или автотранспортом, а стоимость построения электросетей высокого напряжения, которые могли бы подводиться к абсолютно каждому жилому зданию в стране. Понятно, что стоимость таких настолько разветвленных сетей высокого напряжения была бы достаточно высокой. Говоря о стоимости электроэнергии необходимо учесть средства, за которые эта станция была построена, эти средства необходимо будет

возвращать, поэтому этот долг обязательно будет включен в стоимость каждого кВт·ч электроэнергии, произведенного на ней. Из открытых источников известно, что эта сумма составляет 10 млрд. долларов США, что не может не сказаться на стоимости электроэнергии и может не позволить установить такие тарифы для населения, при которых строительство исследуемых зданий было бы выгодным. Прорабатывая полностью возможную стоимость электроэнергии, амортизация обязательно должна быть учтена, так как оборудованию необходимо обслуживание.

Сложности добавляет еще и то, что согласно Приложению к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 № 7 «Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года» было признано, что экспорт электроэнергии невозможен ни в одну страну ЕС, с которыми у нас есть общие границы, также невозможен в РФ из-за насыщенности их рынка собственной электроэнергией, экспорт в Украину возможен, но в этом документе также говорится, что даже теоретически это маловероятно. Все это важно, так как за счет экспорта можно было бы снизить стоимость электроэнергии на внутреннем рынке.

В 2016 году было принято Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 01.03.2016 № 169, которое сделало шаг в сторону снижения обозначенной проблемы путем изменения структуры электропотребления, путем увеличения использования электроэнергии в сфере отопления и теплоснабжения зданий. Данным постановлением в РБ была начата проектировка жилых домов, которые используют для систем отопления (СО) и ГВС электроэнергию. Такие дома, согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь, от 28 января 2021 г. № 51 О Государственной программе «Строительство жилья» на 2021–2025 годы, принято называть, согласно введенному в этом документе термину, электродомами.

Основные понятия. Электродом – жилой дом, в котором используется электрическая энергия для целей отопления, горячего водоснабжения и приготовления пищи. Под данное определение подпадают здания, использующие для целей отопления и горячего водоснабжения тепловая энергия, получаемую с водяным теплоносителем от электродомовых котлов.

На данный момент существует 3 схемы электроотопления зданий:

- электродома, в которых реализуется «сухая» система отопления и обеспечения ГВС;
- электродома, с электродомами в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП);
- электродома, с квартирной разводкой электрокабелей для СО и ГВС.

При «сухой» схеме в каждую квартиру прокладываются электрокабели, которые подводятся к электродомовому котлу для отопления помещения и к электрическому водоподогревателю ГВС. Данная система является самой

простой для проектировки и монтажа, а также простой в эксплуатации среди всех систем, использующих электроэнергию для нужд СО и ГВС. Основным недостатком данной системы является невозможность ее дальнейшей модернизации и увеличении ее энергосберегающих качеств.

Схема отопления с электродом в ИТП считается наиболее предпочтительной, поскольку системы и горячего водоснабжения, и отопления непосредственно в зданиях не отличается от традиционных на базе сетевой воды теплосетей. В ИТП здания находится электрод, который использует электроэнергию для нагрева воды для СО и ГВС. Достоинством такой системы считается возможность замены электрокотла, что важно, на котел с традиционным органическим топливом: газ, древесина и пр. Данная схема облегчает ее дальнейшее развитие в части энергосбережения, например, путем использования рекуператоров или тепловых насосов.

В третьей схеме электроотопления происходит разводка электрокабелей к электрическим водоподогревателям систем ГВС к электродом, устанавливаемым непосредственно в каждой квартире, от последних уже осуществляется разводка трубопроводов системы водяного отопления. Рассматриваемая схема по простоте близка к «сухой», но также проблематична в модернизации.

Сопряженные проблемы. Проектировка зданий, использующих энергосберегающие технологии в РБ, осуществляется на протяжении нескольких лет. Начало было положено за счет использования рекуперации в системах вентиляции, тепловых насосов (ТН) и других технологий по утилизации потоков теплоты. Первые такие три дома были построены в Минске, в Гродно и в Могилеве. При их эксплуатации выявлены проблемы:

- неподготовленность жителей таких домов к более сложной эксплуатации подобных систем из-за их небольшой распространенности;
- отсутствие приемлемых тарифов на использование электроэнергии для различных систем потребления, которые имеют место в жилых помещениях, кроме систем отопления.

В результате последнего обстоятельства в Гродно, где в процессе эксплуатации жителями экспериментального жилого дома, в системе отопления которого предусмотрено использование тепловых насосов, из-за больших счетов за использование электроэнергии, было принято решение об отключении ТН и перехода на обычное резервное централизованное теплоснабжение. Таким образом, проблема заключается в применении приемлемых тарифов на электроэнергию для теплоснабжения электродомов.

На текущий момент существует два основных варианта оплаты:

1. По первому варианту устанавливается 2 отдельных счетчика электроэнергии:
 - а. один для учета электроэнергии для отопления и ГВС;

б. другой – для учета потребления на освещения и потребления техникой.

2. По второму варианту устанавливается один счетчик, учитывающий и энергию на СО и ГВС, и на бытовые нужды. Для применения данного тарифа должна быть установлена электроплита, а само здание должно быть отключено от традиционных систем теплоснабжения. Данный единый тариф является средним в сравнении с тарифами для двух отдельных счетчиков в варианте первой схемы.

Тарифы Белэнерго, обозначим их условно «три копейки», на электроэнергию для населения в 2020 году определяли стоимость электроэнергии, в самом выгодном случае, при установке отдельного счетчика электроэнергии для нужд отопления и ГВС, на первое полугодие 2020 года (1 января – 31 мая) величиной 0,0335 BYN/кВт·ч, а с 1 июня по 31 декабря – 0,0374 BYN/кВт·ч. Тарифы Белэнерго на электроэнергию для населения для 2021 года с 1 января по 31 мая предусмотрены – 0,0374 BYN/кВт·ч, с 1 июня по 31 декабря – 0,0398 BYN/кВт·ч.

Кроме проблемы тарифов, имеет место и не менее сложная проблема капитальных затрат на создание электрических сетей соответствующей мощности, требуемой для многоквартирных электродомов. Например, для электродома в Барановичах потребовалась подстанция, при этом, снабжение жилого дома электроэнергией потребовало использование трех кабелей, по сравнению с одним кабелем для электроснабжения традиционного здания. В случае строительства микрорайона, проблемы создания и эксплуатации электросети соответствующей мощности возрастают многократно, а непосредственно капиталовложения в систему теплоснабжения превышают требуемые для традиционного варианта водяного отопления от котельных на органическом топливе.

Если рассматривать подобные системы электроотопления не только для многоквартирных, но и для частных домов, сразу становятся заметны иные проблемы. Например, согласно общедоступным данным, после введения тарифа «три копейки», некоторые жители в своих частных домах захотели установить подобные системы отопления и ГВС, однако столкнулись с трудностями, которые значительно тормозят процесс подключения потребителей к электросетям: необходимость оформления большого количества документов и обращения в самые различные инстанции.

В случае группового подключения частных строений в рамках одного населенного пункта, возникают большие финансовые проблемы с их подключением к электросетям, поскольку требуются электросети существенно большей мощности тех, что имеют место. Необходимо дополнительно специальное оборудование, которое покупать и переводить в собственность государства для ускорения процесса запрещается. Стоимость же

обозначенного оборудования такова, что у большинства граждан не хватает средств на одновременную покупку оборудования и, в этом случае, процесс подключения всей группы желающих, в рамках населенного пункта, может растянуться на многие месяцы.

Выводы

1. Все вышеперечисленное указывает, что при достаточной степени проработки инженерной части проектов электродомов, отсутствует решение экономической целесообразности как в части капитальных затрат, так, что было ожидаемо, и в части тарифов на электроэнергию. ввиду все еще излишней дороговизны электроэнергии для конечного потребителя.

2. Многоквартирные электродома могут быть выгодны только в ограниченных масштабах в тех местах, где отсутствуют теплосети и проблематична их прокладка, а также в случае, если нет близкого подключения к газовым сетям.

3. Отсутствие на будущие годы конкретных показателей по вводу объемов жилых массивов с электродомами, не обязывает строительные организации выполнять какие-либо планы по строительству и создает условия для постепенного его сворачивания.

УДК 666.972

Рекомендации по повышению энергоэффективности производства железобетонных изделий и цементобетона с использованием разогретых заполнителей

Сизов В. Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены результаты расчетов температурных полей железобетонных конструкций и цементобетонных покрытий в процессах разогрева и охлаждения и сформулированы на их основе рекомендации по повышению энергоэффективности при проведении данных процессов.

Для разработки рекомендаций по повышению энергоэффективности использования предварительно разогретых заполнителей при производстве железобетонных изделий и укладке цементобетонных покрытий были проведены аналитические исследования и расчеты, которые позволили выявить следующие закономерности и зависимости.

Расчет температурных полей и роста средней температуры изделия в целом показал, что средняя температура нагреваемой бетонной панели

достигает температуры разогрева 100°C в течение 5 часов при двухстороннем нагреве и в течение 10 часов при одностороннем нагреве (рис. 1).

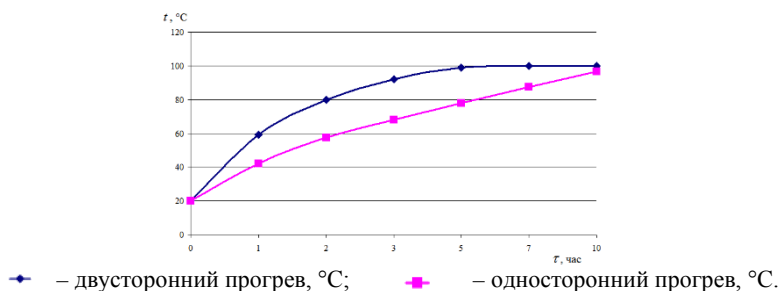


Рис. 1. Средние температуры конструкции панели в процессе обработки в щелевых камерах при $t_{\text{нач}} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}} = 100^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 80 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$

Расчеты по разогреву элементов заполнителя в виде шара классической формы показывают, что элементы диаметром 35 мм можно разогреть до температуры $\approx 100^{\circ}\text{C}$ при ГУ II рода примерно за 12 минут.

В этом случае начальная температура нагреваемого изделия достигает $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$, а не 20°C и время тепловой обработки сокращается на $0,5\text{--}1,0$ часа при двухстороннем подогреве и на $10\text{--}15\%$ уменьшается расход тепловой энергии на ТВО.

Для теплотехнической оценки процессов теплопереноса было определено время охлаждения элементов заполнителей, находящихся в общем массиве изделия.

Данные расчетов при начальной температуре элемента диаметром $\varnothing 35$ мм в 60°C и конечной температуре 20°C показали, что данный элемент охлаждается примерно за 3 минуты.

При этом массив заполнителей отдает общей массе 55000 кДж и разогревает бетонную массу примерно до 50°C . С этой температуры начинается ТВО, а общее время сокращается уже на $1,0\text{--}1,5$ часа.

Для определения времени прогрева массива бетонной смеси между фракциями заполнителя была разработана физическая модель железобетонной конструкции.

Определенные по расчетным зависимостям [1] величины значений температур в различные промежутки времени и построенный график в этой модели представлен на рис. 2.

Для разработки основных технологических принципов использования предварительно разогретых заполнителей при укладке цементобетонных покрытий в первую очередь необходимо определить промежутки времени,

в течение которого уложенное покрытие будет охлаждаться до нулевой или отрицательной температуры при различных начальных параметрах.

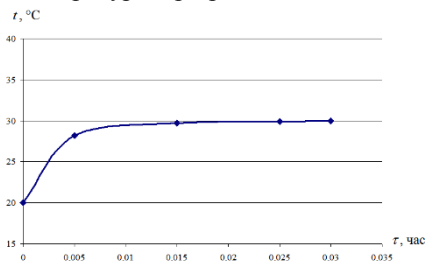


Рис. 2. График повышения средней температуры элемента массива бетонной смеси между фракциями заполнителя

Все полученные данные определяют увеличение периода охлаждения массива покрытия, что приводит к созданию лучших условий схватывания бетона.

По полученным результатам расчетов были построены графики зависимости температуры поверхности и средней температуры от времени охлаждения (рис. 3):

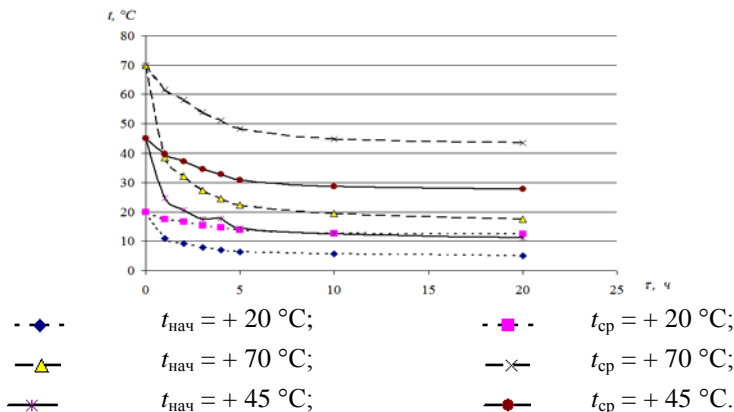


Рис. 3. Графики зависимости температуры поверхности и средней температуры от времени охлаждения

Результаты проведенных расчетов и построенные графики показывают, что при повышении начальной температуры цементобетонного покрытия,

время нахождения самого массива при положительных температурах увеличивается, а это обстоятельство значительно повышает эффективность схватывания самой цементной массы и способствует ее более эффективному твердению.

Для разработки рекомендаций по повышению энергоэффективности предварительного подогрева инертных заполнителей необходимо оценить влияние начальной температуры смеси на период охлаждения цементобетона.

Для уточнения данного предположения в дополнение к проведенным ранее аналитическим исследованиям были рассчитаны периоды охлаждения цементобетонного покрытия с $t_{\text{нач}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{кон}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По полученным результатам расчетов построены графические зависимости снижения температуры поверхности цементобетона за время воздействия отрицательных температур при различных начальных значениях. Для примера приведен график снижения температуры при $t_{\text{нач}} = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4).

Как видно из графических зависимостей, для создания наилучших условий схватывания цементобетонной смеси при положительных температурах и отрицательной наружной температуре $t_{\text{нар}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ начальная температура цементобетона должна быть не ниже $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а с определенным запасом $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а время схватывания при положительных температурах более 2-х часов.

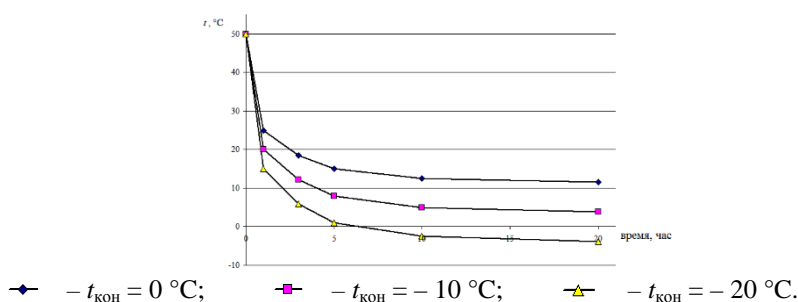


Рис. 4. Снижение температуры поверхности цементобетона за время воздействия отрицательных температур при $t_{\text{нач}} = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Данную начальную температуру можно получить за счет подогретых инертных заполнителей в виде крупнофракционного щебня с диаметром $\varnothing \approx 35\text{ мм}$ каждой фракции.

При охлаждении цементобетонной смеси от +20 до +50 °С до минимальных наружных температур (–20 °С) могут появиться деформационные явления в виде трещин и сколов.

Основным критерием, определяющим трещиностойчивость является скорость охлаждения Ψ , критическая величина которой должна лежать в определенных пределах.

Расчетную скорость охлаждения цементобетонных покрытий определяют по формуле [2]:

$$\Psi = \frac{t' - t''}{\tau' - \tau''}, \text{ } ^\circ\text{C/ч},$$

где t' – температура цементобетона в момент времени τ' , °С; t'' – температура цементобетона в момент времени τ'' , °С.

По полученным результатам расчета построены графические зависимости скорости охлаждения поверхностных слоев цементобетона от времени охлаждения при различных начальных и конечных температурах, например, при $t_{\text{нач}} = +50$ °С (рис. 5).

Результаты расчетов и графики показывают, что максимальная скорость охлаждения цементобетонного покрытия при $t_{\text{нач}} = +50$ °С и $t_{\text{кон}} = -20$ °С составляет 35 °С/ч, но осредненная скорость охлаждения при этом находится в пределах 8,6 °С/ч, что превышает критическую скорость охлаждения асфальтобетонных покрытий равную 1,7 °С/ч, но находится в пределах величин 15–8 °С/ч, принимаемых для железобетонных конструкций.

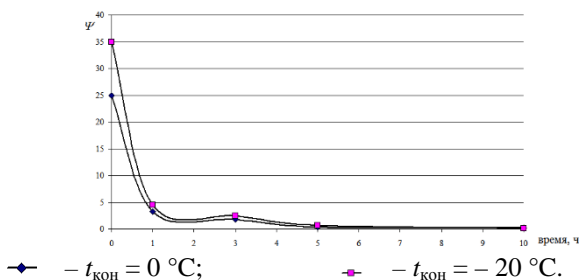


Рис. 5. Зависимости скорости охлаждения поверхностных слоев цементобетона от времени охлаждения при $t_{\text{нач}} = +50$ °С

К рекомендациям по повышению энергоэффективности при производстве железобетонных изделий и конструкций следует отнести предварительный разогрев крупных инертных заполнителей бетона до температур порядка 60–90 °С, в любых теплотехнических устройствах (например, в сушильных барабанах или в кипящем слое), добавлением подогретых заполнителей в общую цементную массу обычной температуры, перемешиванием составляющих до достижения средней температуры смеси в бетономешалках с подогревом, ускоренная доставка полученной смеси для формирования, подача отформованных изделий на тепловлажностную обработку. В этом случае энергоэффективность изготовления изделий на заводах и полигонах в целом, по предварительной оценке, повышается на 10–15 %.

К рекомендациям по повышению энергоэффективности предварительной подготовки составляющих при укладке цементобетонных покрытий при отрицательных температурах можно отнести предварительный разогрев крупных инертных заполнителей до температуры порядка 60–70 °С в высокоэффективных теплотехнических установках, введением подогретых заполнителей в общую бетонную массу обычной температуры, подготовка смеси в бетоносмесителях, доставка смеси к месту укладки, укладка цементобетона на основание бетоноукладчиком.

Литература

1. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел // А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Л.: «Энергия», 1968. – 304 с.
2. Солдаткин, М. Т. О скорости охлаждения дорожных асфальтобетонных покрытий / М. Т. Солдаткин, Я. И. Ковалев, В. Д. Акельев // Отопление, вентиляция и строительная теплофизика. Вып.1. – Минск, 1971. – С. 52–56.

УДК 692.231.3

Некоторые особенности тепломассопереноса в современных самонесущих наружных стенах

Лешкевич В. В., Черванёва Е. А., Якимович Д. Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведены результаты теплотехнических исследований наружных стен из штучных материалов (блоки из поризованной керамики, ячеистого газобетона, керамзитобетона). Представлены рекомендации по произ-

водству самонесущих наружных стен, позволяющие улучшить качество и теплотехнические характеристики.

В настоящее время широкое распространение в строительстве жилых и общественных зданий получили конструкции с монолитным каркасом и самонесущими наружными стенами. Самонесущие стены чаще всего выполняются в виде кладки из блоков из ячеистого бетона, керамзитобетона или поризованной керамики. Производство данных конструкций выполняется непосредственно на объекте (стройплощадке), что сопровождается многими недостатками, присущими данному способу производства, связанными как с недостаточной культурой производства, так и с условиями проведения работ. Во вновь возведенных зданиях с указанными конструкциями стен часто наблюдаются пониженные теплотехнические характеристики ограждений и нарушение микроклимата помещений выраженное в присутствии «дутья» из розеток (при их расположении в наружных стенах) и мест примыкания самонесущих стен к элементам каркаса здания.

Организациями Минстройархитектуры и производителями разработан ряд рекомендаций и типовых узлов для применения при проектировании наружных стен, которые предназначены, как правило, для использования в проектно-расчетной работе. Между тем, основные проблемы данных конструкций возникают на стадии строительства и проявляются после сдачи здания в эксплуатацию. Так, в строительной практике последних лет известны случаи принятия решений о дополнительной теплоизоляции стен вновь возведенных зданий, изначальные проектные характеристики теплозащиты которых соответствовали нормативным требованиям.

Достижение существующих высоких нормативных требований к энергоэффективности зданий и теплозащите ограждающих конструкций невозможно без высокого качества технологии проведения работ при их изготовлении. В то же время в производстве, как правило, практикуется типовой подход к сооружению конструкций из штучных элементов независимо от применяемого материала. Однако, подобный подход себя часто не оправдывает и в жилых зданиях появляются проблемы в виде отслоением штукатурного слоя, разрушение кладки, наблюдается повышенная воздухопроницаемость стен [1, 2].

Рассматриваемые стеновые конструкции, по характеру теплопереноса через них, можно разделить на две группы:

- конструкции из поризованных керамических и щелевых керамзитобетонных блоков;
- стеновые конструкции, выполненные из ячеистых блоков, в которую, по характеру теплопереноса, можно включить и стеновые конструкции, выполненные из полнотелого кирпича.

Теплоперенос в теле стеновых конструкций первой группы происходит как за счет теплопроводности, так и в значительной степени за счет конвекции. В стеновых конструкциях второй группы доля теплоты, обусловленная конвекцией, значительно ниже.

От жильцов зданий со стенами поризованных керамических блоков часто поступают жалобы на высокую воздухопроницаемость наружных стен и пониженные температуры отдельных участков внутренних поверхностей наружных стен. Выполненные авторами исследования показали, что под совместным воздействием располагаемого давления системы естественной вентиляции и ветровым давлением наружный воздух через негерметичные примыкания защитного слоя наружной теплоизоляции к оконным контурам проникает в прослойку между слоем минераловатного утеплителя и стеновой кладкой, и далее через неплотности последней попадает в конструкцию кладки. Помимо этого, в стеновых щелевых керамических блоках происходит достаточно интенсивный конвективный тепло-массообмен. Это обусловлено как большим количеством щелей в керамических блоках, так и сплошной (по всей высоте блока) конструкцией щелей, образующих в итоге разветвленную систему каналов, что и является причиной резкого снижения значений сопротивления теплопередаче.

При выполнении кладки из керамических блоков на малоподвижном (рыхлом) цементно-известково-песчаном растворе плотностью в диапазоне $1400\text{--}1700\text{ кг/м}^3$ происходит попадание раствора в щели блоков (вертикальные пустоты). С одной стороны, это не так сильно сказывается на увеличении эффективной теплопроводности керамического блока, как если бы это происходило при выполнении кладки на более подвижном растворе плотностью от 1900 до 2100 кг/м^3 . Связано это с тем, что упавший в вертикальные пустоты малоподвижный раствор находится в рыхлом состоянии и имеет плотность (по разным источникам) $1150\text{--}1300\text{ кг/м}^3$, т. е. не сильно отличающуюся от плотности керамического блока. Однако, вследствие провала раствора в пустоты по всей высоте массива стены (как минимум о высоте одного этажа) образуется система открытых или частично открытых вертикальных каналов, которые, по причине применения малоподвижного раствора, имеют еще и сообщение между собой по горизонтальным кладочным швам. Более подвижный тяжелый раствор, проваливаясь в вертикальные пустоты, плотно заполняет их на высоту до $15\text{--}20$ мм. При этом плотность раствора практически не отличается от плотности в кладочном шве. Это ведет к резкому увеличению эффективной теплопроводности кладки, которая в условиях эксплуатации еще более возрастает в связи с увеличением накопления влаги в попавшем в пустоты растворе (до 8%) и в прилегающих к нему керамических перегородках блока.

«Теплые» растворы плотностью 500–1500 кг/м³, имея более низкие значения коэффициента теплопроводности и влагоемкость, отличаются заметно меньшей прочностью, которая, однако, достаточна. Тем не менее, формирование в стене из щелевых керамических блоков разветвленной системы сообщающихся каналов, в результате проваливания раствора в пустоты, сводит к минимуму эффект от использования для кладки «теплых» растворов.

Для предотвращения попадания в пустоты кладочного раствора, представляется целесообразным использование для горизонтальных кладочных швов пластиковых или стеклотканевых сеток с толщиной нити до 1 мм, и сечением 5 мм на 5 мм. Следует заметить, что многими производителями для данной цели предлагаются сетки с размером ячеек 10 мм на 10 мм, однако результаты вскрытия стен из эффективного керамического кирпича, имеющего ширину пустот 8–10 мм, показывают, что подвижные растворы успешно проваливаются через отверстия такой ширины.

Указанных недостатков не лишена кладка из керамзитобетонных блоков, которые, в отличие от керамических, имеют в конструкции горизонтальную полку. Однако низкое сопротивление воздухопроницанию керамзитобетона нивелирует данный момент.

Также сходные проблемы наблюдаются в кладке из ячеистого газобетона, вертикальные стыки которой имеют низкое сопротивление воздухопроницанию, и в случае применения с системами наружной теплоизоляции имеют проблемы, озвученные выше. Особенно ярко это проявляется в случае использования гипсокартонных листов в качестве внутренней отделки вместо традиционных мокрых штукатурок. В то время как при использовании последних, повышенная воздухопроницаемость выражалась в ощущениях «дутья» по контуру окон, борьба с которым велась с переменным успехом, в случае использования гипсокартонных листов основной объем воздуха идет в полость между слоем гипсокартона и стеной. Это увеличивает количество воздуха, поступающего, в случае применения керамических и керамзитобетонных блоков, непосредственно в конструкцию стены.

Достижение более высокого качества конструкций помимо надлежащего выполнения швов кладки возможно с помощью осуществления ряда мероприятий в узлах примыкания стен к дискам перекрытий и при выполнении наружного утепления:

- клеевой состав, помимо точечного нанесения в средней части плит, также наносить сплошной линией по контуру теплоизоляционной плиты;
- полости в местах примыкания верха наружной стеновой кладки к перекрытию заполнять пенным утеплителем на всю глубину кладки, при этом, в стык у наружной плоскости стены укладывать теплоизоляционный

уплотнительный жгут, а плиты утеплителя наружной теплоизоляции в области дисков перекрытий укладывать на сплошной клеевой слой;

– плиты утеплителя по контуру оконных проемов, укладывать на сплошной клеевой слой (в особенности контролировать места на краях плит, обращенных к оконным проемам);

– места примыкания оконных коробок к стенам заполнять пенным утеплителем на всю глубину оконной коробки без пропусков.

Кроме того, опыт применения самонесущих конструкций из штучных материалов совместно с системами наружной теплоизоляции показывает, имеет смысл предусматривать, хотя бы с внутренней стороны наружной стены, нанесение тонкого штукатурного слоя.

Вопрос повышенной воздухопроницаемости наружных стен зданий повышенной этажности следует рассматривать в совокупности с работой системы естественной вентиляции. Например, располагаемое давление для шестого этажа в 20-ти этажном здании будет составлять не менее 20 Па при расчетных условиях и без учета ветрового давления на поверхность фасадов здания. Для таких условий на нормативном уровне следует рассмотреть обязательные мероприятия и технологические схемы установки оконных заполнений и возведения стен из крупнопористых материалов, в особенности таких, как щелевые блоки из поризованной керамики и щелевые керамзитобетонные блоки.

Литература

1. Сюльжина, А. Технология дала трещину / А. Сюльжина // Советская Белоруссия (№ 234) – 2014. – 9 дек. – С. 3.

2. Отчет о научно-технической работе «Теплотехнические исследования наружных ограждающих конструкций на объекте «Строительство 144-квартирного 20-этажного жилого дома в квартале ул. Аэродромная – ул. Левкова – у. Володько» с выдачей рекомендаций» / НИИЛ СТЭСЗ БНТУ. – Х. Д. № 5567/15 с. – Минск, 2016. – 46 с.

УДК 620.92; 620.97

Численное исследование сложного теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплоотраса

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для решения задачи повышения эффективности эксплуатации тепловых сетей, размещенных в непроходных каналах, предложено схемно-структурное решение регенеративно-утилизационного теплоиспользова-

ния. Для проведения исследований предложено создать и использовать виртуальную экспериментальную установку, разработанную на базе программного комплекса ANSYS. Рассматривается проведение эксперимента на базе шестифакторного ротatableльного плана второго порядка. Получены уравнения регрессии второго порядка для расчетов целевых функций. Для полученных уравнений регрессии установлены значимые коэффициенты, определена адекватность полученных уравнений регрессии.

Несмотря на современную тенденцию применения бесканальной прокладки теплопроводов, теплотрассы в непроходных каналах имеют достаточно большой удельный вес в существующих системах централизованного теплоснабжения Беларуси (около 50 %). Учитывая высокую стоимость изготовления и прокладки теплопроводов, их полная замена с применением инновационных технологий, в городах республики займет еще не одно десятилетие. Поэтому остаются актуальными разработка и исследование технологий повышения энергоэффективности эксплуатации теплопроводов в непроходных каналах [1].

Предлагается принудительная вентиляция канала наружным воздухом с последующим охлаждением воздуха и утилизацией отводимой теплоты. На рис. 1 показана принципиальная схема непроходного канала теплотрассы с указанием основных материальных и тепловых потоков при прокачке воздуха через канал.

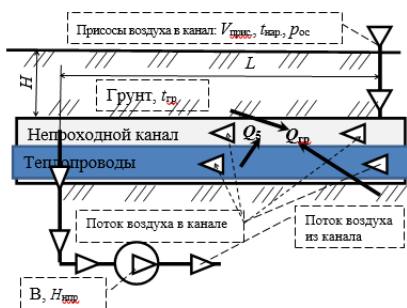


Рис. 1. Принципиальная схема тепловых потоков в продуваемом непроходном канале:

H – заглубление канала, м; L – длина вентилируемого участка, м;
 B – вентилятор; $Q_с$, $Q_гр$ – соответственно поток рассеяния тепловой энергии трубопроводами сетевой воды и поток теплового взаимодействия со стенками канала, кДж/ч; $V_{прис}$ – расход воздуха, прокачиваемого на участке L канала, м³/ч;
 $t_{нар}$, $t_{гр}$ – соответственно температуры поступающего воздуха в канал и стенок канала, °С; $p_{ос}$ – давление окружающей среды, кПа; $H_{всп}$ – напор, обеспечиваемый вентилятором, кПа

Исследование процессов аэродинамики и теплообмена в подобных объектах, имеющее своей целью получение приемлемой достоверности результатов, требует принципиально новых подходов, одним из которых является вычислительный эксперимент на основе применения методов конечных разностей, конечных элементов и граничных элементов [2]. В качестве одного из универсальных решений является применение программного комплекса ANSYS, наиболее удобной из CAE-систем, предназначенных для компьютерного моделирования и анализа различных физических процессов, в рамках которого удобно построить виртуальную экспериментальную установку.

Была построена 3D-модель различных конфигураций каналов, проведена дискретизация областей на конечные элементы, на рис. 2 показан общий вид расчетной сетки.

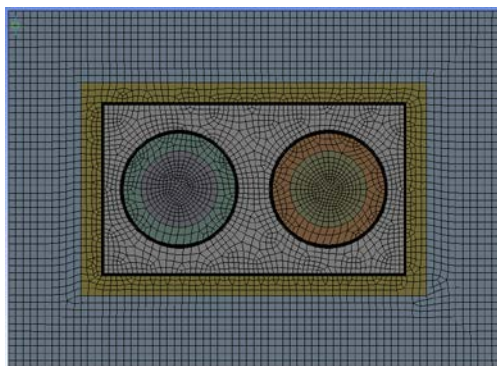


Рис. 2. Общий вид расчетной сетки

Используя таблицы планов проведения активного эксперимента [2–4], рекомендации по выбору того или иного плана [4–5] к реализации принят шестифакторный, ротatableльный план второго порядка. Функции отклика исследовались в зависимости от следующих факторов:

- характерный размер, определяющий геометрию канала в поперечном сечении, – $X_{\text{попр}}$, м (X_1);
- характерный размер, определяющий геометрию канала в продольном сечении, – $X_{\text{прод}}$, м (X_2);
- скорость потока воздуха в канале – ω , м/с (X_3);
- температура прямой $t_{\text{псв}}$ и обратной $t_{\text{осв}}$ сетевой воды, °С (X_4);
- температура наружного воздуха $t_{\text{н.вз}}$, °С (X_5);

– температура грунта на глубине залегания канала $t_{гр}$, °C (X_6).

Функциями отклика определены:

- потери напора при продувке канала воздухом;
- удельные тепловые потоки к воздуху;
- суммарный от трубопроводов сетевой воды;
- отдельные от трубопроводов прямой и обратной сетевой воды;
- от ограждающих конструкций канала.

Уравнение в общем виде для поверхности отклика второго порядка приведено ниже:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_1^2 + b_3 \cdot X_2 + b_4 \cdot X_2^2 + b_5 \cdot X_3 + b_6 \cdot X_3^2 + b_7 \cdot X_4 + b_8 \cdot X_4^2 + b_9 \cdot X_5 + b_{10} \cdot X_5^2 + b_{11} \cdot X_5 + b_{12} \cdot X_6^2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{14} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{15} \cdot X_1 \cdot X_4 + b_{16} \cdot X_1 \cdot X_5 + b_{17} \cdot X_1 \cdot X_6 + b_{18} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{19} \cdot X_2 \cdot X_4 + b_{20} \cdot X_2 \cdot X_5 + b_{21} \cdot X_2 \cdot X_6 + b_{22} \cdot X_3 \cdot X_4 + b_{23} \cdot X_3 \cdot X_5 + b_{24} \cdot X_3 \cdot X_6 + b_{25} \cdot X_4 \cdot X_5 + b_{25} \cdot X_4 \cdot X_6 + b_{27} \cdot X_5 \cdot X_6$$

Вычисление коэффициентов регрессии для принятых функций отклика осуществлялось по формулам [5], проведена оценка адекватности и работоспособности полученных уравнений регрессии.

Значимость коэффициентов полученных уравнений регрессии подтверждалась после проверки с использованием t -критерия Стьюдента [5]. Для наглядности были построены карты Парето, показывающие значимость коэффициентов уравнений регрессии, на рис. 3 представлена карта Парето для коэффициентов уравнения регрессии для суммарного потока теплоты к воздуху.

Красной линией на рис. 3 обозначен критический уровень p -значения, соответствующий уровню 0,05, который принимается во многих областях исследований. Таким образом, p -значение 0,05 здесь рассматривается как «граничный приемлемый» уровень ошибки.

Однако, для математических экспериментов, имеющих место в рассматриваемом случае, не следует игнорировать менее значимые коэффициенты регрессионных зависимостей [5].

Выводы:

1. В виду сложности создания адекватной физической модели и не возможности проведения полноценного промышленного эксперимента на действующем объекте с целью получения исходной информации для разработки методики проектирования системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования для теплотрасс в непроходных каналах на базе программного комплекса ANSYS проведено численное исследование с применением методов планирования активного эксперимента.

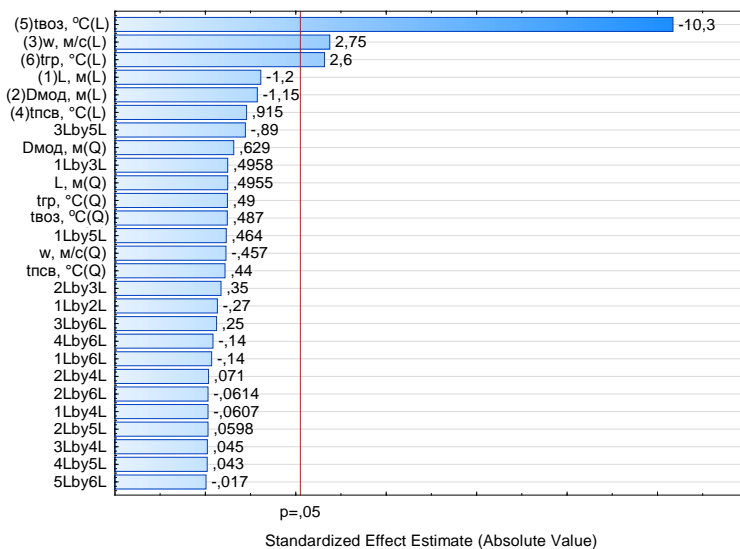


Рис. 3. Карта Парето значимости коэффициентов регрессии для уравнения суммарного потока теплоты

2. Получены регрессионные зависимости для безразмерных факторов, позволяющие определить тепловые потоки от поверхностей, омываемых потоком воздуха, к названному потоку, подтверждена их адекватность общепринятыми статистическими методами.

3. Осуществлен переход к регрессионным соотношениям для значимых факторов и с помощью карт Парето выявлены значимые коэффициенты, показано соответствие их значимости физическим представлениям о протекающих процессах.

Литература

1. Седнин, В. А. Системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования для теплотрасс в непроходных каналах / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 4 (97). – С. 2–6.
2. Самарский, А. А. Разностные методы решения задач газовой динамики: учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский, Ю. П. Попов. – М.: Наука, 1992. – 424 с.
3. Белоцерковский, О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред / О. М. Белоцерковский. – М.: Наука, 1984. – 520 с.

4. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности.) / В. Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

5. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник / В. П. Тарасик. – Минск: Новое знание, 2013. – 584 с.

УДК 624.131.436

Температурный режим грунтов с заложенными коллекторами тепловых насосов

Костюкевич И. Г.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В результате физико-математического моделирования годового температурного воздействия наружного воздуха для г. Минска получен график температурного режима массива грунта в течение года.

Исследование нестационарного теплового взаимодействия грунтовых коллекторов тепловых насосов с массивом грунта предполагает разработку физико-математических моделей конструктива исследуемого объекта, описание с помощью дифференциальных уравнений процессов переноса теплоты и формулировку краевых условий.

Перенос теплоты в исследуемом грунтовом массиве может быть представлен уравнением

$$\rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}[\lambda \cdot \operatorname{grad}(T)] + q_v, \quad (1)$$

где ρ – плотность грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$; C – теплоемкость грунта, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; T – температура грунта, К ; λ – коэффициент теплопроводности грунта, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

Применительно к рассматриваемой задаче источник $q_v = 0$.

В уравнении не учтены процессы фильтрации грунтовых вод и их влияние на теплофизические характеристики грунтового массива. Математическое описание фильтрации грунтовых вод должно учитывать связь этого процесса с режимом погоды и временами года. Это практически неразрешимая задача и в настоящее время многими исследователями учитывается только фрагментарно, путем фиксированного для интервала времени значения теплофизических коэффициентов, включая учет влияния процессов промерзания и протаивания.

Уравнение энергии для несжимаемого потока жидкости в трубопроводе:

$$\rho AC_p \frac{\partial T_2}{\partial t} + \rho AC_p u \nabla T_2 = \nabla A \lambda \nabla T_2 + f_D \frac{\rho A}{2} |u|^3 + Q + Q_{\text{стен}}, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; A – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ; C_p , λ – соответственно теплоемкость холодоносителя (теплоносителя) при постоянном давлении, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, и коэффициент теплопроводности материала трубы (в частном случае конструкция трубы может быть многослойной, т. е. $\lambda = f(r)$), $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; T_2 – температура холодоносителя (теплоносителя), К .

Выше таким же идентификатором обозначена температура грунта; u – функция, определяющая поле скоростей в поперечном сечении трубопровода; Q – функция внутреннего источника теплоты, $\text{Вт}/\text{м}$; $Q_{\text{стен}}$ – функция, определяющая теплообмен холодоносителя (теплоносителя) через стенку с окружающей средой (грунтом), $\text{Вт}/\text{м}$; $Q_{\text{стен}}$ – тепловой поток, определяемый по условиям взаимодействия грунтового массива и трубопроводов коллектора, в нашей задаче может быть задан граничными условиями 4-го рода.

На естественное формирование температурного поля грунтового массива основное влияние оказывают конвективный тепловой поток между поверхностью Земли и атмосферным воздухом, а также радиационный баланс (алгебраическая сумма излучения Солнца и излучения земной поверхности в мировое пространство, осложненное облачностью и другими атмосферными процессами). Таким образом, задача определения начального распределения температуры в грунте представляется как некорректная. Однако, разработав физико-математическую модель процессов переноса в грунтовой массиве и взаимодействия его поверхности с окружающей средой и мировым пространством и задав произвольное начальное распределение температуры $T(x, y, z, 0) = T_n$, далее, методом последовательного приближения, можно найти установившуюся функцию $T(x, y, z, \tau^*) = f(x, y, z)$, которая и может быть принята за начальное распределение температуры в грунте. В этом выражении τ^* – время, после которого произвольное начальное распределение температуры в грунте в годовом режиме его формирования не оказывает влияние на исследуемые процессы. Далее рассчитываемое распределение температур в грунте в течение года и будет представлять исходные данные для расчета теплового взаимодействия с коллекторами теплового насоса.

В нашей задаче важно определить температурный режим на глубине ≈ 1 м. На этой отметке практически не сказываются суточные изменения температуры наружного воздуха [1, с. 234]. Величина и амплитуда которых определяется радиационным балансом на поверхности. По этой причине возможно исключение радиационного теплообмена из граничных

условий на поверхности массива. На этой глубине формирование температурного режима грунтового массива определяется преимущественно режимом среднемесячных температур, изменение указанных климатических факторов близко к закону гармонических колебаний с периодом в 1 год.

Конвективный тепловой поток на поверхности почвы, $Q_k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, определяется следующим соотношением [2, с. 64]:

$$Q_k = \alpha \cdot (t_{\text{пз}} - t_{\text{н}}), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплообмена; $t_{\text{пз}}$ – температура поверхности Земли, °С (в начальный момент времени принимается равной произвольно заданной температуре массива грунта на отметке $h = 0$); $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С. принимается равной режиму среднемесячных температур.

Для расчета величины α существует ряд упрощенных эмпирических формул, учитывающих только скорость ветра [3, с.50]:

$$\text{при } 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} < v < 30 \frac{\text{м}}{\text{с}} \begin{cases} \alpha = 6,5 \cdot v^{0,78} \\ \alpha = 7,56 \cdot v^{0,78} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{при } 0 \frac{\text{м}}{\text{с}} < v < 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \begin{cases} \alpha = 5,3 + 3,6 \cdot v \\ \alpha = 3,8 + 3,1 \cdot v \\ \alpha = 5,3 + 3,1 \cdot v \\ \alpha = 6,16 + 4,19 \cdot v. \end{cases} \quad (5)$$

Выше отмечено, что изменение среднемесячных значений температуры наружного воздуха в течение года близко к закону гармонических колебаний.

$$t_{\text{сут}} = t_{\text{ср}} + A_t \cdot \cos \left(\frac{z' - z^{\text{max}}}{365} \cdot 2 \cdot \pi \right), \quad (6)$$

где $t_{\text{сут}}$ – температура в текущие сутки, соответствующая режиму среднемесячных температур, °С; $t_{\text{ср}}$ – среднегодовое значение температуры, °С; A_t – годовая амплитуда изменения среднемесячных температур, °С; z' – текущее время в сутках, отсчитанное от 1 января, сут; z^{max} – время достижения температурой максимума, отсчитанное от 1 января, сут.

Годовая амплитуда изменения температуры рассчитывается следующим образом:

$$A_1 = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2}, \quad (7)$$

где t_{\max} и t_{\min} – соответственно максимальное и минимальное среднесуточное значение параметра.

Величину среднегодовой, а также максимальной и минимальной среднесуточной температуры наружного воздуха можно получить в [4, табл. 1].

Для того чтобы определить значение величины z^{\max} при расчете температуры наружного воздуха, можно воспользоваться информацией о пике достижения максимума температурой, которую для текущего календарного года можно найти на официальном сайте государственного учреждения «Белгидромет» на главной странице в разделе «Информация климатолога».

Т. к. суточные колебания температуры не сказываются на отметке $h = 1$ м от поверхности Земли, и глубина промерзания грунтов на территории Республики Беларусь составляет 55–73 см [5, с. 76], то, для физико-математического моделирования распределения температуры внутри массива грунта достаточно определить среднесуточную температуру наружного воздуха в каждые сутки года.

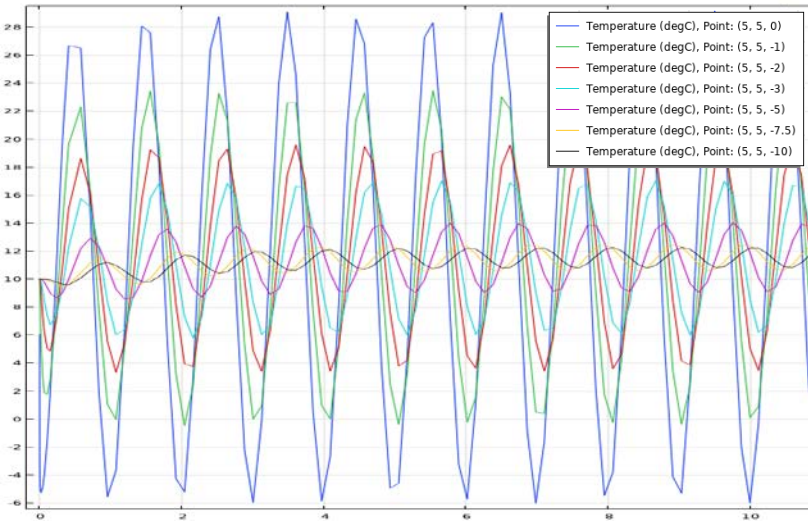


Рис. 1. Температура расчетного массива грунта с теплопроводностью 1 Вт/(м·К)

С помощью программы для численного моделирования методом конечных элементов COMSOL Multiphysics, был сделан расчет воздействия

конвективного и радиационного баланса для условий г. Минска на верхнюю грань твердого тела в виде куба со стороной 10 м (остальные грани были приняты как теплоизолированные), свойства которого были заданы следующими: плотность 1500 кг/м^3 , теплоемкость $800 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, теплопроводность $1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. В качестве начальной температуры было выбрано значение $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Расчет был выполнен для промежутка времени 10 лет.

Ниже на рис. 1 представлен график изменения температуры расчетного массива грунта на поверхности (на верхней грани), а также на глубине 1 м, 2 м, 3 м, 5 м, 7,5 м и 10 м.

Из рис. видно, что установившийся температурный режим на глубине 5 м наступает после 7 лет расчетного периода, а на глубине 10 м – после 8 лет.

Литература

1. Нерпин, С. В. Физика почвы / С. В. Нерпин, А. Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. – 584 с.

2. Куртендер, Д. А. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте / Д. А. Куртендер, А. Ф. Чудновский. – Гидрометеорологическое издательство Ленинград, 1966. – 301 с.

3. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.

4. Справочник по климату Беларуси. Часть I. Температура воздуха и почвы. – Мн.: Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». Государственный климатический кадастр, 2017. – 85 с.

5. Национальный атлас Беларуси // Минск: Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь, 2002. – 292 с.

УДК 697.9

Исследование текстильных воздухопроводов с целью применения в культовых зданиях

Королева Т. И., Пивоварова С. И.
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Республика Беларусь

Определены параметры воздушных струй и схемы размещения текстильных воздухопроводов в системах приточной вентиляции культовых зданий для организации воздухообмена с учетом архитектурно-планировочных решений. Предложены схемы раздачи приточного воз-

духа с помощью текстильных воздухораспределителей с использованием микроперфорации и перфорации.

Введение. Современное состояние микроклимата в культовых зданиях во время проведения служб в большие праздники и выходные дни требует улучшить воздухораспределение с учетом энергосберегающих рекомендаций и архитектурно-планировочных решений зданий [1, 2].

В связи с тем, что во время проведения службы в культовом здании от людей выделяется большое количество теплоты, влаги и углекислого газа, а также теплоты и копоти от горящих свечей и лампад, и это приводит к ухудшению микроклимата, появлению плесени и оседанию копоти на стенах и предметах.

Основная задача системы вентиляции в культовом здании – подача достаточного количества приточного воздуха для создания комфортного микроклимата в помещении, с целью ассимиляции выделяющихся вредных веществ [2, 3]. Для решения этой задачи нами рассмотрен вопрос применения текстильных воздухораспределителей в системах приточной вентиляции культовых зданий при мало исследованных способах раздачи воздуха с помощью микроперфорации и перфорации. Данные способы воздухораспределения в приточных системах можно использовать для различных зданий с высотой этажа более 3 м. Вытяжные системы вентиляции следует проектировать в соответствии со стандартами [2, 3].

Основная часть. Способ распределения воздуха в помещении системами с текстильными воздуховодами отличается от стандартных систем тем, что такие системы с тканевыми воздуховодами не имеют диффузоров или решеток, монтируемых в воздуховод [3]. Текстильные воздуховоды уже с момента производства одновременно являются воздухораспределителями и имеют ряд преимуществ перед стальными воздуховодами.

Нами было проведено исследование текстильных воздухораспределителей с различными видами перфорации и микроперфорации на примере четырех образцов приточных системы вентиляции, каждая диаметром 500 мм, длиной 20 м и 3 м. Экспериментальная установка была смонтирована в отдельном помещении и закреплялась поочередно на различной высоте, где и проводились измерения давлений и скоростей воздуха внутри текстильных воздухопроводов и скорости воздуха на расстояниях 0,1 м, 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 1,7 м от поверхности текстильного воздуховода [3, 4].

В результате экспериментальных измерений нами были построены эпюры скоростей воздуха внутри воздуховода и графики изменения скорости воздуха в зависимости от расстояния до поверхности воздухораспределителя [5, 6] и составлены схемы подачи воздуха, одна из которых представлена на рис. 1, для экспериментального образца № 1.

В результате экспериментальных исследований впервые по разработанной нами методике для текстильных воздухопроводов на основе существующей методики для стальных воздухопроводов, которая изложена в труде Маловой [7] установлено, что изменение скорости воздуха по длине текстильного воздухопроводителя не превышает 25–30 %, что способствует равномерному распределению воздуха в помещении. Выявлено, что воздухопроводители с микроперфорацией желательно располагать на небольшом расстоянии 0,2–1 м над рабочей зоной или непосредственно в ней, а с перфорацией – на расстоянии 4–5 м над рабочей зоной помещения для обеспечения нормируемой скорости воздуха в ней.

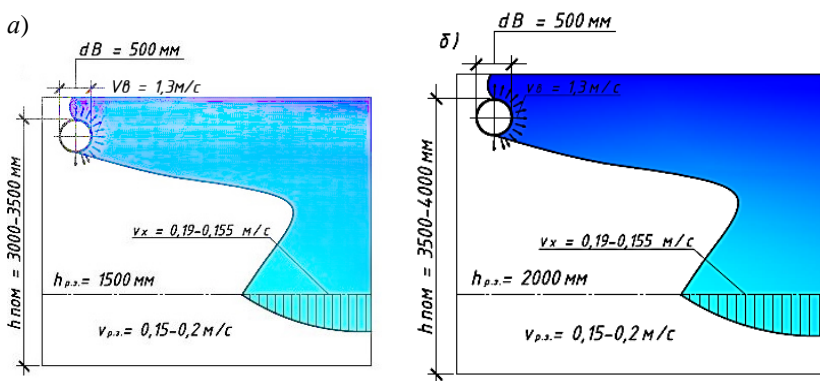


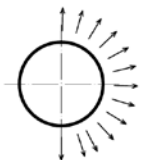
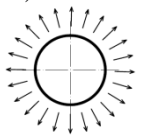
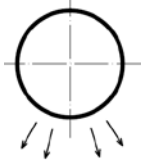
Рис. 1. Схема подачи воздуха через текстильный воздухопроводитель экспериментальный образец № 1 с боковой перфорацией 90° направленной под углом 90° :
 а – с высотой рабочей зоны 1,5 м; б – с высотой рабочей зоны 2 м

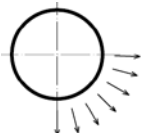
Для измерения аэродинамических параметров воздуха были использованы следующие приборы: газоанализатор Testo 335 с трубкой Пито, термоанемометр МЕГЕОН 11005 с выносным датчиком.

Общие рекомендации по результатам исследований воздухопроводителя с помощью текстильных перфорированных воздухопроводов для помещений высотой более 3 метров сведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендации по использованию схем приточной вентиляции с текстильными воздухопроводами с перфорацией и микроперфорацией

№ образца	Тип Воздухораспределителя и его схема	Общая характеристика воздухораспределителя	Размещение в помещениях (зданий и сооружений)
1	2	3	4
Образец № 1	<p>Перфорация 90°, направленная под углом 90°</p> 	Направленный в сторону воздушный поток	Верх воздухораспределителя на высоте 3–4 метра от уровня чистого пола помещения; размещать воздухопроводы вдоль стен, колон и арок, что позволит направить воздушный поток в сторону к центру помещения
Образец № 2	<p>Микроперфорация 360° (другое название - микроперфорация 180°, направленная под углом 90°)</p> 	Равномерное распределение потока на выходе из воздухораспределителя	Верх воздухораспределителя на высоте 0,2–1 метров от рабочей зоны; размещать под потолками невысоких помещений, где нет возможности расположить воздухопроводы на большом расстоянии от рабочей зоны
Образец № 3	<p>Перфорация 45° по два ряда симметрично оси, направленная под углом 180°</p> 	Направленный вниз воздушный поток	Применять в зданиях и сооружениях на высоте от 3 до 5 м от рабочей зоны, если архитектура здания позволяет, то желательно размещать воздухораспределители ближе к центру помещения

1	2	3	4
Образец № 4	Микроперфорация 45°, направленная под углом 125° 	Направленный воздушный вниз и в сторону воздушный поток	Верх воздухоораспределителя располагать на высоте 0,2–1 метров от рабочей зоны; удобство размещения вдоль стен помещения; возможно применить оптимально на высоте 2,6 м от уровня чистого пола; для более сосредоточенной подачи воздуха в рабочую зону следует размещать на высоте 2 м от уровня чистого пола

Дополнительно нами проводились измерения для исследования скоростей воздушного потока на границе рабочей зоны данных образцов.

Выводы. Экспериментальные исследования текстильных воздухоораспределителей по разработанной нами методике аэродинамических испытаний, позволили сделать следующие выводы:

1) установлено, что измеренное в рассмотренных экспериментальных образцах внутреннее статическое давление распределяется равномерно по всей длине воздухоораспределителя, обеспечивая равномерное истечение потока воздуха через отверстия перфорации и микроперфорации;

2) в связи с впервые обнаруженным явлением обратного движения воздушного потока внутри воздухопроводов с перфорацией и микроперфорацией в образцах небольшой длины до 3 м, а так же в длинном образце протяженностью 20 м с микроперфорацией, рекомендуем такие воздухоораспределители удлинять на 500–1000 мм, либо увеличить диаметр воздухопровода с перфорацией для снижения скорости, чтобы избежать резких перепадов скорости истечения воздушного потока в конце воздухоораспределителя;

3) для проектировщиков даны рекомендации, приведенные в табл. 1, которые позволят использовать текстильные воздухоораспределители в зданиях сложной архитектурно-планировочной формы с высотой этажа более 3 м без ухудшения эстетических качеств помещений, чтобы создавать оптимальные условия микроклимата в них с соблюдением всех санитарно-гигиенических норм.

Литература

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы. Постановление СМ РБ от 24.02.2021 г. № 103 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь).
2. Культовые здания и сооружения. Здания, сооружения и комплексы православных храмов. Правила проектирования. Культавы будынкi і збудаваннi. Будынкi, збудаваннi і комплексы праваслаўных храмаў. Правiлы праектавання: ТКП 45-3.02-83-2007. – Введ. 01.04.2008. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008 г. – 46 с.
3. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия. Вентыляцыя будынкаў. Павеатраразмеркавальныя прылады. Агульныя тэхнічныя ўмовы: ГОСТ 32548-2013. Введ. 11.06.2015. – Минск: Госстандарт, 2016 г. – 14 с.
4. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Аэродинамические испытания и оценка применения для вытесняющей вентиляции = Вентыляцыя будынкаў. Павеатраразмеркавальныя прылады. Аэрадынамічныя выпрабаваннi і ацэнка прымянення для выцясняячай вентыляцыі: ГОСТ 32549-2013 (EN 12239:2001). Введ. 03.01.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 12 с.
5. Василевич, Н. А. Особенности проектирования гелиосистемы для механической системы приточной вентиляции культового здания для улучшения его микроклимата / Н. А. Василевич, Д. А. Василевич, С. И. Пивова-рова // Вестник Полоцкого государственного университета. Прикладные науки, Серия Ф. Строительство. – 2019. – № 16. – С. 1–7.
6. Василевич, Д. А. Ресурсо-энергосберегающие системы обеспечения микроклимата в культовых зданиях / Д. А. Василевич, Е. В. Бобкова, Т. И. Королёва, С. И. Пивоварова / Василевич, Д. А. Ресурсо-энергосберігаючі системи забезпечення мікроклімату в культових збудовах // Д. А. Василевич, Е. В. Бобкова, Т. І. Корольова, С. І. Пивоварова // Збірник наукових праць Міжнар. наук.-практ. онлайн-конф. «ENVIRONMENT PROTECT-ION – 2020» присвяч. Всесвітн. дню охорони довкілля, Випуск 1., Київ, 5 черв. 2020 р. / Київськ. націон. ун-т будівн. і архіт.; редкол.: П. М. Куліков П. М. [та інш.]. – Київ, 2020. – С. 118–122.
7. Малова, Н. Д. Рекомендации по проектированию для предприятий пищевой промышленности / Н. Д. Малова. – Москва: ТермоКул, 2005. – 304 с.

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

**Поинтервальная реверсивно-реагентная обработка
водозаборных скважин методом свабирования**

Аmeliшко И. Е., Ивашечкин В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В процессе работы водозаборных скважин происходит снижение удельного дебита в результате кольматажа. Эксплуатация скважины без проведения профилактических и ремонтных мероприятий приводит к снижению ее дебита и влечет перерасход электроэнергии на подъем воды. Для восстановления работоспособности старых скважин используют различные методы [1]. Каждый метод имеет свою область применения, преимущества и недостатки. Циркуляционно-реагентные способы регенерации скважин наиболее перспективны. Они могут обеспечить необходимую глубину и равномерность очистки фильтра и прифильтровой зоны скважин. Дальнейшее совершенствование технологий циркуляционно-реагентной регенерации, обеспечивающих равномерное удаление кольматирующего осадка, является актуальной научно-технической задачей.

В БНТУ предложено осуществлять циркуляционно-реагентную обработку фильтров водозаборных скважин способом свабирования. Регенерация проводится поинтервально на участке фильтра, ограниченного двумя пакерами и заполненного реагентом. Предложенное скважинное устройство для регенерации методом линейного свабирования в замкнутой камере [2] имеет ряд сложных конструктивных элементов. Поэтому мы упростили конструкцию устройства. Схема обработки участка гравийного фильтра упрощенным устройством для регенерации методом линейного свабирования представлена на рис. 1.

Устройство для регенерации опускаю в обрабатываемый участок фильтра. Пакеры делают выбранный участок скважины замкнутым. Реверсивно перемещая сваб в фильтре между двух пакеров, можно создать избыточное давление, которое инициирует фильтрационный поток реагента, огибающий сваб по гравийной обсыпке и направленный в зону пониженного давления. Рабочие ходы повторяют до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень регенерации участка фильтра. После устройство для регенерации перемещают на новый участок фильтра и процесс повторяют.

Для расчета продолжительности обработки фильтра на основе метода линейного свабирования воспользуемся методикой расчета продолжитель-

ности работы установки для реверсивно-реагентной обработки фильтров [3]. Для описания процесса растворения отложений использована система уравнений (1): объединенного уравнения движения и сохранения массы и обобщенного уравнения кинетики.

$$\begin{cases} -v \frac{\partial C}{\partial x} - \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\Phi \cdot (C_m - C) \end{cases}, \quad (1)$$

где C_m – максимальная концентрация солей в реагенте (концентрация насыщенного раствора); C – концентрация солей в реагенте; v – скорость движения реагента в гравийной обсыпке; n_0 – начальная пористость грунта; b – удельная насыщенность грунта кольматантом, плотность которого равна ρ_{oc} .

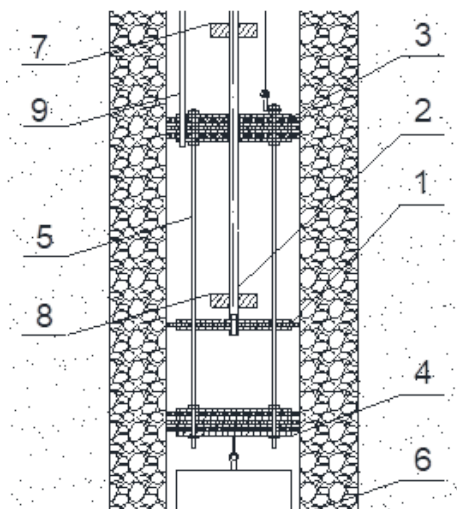


Рис. 1. Схема реагентной обработки фильтра на основе метода линейного свабиворонения:

- 1 – сваб; 2 – шток; 3 – верхний пакер; 4 – нижний пакер;
- 5 – направляющие стержни; 6 – массивный груз; 7 – верхний упор;
- 8 – нижний упор; 9 – шланг для подачи реагента

Путем интегрирования уравнения кинетики получена аналитическая зависимость для расчета продолжительности регенерации слоя гравийной обсыпки:

$$b(T_0, L) = b_0 - \sum_{m=1}^k [n_0 (1 - e^{-a_m T_0}) + a_m \cdot e^{-a_m T_0} (1 - n_0) T_0] J_m, \quad (2)$$

Формула (2) позволяет рассчитать время, по истечении которого удельный объем кольматирующих отложений достигнет нуля. По полученным формулам была составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать количество циклов работы устройства, продолжительность очистки и степень удаления кольматанта на каждом этапе работы.

В программу занесены следующие исходные данные: внешний диаметр фильтра $D_{\text{ф}} = 273$ мм; наружный диаметр гравийной обсыпки $D_{\text{обс}} = 450$ мм; удельный объем отложений кольматанта $b_0 = 0,1$; начальная пористость среды $n_0 = 0,3$; плотность кольматанта $\rho_k = 2250$ кг/м³; длина обрабатываемого участка фильтра $L = 1$ м; максимальная концентрация хлорида железа в данном объеме реагента $C_{\text{mFeCL}_3} = 529$ кг/м³; скорость движения реагента в закольмированной загрузке $v = 2$ мм/с.

Результаты расчетов: время прохода реагентом участка длиной 1 м: $T_0 = 500$ с. Продолжительность промывки участка длиной 1 м составляет $T_{\text{общ}} = 25$ минут.

Заключение. Доработана и упрощена конструкция устройства для регенерации методом линейного свабирования в замкнутой камере, заполненной реагентом; рассмотрен пример расчета продолжительности реагентной обработки участка фильтра при использовании соляной кислоты в качестве реагентов.

Литература

1. Алексеев, В. С. Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
2. Ивашечкин, В. В. Реагентная декольматация водозаборных скважин методом свабирования в замкнутых камерах / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, Ю. А. Медведева, А. Н. Глинская, И. Е. Иванова // Мелиорация. – 2018. – № 2(84). – С. 20–27.
3. Иванова, И. Е. Теоретические исследования процесса выщелачивания кольматанта в гравийной обсыпке фильтра скважины при использовании установок для реверсивно-реагентной регенерации / И. Е. Иванова, В. В. Ивашечкин, В. В. Веременик // Энергетика. – 2018. – № 1(61). – С. 80–92.

**Методические подходы по оптимизации сетей наблюдений
за состоянием конструкций очистных сооружений**

Левкевич В. Е., Лосицкий В. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной работе приведены методические подходы по оптимизации и структурированию различных данных, получаемых в результате наблюдений за состоянием конструкций очистных сооружений, включая аэрофотосъемку, с целью принятия верных управленческих решений для предупреждения возникновения риск-ситуаций на водоемах технического назначения служащих для очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

В Беларуси комплексы очистных сооружений созданы и функционируют не только в крупных городах и областных центрах, но и в более мелких городах, и даже на крупных заводах и предприятиях. [1].

Одним из наиболее распространенных методов очистки воды является биологическая очистка. В Республике Беларусь широкое распространение в качестве сооружений по биологической очистке получили биологические пруды и поля орошения и фильтрации. Применение этого метода с начала нашего века показало, что этот способ наиболее доступен, по сравнению с физико-химическим или биологическим в искусственных условиях и т. п. Простота эксплуатации, низкие эксплуатационные затраты, надежность сделали этот способ очистки сточных вод наиболее распространенным.

Большинство указанных объектов, эксплуатируются значительный период отрезок времени, а с учетом того, что срок их эксплуатации в соответствии с классом капитальности сооружений не должен превышать пятидесятилетний рубеж, оценка состояния объектов потенциальной опасности требует наличия объективной информации о техническом состоянии упомянутых сооружений и инженерных систем. Рассмотренная проблема является особенно актуальной с учетом возникновения чрезвычайных ситуаций на ОС со значительными ущербами природной среде и экономике регионов страны [2].

Самым эффективным методом оценки состояния сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения, сооружений очистки сточных вод являются их натурные обследования, как визуальными и инструментальными методами, так и современными методами с помощью аэрофотосъемки.

Проанализировав аварии на очистных сооружениях, произошедшие на территории Республики Беларусь за последние 10 лет, можно сделать вывод о том, что причины возникновения аварий могут быть самыми различными:

- отключение электричества.
- износ оборудования.
- метеоусловия и стихийные бедствия (сильный мороз и наводнения).
- человеческий фактор (невнимание персонала, теракты).
- отклонения от нормального режима работы очистных сооружений (объем загрязненного материала больше запланированного, очистные сооружения не рассчитаны на уничтожение отдельных веществ и компонентов и т. п.).
- ошибки в проектировании.

Ниже на рис 1 представлена диаграмма, иллюстрирующая соотношение причин возникновения аварий, характерных для Республики Беларусь.

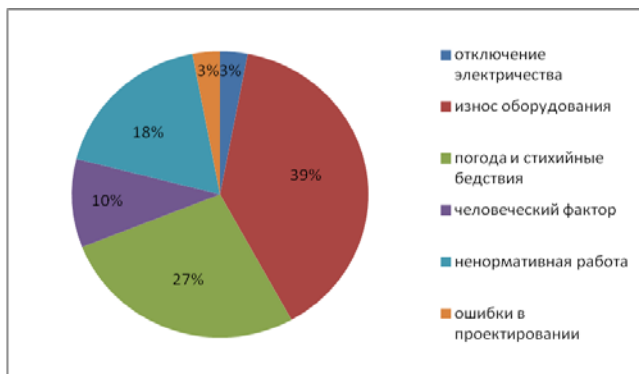


Рис. 1. Причины возникновения аварий на очистных сооружениях Беларуси

Комплексное натурное обследование ряда очистных сооружений показало, что состояние инженерных конструкций зачастую находится в предаварийном состоянии.

Опасность нанесения экономического, экологического ущерба, а также опасность для жизни и здоровья людей, связанная с состоянием конструкций очистных сооружений на сегодняшний день в Республики Беларусь, диктует необходимость создания и внедрения на практике комплексной системы мониторинга. Разрабатываемая экспериментальная система мониторинга будет служить основой для принятия управленческих решений, с

целью предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций на очистных сооружениях, а также минимизации ущерба в случае аварий на них.

Задачами системы мониторинга являются: предотвращение различного вида аварий на очистных сооружениях, минимизация затрат на принятие управленческих решений по устранению аварий на очистных сооружениях Республики Беларусь. Структура системы мониторинга состоит из 4 уровней (центральный, региональный, местный, локальный), тесно связанных между собой. Система мониторинга также связана с другими государственными институтами.

Связь различных уровней должна осуществляться автоматически на основе использования универсальных (общепринятых, стандартных) форматов обмена данными, а также обменом стандартного комплекта карт и характеристик.

Основными потребителями информации о риск-ситуациях являются: Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Минздрав, Правительство, а при необходимости – Президент Республики Беларусь.

Субъектами мониторинга и прогнозирования аварийных ситуаций на очистных сооружениях являются Министерство жилищно-коммунального хозяйства, подразделения Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды) и МЧС Республики Беларусь.

Для информационного обеспечения мониторинга каждого конкретного сооружения по очистке сточных вод будет создана специализированная база данных (БД), куда будут занесены все основные характеристики сооружений, по которым производятся контрольные измерения, а также данные об их состоянии в реальном режиме времени. Она представляет собой массивы систематизированной информации, благодаря которой возможно комплексно оценить состояние того или иного сооружения, выполнить прогноз возможных деформаций необходимый для принятия правильного управленческого решения, необходимого для службы эксплуатации очистными сооружениями. База данных системы мониторинга может дополнительно включать в себя наземные измерения (обследования), он-лайн информацию белорусского центра метеорологии, статистику опроса, данные дистанционного зондирования земли и другая информация.

Основными блоками являются: информационный блок, описание базы данных, алфавитный перечень сооружений, принадлежность к виду очистки сточных вод, территориальное расположение сооружения и другие.

Предлагаемая структура базы данных и алгоритм ее функционирования представлены на рис. 2.

Исходя из выше сказанного следует сделать вывод, что на сегодняшний момент действительно существует опасность возникновения риск-ситуаций на очистных сооружениях Республики Беларусь. Полноценный контроль за состоянием сооружений, особенно местных и локальных, практически отсутствует. Одним из потенциальных подходов для решения проблемы контроля может явиться комплексная система мониторинга состояния очистных сооружений. Для реализации этой задачи разработан алгоритм и структура информационного обеспечения такой системы применительно к биологическим прудам, как одному из элементов очистных сооружений. Реализация системы мониторинга очистных сооружений должна выполняться поэтапно с учетом специфики объектов.

Знание причин аварий, контроль эксплуатации сооружений и их элементов позволяет оценивать риск возникновения чрезвычайных ситуаций и аварий и заранее разрабатывать инженерные мероприятия по их предотвращению. Возможным решением данной проблемы может явиться создание современной системы контроля состояния и мониторинга конструкций очистных сооружений.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Экологический риск – закономерности развития, прогноз и мониторинг / В. Е. Левкевич. – Минск: ИООО «Право и экономика», 2004. – 152 с.

2. Левкевич, В. Е. Использование природные аналогов при определении мероприятий по защите размываемых берегов и верховых откосов напорных сооружений // Проблемы комплексного использования, мелиорации и охраны водно-земельных ресурсов. М. ЦБНТИ, Минводхоз СССР. Деп. № 593-05.1987. – 5 с.

УДК 628.357: 627.8.059.22

Классификации поверхностных водохранилищных водозаборов Беларуси и Таджикистана

Левкевич В. Е, Саидов Ф. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе изложены классификации поверхностных водозаборов водохранилищ республики Беларусь и Республики Таджикистан. Приведены основные характеристики и особенности распространенных типов водозаборов, эксплуатируемых в условиях водных объектов Беларуси и Таджикистана. Полученные результаты анализа в дальнейшем явятся основой

для разработки предложений по оптимальному расположению проектируемых водозаборов на водохранилищах.

Активно водохозяйственное строительство, в состав которого входят и водохранилища, развивалось во второй половине XX века [1]. Строились объекты тепло- и гидроэнергетического назначения, мелиорации, промышленности. Потребителям требовалось большое количество воды, источником которой и являлись водохранилища. Забор и подача воды потребителям водных ресурсов осуществляется поверхностными береговыми водозаборами различных типов и конструкций. Аналогичная картина развития водохозяйственного комплекса наблюдалась и в Республике Таджикистан [1]. Водозаборными называют гидротехнические сооружения (ГТС), предназначенные для забора воды из источников водоснабжения (рек, озер, водохранилищ) для различных водохозяйственных нужд: энергетики, орошения земель, водоснабжения населения и предприятий, регулирования стока, рыбного хозяйства и др. Выделяются следующие виды поверхностных водозаборов: 1. По типу водоисточника – речной, озерный, водохранилищный. 2. По способу забора воды – бесплотинный и плотинный. В условиях водохранилищ Республик Беларуси и Таджикистана наибольшее распространение получили поверхностные водозаборные сооружения водохранилищного и речного типов. В общем случае выбор типа водозаборного сооружения и его размещение зависят от гидрологических характеристик водоисточника. В соответствии с условиями проектирования, а также условиями водозабора место расположения водозабора должно отвечать следующим требованиям:

- располагаться на кратчайшем расстоянии от потребителя;
- находиться выше города, промышленных предприятий и других потенциальных источников загрязнения воды;
- располагаться на устойчивом (в геодинамическом смысле) участке береговой линии вне зоны образования транзита и аккумуляции наносов;
- обеспечить возможность устройства зон санитарной охраны водозаборов.

Анализ условий расположения ряда водозаборов как в Республике Беларусь, так и Республике Таджикистан, показал, что: вышеуказанные требования 1, 2 и 4 как правило соблюдаются практически повсеместно. Что касается требования 3, то оно в ряде случаев не всегда выполняется из-за развития береговых процессов – абразии (переработки) берегов, а также развитию различных геодинамических процессов – оползней, осыпей, просядок (это касается в значительной степени Таджикистана), которые ведут к образованию вдольберегового потока наносов. К примерам несоблюдения требования 3 можно отнести группу водозаборов, используемых для

технического водоснабжения, расположенных на левом берегу Чижовского водохранилища, а также водозабор рыбхоза на Осиповичском водохранилище, расположенный рядом с участком разрушаемого берега [1, 2] и ряде других. Большинство водозаборов на водохранилищах Беларуси расположены в приплотинной части водоемов на приглубых берегах со значительными глубинами и устойчивыми к размыву грунтами. Конструктивно все существующие водозаборы подразделяются на отдельные и совмещенные [3]. При отдельном типе водозаборного сооружения берегового типа (рис. 1) в приузловой зоне располагаются водоприемный железобетонный колодец, приемная и всасывающая камеры.

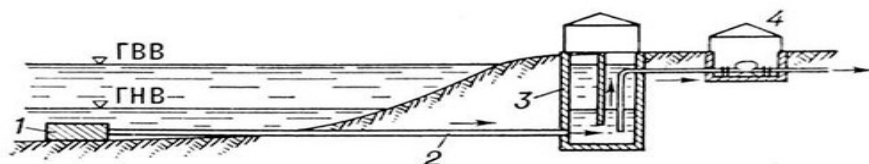


Рис. 1. Водозабор отдельного типа

- 1 – оголовок; 2 – самотечные линии; 3 – береговой колодец;
4 – насосная станция; ГВВ – горизонт (уровень) высоких вод;
ГНВ – горизонт (уровень) низких вод

В качестве примера можно отметить водозаборы на водохранилищах Любанском, Млынокском, Осиповичском, Лукомльском озере и других водоемах (рис. 2). Вода из водохранилища поступает в приемную камеру через окна, оборудованные с наружной стороны съемными сороудерживающими решетками. Насосная станция подъема конструктивно отделена от берегового колодца [3].



Рис. 2. Водозабор отдельного типа

Береговые же водозаборы совмещенного типа с насосными станциями устраивают при больших производительностях и расходах. В качестве примера можно привести водозабор на водохранилище Дрозды. К этому типу сооружений относятся водозабор Вилейско-Минской водной системы на Вилейском водохранилище и ряд других (рис. 3).

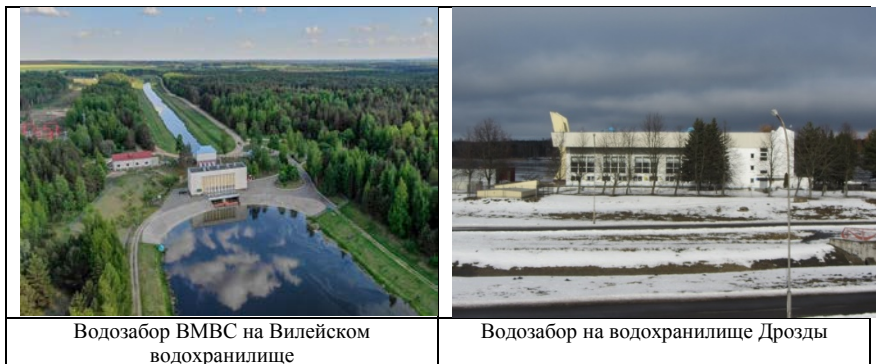


Рис. 3. Водозаборы совмещенного типа

Кроме указанных групп водозаборов в Беларуси широко применяются поверхностные водозаборы с «прямым отбором» воды для водообеспечения рыбхозов, мелиоративных объектов, а также малых ГЭС. К таким сооружениям относятся водозаборы на водохранилищах Любанское, Локтыши, Погост, Селец, Дубровское, Осиповичское и других. Кроме того, ряд водохранилищ наливного типа (Муровно, Локтыши, Любашевское Ельское, Бальные Орлы, Смолевичское) наполняются насосными станциями (НС) двойного действия, которые используются как для наполнения водоема, так и в период межени – для орошения и обводнения и водоснабжения (рис. 4).



Рис. 4. Водозаборы раздельного типа с прямым отбором воды

Обследованные поверхностные водохранилищные водозаборы Беларуси были классифицированы по водопользователям. Ниже, в табл. 1 приведена характеристика некоторых эксплуатируемых водозаборов Республики Беларусь, а в табл. 2 характеристики водохранилищ Таджикистана, из которых производится водозабор.

Таблица 1

Классификация существующих поверхностных водозаборов Беларуси

Название водохранилища	Расположение водозабора	Тип водозабора	Назначение водозабора
Чижовское	Левый берег	раздельный	Техн. водоснабжение
Солигорское	Правый берег	совмещенный	Техн. водоснабжение
Осиповичское	Левый берег	раздельный	Рыборазведение
Млынокское	Правый берег	раздельный	Орошение
Жодинской ГЭС	Правый берег	совмещенный	Техн. водоснабжение
Дрозды	Правый берег	совмещенный	Питьевое и тех. водоснабжение
Водохранилище ТЭЦ-2	Левый берег	раздельный	Техн. водоснабжение
Любанское	Правый берег	раздельный	Орошение
Дубровское	Правый берег	раздельный	энергетика
Лукомльское озеро	Правый берег	раздельный	энергетика

Таблица 2

Характеристика некоторых водохранилищ Таджикистана [5]

Полный	Полезный	Год	Объемы, куб. км		Площадь зеркала В. км
			полный	полезный	
Фархадское	Сыр-Дарья	1947	0,33	0,2	46,0
Кайраккумское	Сыр-Дарья	1956	4,16	2,67	520,0
Муминабадское	Обишур	1960	0,031	0,030	2,86
Головное	Вахш	1962	0,095	0,024	7,5
Сельбурское	Кызылсу	1964	0,031	0,027	2,3
Каттасайское	Каттасай	1965	0,055	0,036	2,9
Нурекское	Вахш	1979	10,5	4,5	98,0
Даганасайское	Сырдарья	1981	0,028	0,014	2,8

По сведениям Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии и Бассейновой водохозяйственной организации БВО «Амударья» и «Сырдарья» [4] в эксплуатации находится более 36 поверхностных водозаборов. Для осуществления возложенных на БВО задач по управлению трансграничными водными ресурсами при БВО «Амударья» были созданы управления по эксплуатации водозаборных сооружений, гидроузлов, межгосударственных каналов с Таджикиским центром, расположенным в городе Курган-Тюбе. Территориальная зона действия Курган-Тюбинское центра управления гидроузлов (новое название – Верхнедарьинское управление) охватывает эксплуатацию 8 водозаборных сооружений, контролирует водозаборы из рек Вахш, Пяндж, Кафирниган (рис. 5).

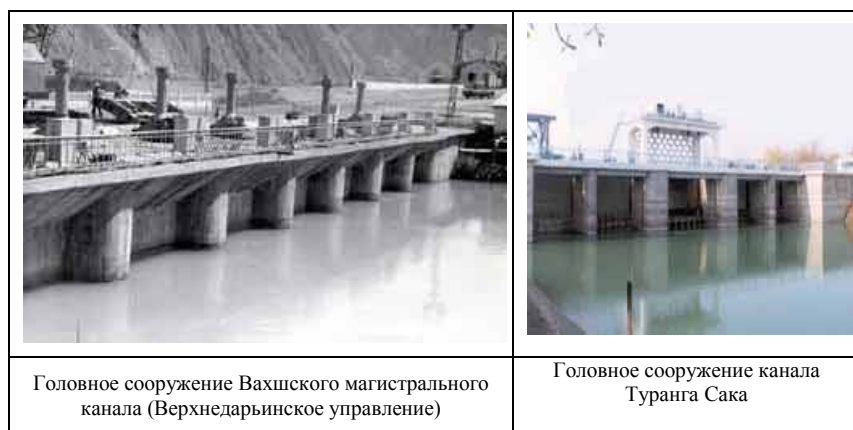


Рис. 5. Головные водозаборные сооружения открытого типа

Все поверхностные водозаборы, расположенные на водохранилищах и реках Амударья (36 водозаборов) и Сырдарья (21 водозабор) ориентированы в основном на обслуживание сельскохозяйственных территорий – ирригацию и водоснабжение населения пяти Центрально-Азиатских республик: Таджикистана, Узбекистана, Туркменистана, Кыргызстана и Казахстана.

Заключение. В результате анализа проектных данных и материалов натурных обследований водозаборных сооружений на водохранилищах Беларуси и Таджикистана была проведена классификация существующих водозаборов по конструктивным элементам и хозяйственному назначению. Совместный сравнительный анализ данных по водозаборам Беларуси и Таджикистана позволил установить перечень характерных водопотребители-

лей Республики Беларусь и Республики Таджикистан, оценить условия расположения и определить общие проблемы эксплуатации сооружений, находящихся в различных зонах водоисточников – водохранилищ с целью их предупреждения и ликвидации.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Динамика формирования берегов малых равнинных водохранилищ / В. Е. Левкевич // Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 149 с.

2. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич, // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С.18–23.

3. Образовский, А. С., Ереснов, Н. В., Ереснов, В. Н., Казанский, М. А. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский [под ред. К. А Михайлова, А. С.Образовского] // М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.

4. Петров, Г. Н. Комплексное использование водно-энергетических ресурсов трансграничных рек Центральной Азии. Современное состояние, проблемы и пути решения / Г. Н. Петров, Х. М. Ахмедов // Душанбе: Дониш, 2011. – 234 с.

УДК 626.3:627.41

Расчет водопроницаемой подпорной стенки для крепления фильтрующих откосов

Михневич Э. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Особенностью работы водопроницаемых конструкций креплений откосов, устраиваемых по типу подпорной стенки, является то, что они не создают подпора грунтовым водам и не испытывают гидростатического давления, но подвержены действию активного давления грунта и гидродинамических сил, создаваемых фильтрационным потоком. Разработаны формулы, которые позволяют рассчитать активное давление грунта и гидродинамическое давление фильтрационного потока на водопроницаемые конструкции креплений для оценки их устойчивости.

Откосы мелиоративных каналов подвержены действию фильтрационного потока. Для их защиты в зоне высачивания грунтовых вод применяют

крепления в виде пригрузки из фильтрующих материалов, которые укладывают на пологие откосы с коэффициентом заложения $m \geq 1/f$. Толщину фильтрующей пригрузки можно определять по ранее разработанной автором методике [1]. Однако во многих случаях, при небольших межвенных расходах воды, для увеличения скоростей течения и предотвращения заиления каналов, уменьшают нижнюю межвенную часть русла устройством более крутых откосов ($m < 1/f$) с креплением их в виде водопроницаемой подпорной стенки (блоки из пористого бетона, фильтрующие плиты с упорами, перфорированная пластмассовая лента с опорными элементами, плетневые стенки и др.). В этих случаях, кроме гидродинамического давления Φ фильтрационного потока, на крепление воздействует активное давление грунта E_a , учет которого для таких конструкций требует разработки новой методики расчета. Методика расчета фильтрующих подпорных конструкций в литературе не приводится.

В теории сыпучей среды известен ряд методов определения активного давления грунта на водонепроницаемые подпорные стенки. В инженерных расчетах таких стенок при плоской наклонной поверхности засыпки чаще всего используют аналитическое выражение (1) [2, 3]:

$$E_a = \frac{\gamma h_k^2}{2} \lambda_a, \quad (1)$$

где E_a – активное давление грунта, Па; γ – удельный вес грунта засыпки, Н/м³; h_k – высота стенки крепления, м; λ_a – коэффициент активного давления грунта, определяемый по формуле

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \frac{\sin(\varphi + \varphi_0) \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos(\beta + \varphi_0) \cdot \cos(\beta - \alpha_1)} \right]^2 \cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \varphi_0)}, \quad (2)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта в воде; φ_0 – угол трения по стенке; остальные обозначения приведены на рис. 1, причем угол β принимают отрицательным при наклоне стенки в сторону засыпки.

При гладкой поверхности стенки и водонасыщенных грунтах обычно полагают $\varphi_0 = 0$. Тогда формула (2) принимает вид

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \frac{\sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos \beta \cdot \cos(\beta - \alpha_1)} \right]^2 \cos^3 \beta}. \quad (3)$$

Для вертикальной стенки ($\beta = 0$)

$$\lambda_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos \alpha_1}} \right]^2}. \quad (4)$$

Если откос, сложенный несвязным грунтом, выше вертикального крепления находится в предельном равновесии при $\alpha_1 = \varphi$, то

$$\lambda_a = \cos^2 \varphi. \quad (5)$$

Из формулы (4) нетрудно видеть, что при $\alpha_1 = 0$

$$\lambda_a = \lambda_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = (-f + \sqrt{1 + f^2})^2. \quad (6)$$

При наличии за водонепроницаемой подпорной стенкой грунтовых вод со свободной горизонтальной поверхностью на уровне верхней грани стенки (линия А – А₁ на рис. 1) суммарное давление (с учетом взвешивающего действия и гидростатического давления воды) Н. К. Снитко [3] выразил следующей зависимостью

$$E = \frac{\gamma h_K^2}{2} \lambda_a + \frac{\gamma_B h_K^2}{2} \left(\frac{1}{\cos \beta} - V_c \lambda_1 \right), \quad (7)$$

где V_c – относительный объем твердой части грунта; λ_1 – коэффициент активного давления грунта при $\alpha_1 = 0$, т.е.

$$\lambda_1 = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left(1 + \frac{\sin \varphi}{\cos \beta} \right)^2 \cos^3 \beta}. \quad (8)$$

При $\beta = 0$, $\lambda_1 = \lambda_0$ по формуле (6).

Для облегчения практических расчетов нами составлены по формуле (3) графики (рис. 2) $\lambda_a = f(\varphi)$ при $\alpha_1 = 20-35^\circ$ ($m_1 = 1,43 - 2,75$).

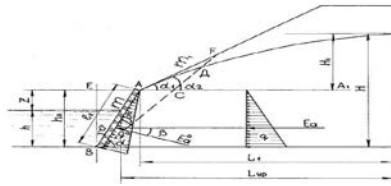


Рис. 1. Схема к расчету давления грунта на водопроницаемую подпорную стенку

Рассмотрим работу водопроницаемой подпорной стенки в качестве крепления откоса мелиоративного канала. За расчетную примем такую схему (рис. 1), когда линия высачивания грунтовых вод совпадает с верхней гранью крепления. Кривую депрессии осредним прямой с уклоном $I_{\Phi} = H_0 / L_1 = \text{tg}\alpha_2$.

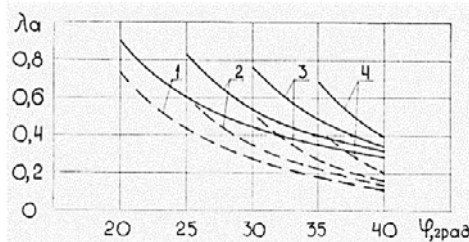


Рис. 2. График для определения активного давления грунта:
 1 – $\alpha_1 = 20^\circ$; 2 – $\alpha_1 = 25^\circ$; 3 – $\alpha_1 = 30^\circ$; 4 – $\alpha_1 = 35^\circ$; — $\beta = 0^\circ$; --- $\beta = 20^\circ$

В силу водопроницаемости (более высокой, чем у грунта) фильтрующее крепление не создает подпора грунтовым водам и не испытывает гидростатического давления. Таким образом, суммарное давление на водопроницаемую стенку будет состоять из активного давления грунта естественной влажности выше поверхности депрессии (в расчетах принимаем невыгодный случай, когда грунт находится в насыщенном состоянии от дождевых осадков и имеет удельный вес γ_n), взвешенного водой грунта ниже поверхности и гидродинамического давления грунтового потока Φ в призме обрушения. Выражая влияние гидродинамического взвешивания по аналогии с формулой (7) и учитывая, что $\gamma_n = \gamma + \gamma_b n$, получим

$$E = \frac{\gamma_n h_k^2}{2} \lambda_a - \frac{\gamma_b h_k^2}{2} (V_c \lambda_1 + n_s \lambda_1) + \Phi. \quad (9)$$

Определяя удельную фильтрационную силу по формуле $f_\phi = \gamma_B I_\phi$ и суммируя выражение в скобках, имеем

$$E = \frac{h_k^2}{2} (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B \lambda_1) + \gamma_B I_\phi \omega', \quad (10)$$

где

$$\lambda_1 = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_2)}{\cos\beta \cdot \cos(\beta - \alpha_2)}} \right]^2 \cos^3\beta}; \quad (11)$$

где ω' – площадь зоны грунта, взвешенного водой (ниже кривой депрессии) в призме обрушения.

Из рис. 1 видно, что $\omega' = \omega'_{ABC} + \omega'_{ACD}$, т.е.

$$\omega' = \frac{h_k^2}{2} \left[\operatorname{tg}(\beta + \rho^\circ) - \operatorname{tg}\beta + \frac{\sin^2\rho^\circ \cdot \sin\alpha_2}{\cos^2\beta \cdot \cos(\rho^\circ + \beta) \cos(\alpha_2 + \rho^\circ + \beta)} \right], \quad (12)$$

здесь ρ° – угол, образуемый плоскостью сдвига с задней гранью стенки.

Максимальное значение угла ρ° определяется из выражения

$$\operatorname{tg}\rho^\circ = -\operatorname{tg}\varphi + \sqrt{\left(1 + \operatorname{tg}^2\varphi\right) \left(1 + \frac{A}{\operatorname{tg}\varphi}\right)} = -f + \sqrt{(1 + f^2) \left(1 + \frac{A}{f}\right)}, \quad (13)$$

где

$$A = \operatorname{tg}\beta + \frac{(H_1 m_1 - H_1 \operatorname{tg}\beta) H_1}{(h_k + H_1)^2} = \operatorname{tg}\beta + \frac{H_1^2 (m_1 - \operatorname{tg}\beta)}{H^2} \quad (14)$$

Для вертикальной стенки ($\beta = 0$)

$$A = \frac{m_1 H_1^2}{H^2}. \quad (15)$$

Осредненный гидравлический градиент I_ϕ можно представить приближенно следующим образом

$$I_\phi = \frac{H_0}{L_1} \approx \frac{2h_k}{H(1,1m_1 + 0,5)}. \quad (16)$$

Упростим (11) и (12), положив $\alpha_2 = 0$ на том основании, что уменьшение активного давления за счет учета взвешивания грунта в призме ACD примерно равно гидродинамическому давлению в этой призме. Тогда

$$\omega' = \frac{h_k^2}{2} [\operatorname{tg}(\beta + \rho^\circ) - \operatorname{tg}\beta]. \quad (17)$$

Коэффициент λ_1 (при $\alpha_2 = 0$) определяется по формуле (8) или по (6) при $\beta = 0$.

Принимая I_Φ по (16) и ω' по (17), окончательно получим

$$\Phi = \frac{\gamma_B h_k^3}{H(1,1m_1 + 0,5)\cos^2\beta(\operatorname{ctgr}\rho^\circ - \operatorname{tg}\beta)}, \quad (18)$$

где $\operatorname{ctgr}\rho^\circ$ можно определить, используя формулу (13).

Для вертикальной подпорной стенки ($\beta = 0$)

$$\Phi = \frac{\gamma_B h_k^3}{H(1,1m_1 + 0,5)} \left[-f + \sqrt{(1 + f^2) \left(1 + \frac{m_1 H_1^2}{fH^2}\right)} \right]. \quad (19)$$

Расчеты показывают, что для конструкций креплений меженного русла (высотой 0,2–0,4 м) величины Φ и $\frac{\gamma_B h_k^2}{2} n_s \lambda_1$ в (9) численно примерно одинаковы и для практических расчетов интенсивности давления q можно использовать следующую простую зависимость:

$$q = h_k (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B V_c \lambda_1), \quad (20)$$

где λ_a определяют по (2) или (3), а λ_1 – по (8) или (6).

Для грунтов, обладающих связностью ($C_c \neq 0$), уменьшение интенсивности бокового давления грунта за счет сил сцепления можно определить по формуле А. Како [3, 4]

$$q_{\text{сц}} = -\frac{C_c}{f} \left[1 - \lambda_a \frac{\cos\beta}{\cos(\beta - \alpha_1)} \right]. \quad (21)$$

Суммарная интенсивность давления на стенку при наличии сил трения и сцепления равна

$$q = h_k (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B V_c \lambda_1) - \frac{C_c}{f} \left[1 - \lambda_a \frac{\cos\beta}{\cos(\beta - \alpha_1)} \right]. \quad (22)$$

Полное активное давление грунта E_a равно площади эпюры интенсивности давления (рис.1)

$$E_a = \frac{1}{2} h_k q. \quad (23)$$

Приведенная методика определения активного давления грунта на водопроницаемые подпорные стенки может использоваться для расчета устойчивости креплений нижней зоны откосов осушительных каналов, выполненных по типу подпорной стенки ($\alpha < \varphi$), таких как блоки и плиты из пористого бетона, конструкции из перфорированной пластмассовой ленты и пр.

Литература

1. Михневич, Э. И. Методика расчетов каналов и коллекторов / Э. И. Михневич, Н. Н. Линкевич. – Минск: БНТУ, 2021. – 126 с.
2. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. – М.: Высшая школа, 1985. – 352 с.
3. Снитко, Н. К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок / Н. К. Снитко. – Л.: Госстройиздат, 1970. – 207 с.
4. Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Долматов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.

УДК 628.16

Особенности методов обработки поверхностных вод озонированием и активированным углем

Волкова Г. А., Ануфриев В. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведен анализ данных изменения показателей качества и состава воды поверхностных водных источников, поступающей на сооружения очистной водопроводной станции, и питьевой воды, поступающей в водораспределительную сеть города. При наличии в воде, поступающей на водоочистные сооружения, запахов 3 балла и выше для снижения их интенсивности рекомендуется применять окислительно-сорбционный метод обработки воды.

Сезонные колебания показателей качества воды в поверхностных источниках водоснабжения характеризуются следующими значениями: тем-

пература – от 1,0 до 24 °С; pH – от 7,15 до 8,6; мутность – от 0,55 до 20,0 мг/дм³; цветность – от 14 до 30 град; перманганатная окисляемость – от 4,6 до 10,0 мг/дм³, общая жесткость – от 3,5 до 4,0 мг/дм³. Для поверхностных источников водоснабжения, в том числе и для водохранилищ, характерно сезонное развитие различных видов водорослей, численность которых изменяется в широких пределах: от 50 до 480000 кл/см³. Максимальное развитие фитопланктона наблюдается в летне-осенний период (июль-сентябрь). Интенсивность развития фитопланктона определяется морфологией водоема и его гидрологическим режимом, количеством поглощаемого света, температурой воды, мутностью, наличием биогенных элементов, продуктами жизнедеятельности самих водорослей, характером почв, пород и водного питания бассейна, дерновым и почвенным покровом чаши водохранилища и деятельностью человека. Повышенная окисляемость и цветность поверхностного источника водоснабжения свидетельствуют о наличии примесей природных органических веществ – гуминовых и фульвокислот, являющихся продуктами разложения органических и неорганических веществ. Массовое развитие, отмирание клеток фитопланктона в поверхностных источниках водоснабжения ухудшает качество воды, приводит к появлению интенсивного запаха, повышению мутности и цветности воды, увеличению концентрации органических веществ, способствует выносу водорослей с водой на водопроводные очистные сооружения и увеличению «грязевой» нагрузки на сооружения. Сине-зеленые водоросли, широко представленные в водохранилищах, производят цианотоксины, концентрация которых возрастает в период интенсивного размножения водорослей. Некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении являются продуцентами пахнущих веществ. Основные проблемы запаха водопроводной воды чаще других возникают в связи с веществами, выделяемыми актиномицетами и цианобактериями родов *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Symploca* и др. Чистые культуры актиномицетов производят запахи, которые характеризуются как землистый, древесный, затхлый, «запах картофельного погреба», медовый, рыбный, травяной. Цианобактерии (сине-зеленые водоросли) видов *Anabaenax* и *Anabaenaflos-aquae* продуцируют геосмин, имеющий землистый запах. Из группы диатомовых водорослей пахнущие вещества продуцируют представители родов *Asterionella* (запах герани и рыбы), *Cyclotella* (травянистый, герани и рыбы), *Tabellaria* (травянистый, герани и рыбы) и *Melosira* (травянистый, герани и затхлости). Зеленые водоросли способны придавать воде запахи травы, иногда – рыбы. Представители золотистых водорослей родов *Synura*, *Dinobryon* и *Uroglenopsis*, которые развиваются в холодное время года, способны придавать воде сильный рыбный запах [1]. В анализируе-

мой воде водохранилищ преобладает землистый, болотный, болотно-землистый, травянистый и рыбный запах интенсивностью от 1 до 3 баллов.

По отечественным нормативным документам запах и привкус питьевой воды строго нормируются, и единственный метод определения данных показателей – органолептический [2]. Характер запаха воды предлагается определять «ощущением воспринимаемого запаха». Без строгой стандартизации метода определения и перечня характеров запахов в такой ситуации существенно возрастает роль субъективного фактора при оценке качества питьевой воды. Получаемые результаты трудно воспроизводятся в рамках одной лаборатории между отдельными испытателями и практически не воспроизводятся между различными лабораториями даже в рамках единого предприятия. В результате анализа данных изменения показателей качества воды по этапам очистки эффект очистки по цветности за период декабрь-март 2018–2020 годов составил – 30–59 %; за период апрель-май – 30–52 %; за июнь-сентябрь – 53–65 %; за октябрь-ноябрь – 47–53 %.

Эффект очистки по показателю перманганатная окисляемость за период декабрь-март 2018–2020 годов составил 22–37 %; за период апрель-май – 28–39 %; за июнь-сентябрь – 44–50 %; за октябрь-ноябрь – 39–50 %, т. е. эффект незначительный.

Для удаления природных органических веществ из воды, снижения интенсивности привкусов и запахов следует применять окислители. Вид окислителя и его дозу следует устанавливать на основании результатов инженерных изысканий (п. 9.9.2, [3]).

Озонирование следует применять при наличии в воде, поступающей на водоочистные сооружения, запахов 3 балла и выше, при наличии запахов в осветленной воде (кроме хлорного запаха) 3 балла и выше, при наличии в питьевой воде, согласно [2], запаха и привкуса 2 балла и выше.

Если в воде, поступающей на ВОС, или в питьевой воде, поступающей в водопроводную сеть города после очистки на ВОС, обнаружены цисты лямблий, энтеровирусы, споры сульфитредуцирующих кластридий, колифаги, а также, если в воде после очистки на скорых фильтрах в результате осуществления мероприятий по повышению санитарного состояния технологических сооружений обнаружены такие загрязнения, как термотолерантные колиформные бактерии, общие колиформные бактерии, следует применять озонирование.

Согласно [4, 5], озонирование является подходящим методом для осветления или обесцвечивания природных вод, содержащих естественные органические вещества в основном неизвестной структуры. Уменьшается UV-абсорбция воды, которая содержит растворенные, в основном желто-коричневые гуминовые вещества. Кроме того, при обработке загрязненных

поверхностных вод озонированием также удается уничтожить вещества, придающие воде запахи и привкусы.

При распространенном в технологии очистки воды удельном потреблении от 1 до 2 г озона на 1 г растворенного органического углерода (DOC), реакция озона с растворенными органическими веществами воды не приводит к количественному 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, химическая потребность в кислороде снижается больше, чем уменьшение растворенного органического углерода (DOC), которое несущественно. Таким образом, кислородсодержащие органические соединения во многих случаях хуже адсорбируются при последующей обработке активированным углем. При этом содержание растворенного органического углерода (DOC) уменьшается за счет адсорбции и биологического разложения.

Если озоновая вода не подвергается последующей обработке, это может привести к размножению микроорганизмов в трубопроводной сети из-за высокой биологической разлагаемости продуктов окисления.

В зависимости от типа ингредиентов, содержащихся в воде, после озонирования может наблюдаться помутнение воды или образование мелких хлопьев (дестабилизация частиц).

В первом случае это может быть появление продуктов осаждения из первоначально растворенных органических соединений. Сюда же относятся и осаждение нерастворимых щелочно-земельных солей органических кислот. Второй известный процесс, дестабилизирующий действие озона, также известен как микрофлокуляция (дестабилизация частиц, вызванная озоном). Он возникает при озонировании мутных углеродистых растворенных органических веществ при добавлении озона приблизительно от 0,5 до 2 мг/дм³. При этом наблюдаются либо прямые эффекты коагуляции, либо улучшенная адгезия частиц к поверхностям коллектора, связанная со снижением мутности и концентрации взвешенных частиц.

Кроме этого, взвешенные вещества лучше отделяются в дальнейшем на скорых фильтрах. В водах, содержащих кальций, при необходимости, эффект может быть повышен путем дозирования меньшего количества флокулянта. Как правило, оптимальная доза озона должна быть определена на соответствующей исходной воде путем технологических испытаний.

Продукты окисления, которые образуются в результате озонирования воды, при последующем хлорировании могут привести к снижению хлоропоглощаемости, уменьшению образования хлорорганических соединений. Однако при наличии бромидов следует отметить, что при окончательном

хлорировании может произойти сдвиг в спектре галогенорганических продуктов в сторону усиленного образования бромированных тригалогенметанов.

В практике подготовки мутных и цветных вод сложного физико-химического состава с преобладанием органических загрязнений, согласно 9.9 [3], предпочтение следует отдавать окислительно-сорбционному методу, при котором на заключительном этапе продукты озонολиза задерживаются на сорбционных гранулированных фильтрах, размещаемых после осветлительных фильтров или других сооружений, обеспечивающих очистку воды от взвешенных веществ до $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Для расчета сорбционных угольных фильтров рекомендуется следующий диапазон величин [6, 7]:

- скорость фильтрования – $10\text{--}20 \text{ м/ч}$;
- высота слоя активного угля – $1\text{--}2,5 \text{ м}$;
- время контакта обрабатываемой воды с углем – $10\text{--}15 \text{ мин}$;
- интенсивность промывки – $10\text{--}15 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$;
- промывка угольной загрузки производится через $2\text{--}3 \text{ сут}$;
- продолжительность промывки – $7\text{--}10 \text{ мин}$.

Потери напора в угольной загрузке составляют от $0,3$ до $0,4 \text{ м}$.

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромки желобов скорых фильтров принимается $1,0\text{--}1,5 \text{ м}$.

Для повышения эффективности работы сорбционных фильтров используют в одном корпусе трехслойную загрузку из макро- и микропористых углей различных марок с толщиной слоев от $0,5$ до $1,5 \text{ м}$ каждый и крупностью зерен от $0,4$ до $4,0 \text{ мм}$. При скоростях фильтрования до 10 м/ч и периодической водовоздушной промывке верхнего слоя такие сорбционные фильтры обеспечивают необходимую доочистку в течение $11,5$ лет без химической или термической регенерации активированного угля. Известно, что частичная деструкция молекул органических веществ при окислении их озоном может вызвать ухудшение их сорбируемости на зернах углей. Результаты исследований, проведенные в НИИ КВОВ, показали, что озонирование целесообразно применять при сравнительно невысокой цветности исходной воды (до $50\text{--}70$ градусов) [7]. Для очистки высокоцветных вод необходимо применение реагентных методов.

Таким образом, обеспечение требуемого качества питьевой воды напрямую зависит от правильности выбранных методов очистки и от технологических режимов работы системы водоснабжения в целом и ее отдельных сооружений. Основные методы и сооружения водоподготовки должны быть определены в зависимости от качества воды, поступающей на ВОС, для достижения качества питьевой воды в соответствии с требованиями [2].

Литература

1. Влияние фитопланктона на формирование качества воды и методы его удаления, Говорова Ж. М., Говоров О. Б., М, СОК, № 2, 2019 г.
2. СанПиН 10–124 РБ 99 Санитарные правила и нормы Республики Беларусь «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»
3. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. СН 4.01.01-2019. – Введ. 09.07.2020. – Мн.: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 73 с.
4. DVGW Technische Regel Merkblatt W 225 / Juni 2015 Ozon in der Trinkwasseraufbereitung. DVGW, Bonn. 16s.
5. DVGW Technische Regel Merkblatt W 225 / Mai, 2002
6. Проектирование сооружений водоподготовки ПП-2019 к ТКП 45–4.01– 320–2018, Минск, 2020 г.
7. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения, АО «НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды», Москва, 1995.

УДК 628.1 (075.8)

Исследование технического состояния наружных систем водоснабжения здания СКТБ БНТУ

Линкевич Н. Н.¹, Ануфриев В. Н.¹, Лемеш М. И.¹, Линкевич А. Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²УП «Минскводоканал»

Минск, Республика Беларусь

Приведены методика натурных исследований, техническое состояние наружных систем водоснабжения СКТБ с опытным хозяйством БНТУ и его оценка. Обоснована необходимость капитального ремонта, замены элементов и конструкций.

Для разработки проектной документации по капитальному ремонту (модернизации) СКТБ с опытным хозяйством БНТУ проводились натурные обследования и оценка технического состояния наружных систем водоснабжения в соответствии с ТНПА [1–3]. Исследования включали: визуальный осмотр наружных систем водоснабжения; оценку технического состояния наружных систем водоснабжения; анализ проектной документации здания и разработку предложений по ремонту. При обследовании

производилось полное визуальное и детальное выборочное обследование наружных и внутренних поверхностей труб, фасонных частей и арматуры.

Наружные сети водоснабжения здания объекта «СКТБ с опытным производством БНТУ по ул. Ф. Скорины в г. Минске» представлены подземными напорными трубопроводами, которые включают внутриквартальную наружную сеть водопровода, распределительные трубопроводы и вводы водопровода в здания. Преимущественно трубопроводы выполнены из чугунных труб диаметром 100, 150, 300 мм. На сети наружного водопровода, смонтировано семь водопроводных смотровых колодцев для размещения арматуры и пожарных гидрантов. При обследовании дополнительно обнаружен смотровой колодец ВК-22а. Для обследования и технического обслуживания все колодцы оборудованы скобами для спуска, кроме колодца ВК-22, оборудованного лестницей. Они выполнены из железобетонных колец с внутренними диаметрами, соответственно, ВК-22, ВК-25 и ВК-29 – 2 м, ВК-22а, ВК-26 и ВК-30 – 1,5 м, ВК-23 и ВК-24 – 1 м. Колодец ВК-22 перекрыт железобетонной крышкой с люком, на которой уложены железобетонные кольца и бордюрная плитка, высота 0,35 м. Глубина колодца 2,28 м. В колодце смонтированы на распределительных трубопроводах диаметром 150 мм две задвижки диаметром 150 мм (рис. 1). Трубопроводы подвержены коррозии.



Рис. 1. Водопроводный колодец ВК-22

Колодец ВК-22а перекрыт железобетонной крышкой с люком, на которой уложены железобетонные кольца и кладка из красного кирпича, высота 0,45 м. Глубина колодца до уровня воды 2,75 м. В колодце смонтирован на распределительном трубопроводе диаметром 150 мм пожарный гидрант (рис. 2).



ВК-22а

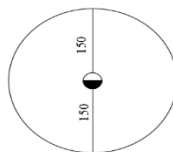


Рис. 2. Водопроводный колодец ВК-22а

Колодцы ВК-23 и ВК-24 затоплены водой. Колодец ВК-23 перекрыт железобетонной плитой, так как отсутствует чугунный люк. В этом колодце смонтирована одна чугунная задвижка диаметром 100 мм, установленная на вводе водопровода в СКТБ. В колодце ВК-23 происходит присоединение ввода водопровода к распределительной сети (рис. 3).

Смотровой колодец ВК-24 перекрыт железобетонной крышкой с люком, на которой уложено железобетонное кольцо, высота 0,50 м. В нем смонтированы одна чугунная задвижка диаметром 300 мм, установленная на распределительном трубопроводе и пожарный гидрант (рис. 4).



ВК-23

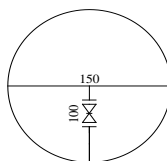


Рис. 3. Водопроводный колодец ВК-23



ВК-24

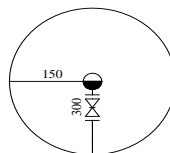


Рис. 4. Водопроводный колодец ВК-24

Верхняя часть колодца (горловина) ВК-25 (рис. 5) выполнена из керамического кирпича, кладка которого произведена на 2 плиты перекрытия, диаметр горловины 0,7 м, высота 0,5 м. Колодец затоплен, захламлен. Глубина колодца 2,4 м, уровень воды 0,15 м. В этом колодце смонтированы две чугунные задвижки диаметром 150 и 300 мм. В колодце происходит присоединение двух вводов в учебный корпус № 20 БНТУ из чугунных труб диаметром 150 мм к внутриквартальной сети из чугунных труб диаметром 300 мм.

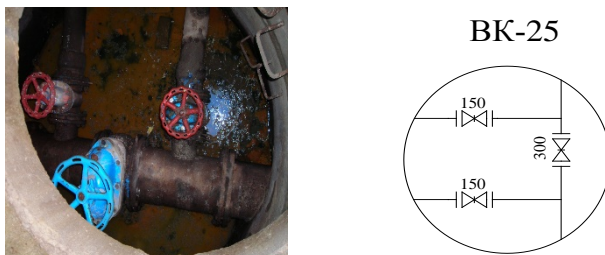


Рис. 5. Водопроводный колодец ВК-25

Колодец ВК-26 перекрыт железобетонной крышкой с люком, высота 0,3 м. В нижней части колодца в месте входа трубопроводов в колодец полость заделана силикатным кирпичом, бетонными блоками. Глубина колодца 2,3 м, он захламлен. В колодце смонтированы пожарный гидрант и одна чугунная задвижка диаметром 150 мм на распределительном трубопроводе, а на нем – ответвление вверх с вентилем диаметром 20 мм (рис. 6).



Рис. 6. Водопроводный колодец ВК-26

Колодец ВК-29 перекрыт железобетонной крышкой с люком, высота 0,3 м. Он затоплен. Глубина до уровня воды составляет 1,9 м. В колодце смонтированы одна чугунная задвижка диаметром 100 мм на вводе водо-

провода в здание и пожарный гидрант. В колодце происходит присоединение ввода в корпус водопровода из чугунных труб диаметром 100 мм к распределительной сети из чугунных труб диаметром 150 мм. Один из патрубков крестовины заглушен, сделан упор в виде отрезка металлической трубы от патрубка к стенке колодца с приваренным металлическим уголком.



VK-29

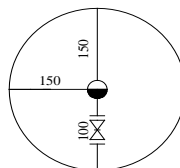
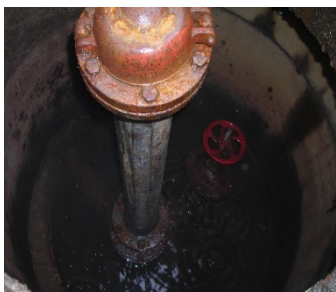


Рис. 7. Водопроводный колодец VK-29

Колодец VK-30 (рис. 8) перекрыт железобетонной крышкой с люком, высота 0,3 м. Нижняя часть колодца выложена кирпичом. Глубина колодца 2,10 м. В колодце смонтированы одна чугунная задвижка диаметром 150 мм на распределительной сети и пожарный гидрант. Возле колодца VK-30 наблюдается просадка асфальта.



VK-30

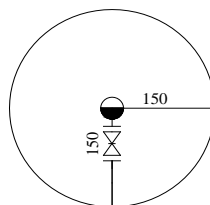


Рис. 8. Водопроводный колодец VK-30

Таким образом, система наружного водоснабжения СКТБ с опытным хозяйством БНТУ находится в неудовлетворительном состоянии: на трубопроводах есть сколы, наблюдается коррозионное разрушение наружной

и внутренней поверхности труб, отсутствуют крышки колодцев и требует капитального ремонта, замены или установки элементов и конструкций.

Литература

1. Техническое состояние зданий и сооружений. СН 1.04.01-2020. – Введ. 23.03.2021. – Мн.: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 66 с.
2. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. СН 4.01.01-2019. – Введ. 09.07.2020. – Мн.: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 73 с.
3. Противопожарное водоснабжение. СН 2.02.02-2019. – Введ. 16.08.2020. – Мн.: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 35 с.

УДК 628.112

Определение КПД насоса-гидроэлеватора

Медведева Ю. А.¹, Ивашечкин В. В.¹, Шейко А. М.²
¹Белорусский национальный технический университет
²ОАО «Белгорхимпром»
Минск, Республика Беларусь

В работе представлены лабораторные исследования гидроэлеватора на экспериментальной установке, а также расчет его производительности. По результатам приведенных измерений гидроэлеватор показал хорошую эффективность

При эксплуатации дебит многих водозаборных скважин вначале снижается, а затем они и вовсе полностью выходят из строя. Уменьшение и прекращение подачи воды из скважин происходит часто вследствие пескования: Песок осаждается в отстойнике и образует песчаную пробку, которая частично или полностью перекрывает фильтр. Для удаления песчаных пробок используют насосы – гидроэлеваторы, которые способны перекачивать пульпу и загрязненные жидкости [1, 2].

В БНТУ в лаборатории гидротехнических сооружений были проведены лабораторные исследования по определению коэффициента инжекции (μ) и КПД (η) гидроэлеватора на экспериментальной установке, представленной на рис. 1.

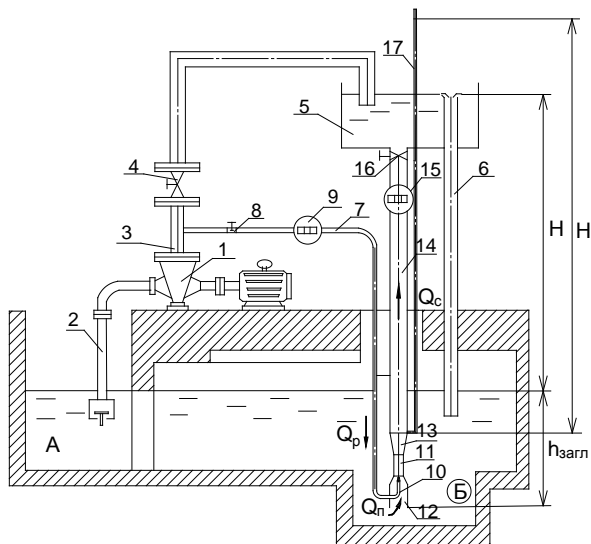


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – центробежный насос; 2 – всасывающая линия насоса;
 3 – нагнетательная линия насоса; 4 – задвижка; 5 – напорный бак;
 6 – холостой сброс; 7 – напорная труба; 8 – вентиль; 9 – водомер;
 10 – сопло; 11 – смешительная камера; 12 – всасывающий патрубок;
 13 – диффузор; 14 – отводящая труба; 15 – водомер; 16 – вентиль;
 17 – пьезометр

Гидроэлеватор смонтирован в приемке Б водооборотного бассейна А (рис. 1). Работает он следующим образом. Рабочая жидкость с расходом Q_p , который измерялся по водомеру 9, подается центробежным насосом 1 в сопло 10 гидроэлеватора по напорной трубе 7. Струя истекает из сопла с большой скоростью V_p , которая зависит от напора, создаваемого центробежным насосом, и площади отверстия сопла. Струя поступает в смешительную камеру 11, давление на входе в нее падает ниже гидростатического и создается разрежение во всасывающем патрубке 12 гидроэлеватора. Из приемки Б в гидроэлеватор начинает поступать жидкость. В смешительной камере 11 происходит смешение 2-х потоков: рабочего и перекачиваемого, и передача части кинетической энергии от первого потока ко второму. В результате этого давление вдоль камеры смешения 11 непрерывно увеличивается, и кинетическая энергия суммарного потока частично переходит в энергию давления жидкости. Гидроэлеватор по отводящей трубе 14 подает в напорный бак 5 суммарный расход Q_c , который измерялся по водомеру 15, равный

$$Q_c = Q_p + Q_n, \quad (1)$$

где Q_n – полезный расход, откачиваемый из приямка Б.

Для определения КПД гидроэлеватора использовали зависимость [3]

$$\eta = \frac{\Delta p_c}{\Delta p_p - \Delta p_c} \cdot u = u \cdot \frac{\left(\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} \right)}{\left(1 - \frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} \right)}, \quad (2)$$

где $\Delta p_c = p_c - p_u$, $\Delta p_p = p_p - p_u$.

Коэффициент инжекции $u = \frac{Q_n}{Q_p}$.

Давление инжектируемого потока перед гидроэлеватором

$$p_u = \rho g h_{\text{загл}},$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $h_{\text{загл}}$ – заглубление входа в гидроэлеватор под уровень воды.

Давление смешенного потока на выходе из диффузора [4]

$$p_c = \rho g H_c,$$

где H_c – показание пьезометра.

Давление рабочего потока перед гидроэлеватором

$$p_p = \frac{\rho v_1^2}{2} (1 + K_n) = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q_p \cdot 4}{\pi d_1^2} \right)^2 \cdot (1 + K_n),$$

где v_1 – скорость на выходе из сопла; K_n – потери напора в сопле; d_1 – диаметр активного сопла.

Результаты лабораторных исследований гидроэлеватора приведены в табл. 1

Таблица 1

Лабораторные исследования гидроэлеватора

№ опыта	Расход рабочей среды Q_1 , л/с	Расход суммарный Q_3 , л/с	Расход полезный Q_2 , л/с	Показания пьезометра H_c , м	КПД, η , %
1	0,49	0,625	0,135	4,74	24
2	0,5	0,6	0,1	4,69	22
3	0,5	0,6	0,1	4,69	22
4	0,48	0,61	0,13	4,71	23
					$\eta_{ср} = 23$

Используя результаты опытов, определим КПД насоса-гидроэлеватора. Давление инжектируемого потока перед гидроэлеватором

$$p_u = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,67 = 6572,7,$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ $h_{\text{загл}} = 0,67 \text{ м}$.

Давление смешенного потока на выходе из диффузора

$$p_c = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,71 = 46205,1,$$

где $H_c = 4,71 \text{ м}$.

Давление рабочего потока перед гидроэлеватором

$$p_p = \frac{1000}{2} \cdot \left(\frac{0,48 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{3,14 \cdot 0,0068^2} \right)^2 \cdot (1 + 0,05) = 92050,4,$$

где $K_n = 0,05$; $d_l = 0,0068 \text{ м}$.

Коэффициент инжекции

$$u = \frac{0,13 \cdot 10^{-3}}{0,48 \cdot 10^{-3}} = 0,27.$$

Тогда

$$\Delta p_c = 46205,1 - 6572,7 = 39632,4,$$

$$\Delta p_p = 82050,4 - 6572,7 = 85477,7.$$

Таким образом, КПД гидроэлеватора по формуле (2) составит

$$\eta = 0,27 \cdot \frac{\left(\frac{39632,4}{85477,7}\right)}{\left(1 - \frac{39632,4}{85477,5}\right)} = 0,23 = 23\%.$$

Литература

1. Авторское свидетельство СССР №1173076. А. М.Кл.4 F04F 5/00. Гидроэлеватор. / В. А. Романов, Н. А. Богомолов (СССР). – Заявка №3688731/25-06; Заявлено 06.01. 1984; Оpubл. 15.08.1985, Бюл. №30 // Открытия. Изобретения. – 1985. – №30.
2. Ивашечкин, В. В. Лабораторные испытания гидроэлеватора для извлечения песчаных пробок из скважин / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко, А. Н. Курч, Ю. А. Бобкова (Медведева) [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 т., Минск, 2013 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 2. – с.109.
3. Соколов, Е. А. Струйные аппараты / Е. А. Соколов, Н.М. Зингер. – Москва: Энергия, 1970. – 288 с.
4. Myrzakhmetov, В. Методика расчетного моделирования режимов работы струйного насоса для транспортировки продуктивных растворов урана / В. Myrzakhmetov, S. Toktamissova, A. Śladkowski // Transport problems: materials XII international conference. – Silesian University of Technology; editor A. Śladkowski [etc.]. – Katowice – Silesia, 2020. – P. 528–538.

**Инновационные технологии
в гидротехническом, энергетическом
строительстве и на водном транспорте**

УДК 620.197.1

Экспериментальная оснастка для изготовления биметаллических дорожных резцов

Качанов И. В., Шаталов И. М., Быков К. Ю., Ленкевич С. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе показана изготовленная экспериментальная оснастка, необходимая для реализации процесса скоростного комбинированного горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов.

Для реализации технологии изготовления биметаллических дорожных резцов методом скоростного комбинированного горячего выдавливания была разработана и изготовлена экспериментальная оснастка.

Комплект оснастки состоит из полуматриц, упора, пуансона, ударника и заготовки.

Фото полуматриц и упора представлено на рис. 1. Полуматрицы выполнены с разъемом в диаметральной плоскости, а их монтаж на опытной установке осуществляется по конической поверхности с углом конусности большим, чем угол заклинивания. Полуматрицы и упор изготовлены из стали 5ХНМ (ГОСТ 5950).

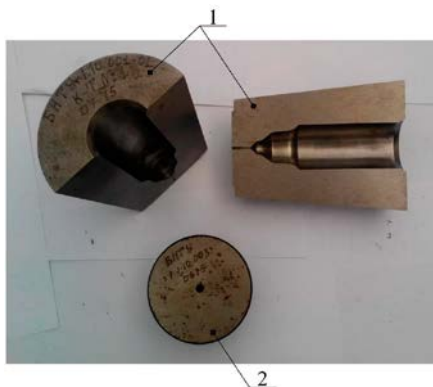


Рис. 1. Полуматрицы и упор:
1 – полуматрицы; 2 – упор

Полуматрицы выполняют следующие функции:

- на начальном этапе процесса СГВ являются контейнером для удержания пуансона и разогретой заготовки в необходимом положении;
- в процессе СГВ являются формообразующим элементом рабочей части резца;
- при завершении процесса СГВ, за счет разъема в плоскости чертежа, позволяют произвести быстрое извлечение полученного резца.

Пуансон, представленный на рис. 2, изготовлен с цилиндрической полостью для формообразования хвостовика и предназначен для пластического деформирования заготовки, разогретой до температуры штамповки. Материал пуансона – сталь 5ХНМ (ГОСТ 5950).

Ударник предназначен для передачи энергии удара на пуансон для осуществления процесса СГВ. Комплект деталей ударника представлен на рис. 3.



Рис. 2. Пуансон



Рис. 3. Комплект деталей ударника

Заготовка для изготовления резцов для снятия асфальтобетонного полотна является составной и состоит из корпуса и рабочей части (рис. 4). В качестве материала корпуса использовалась сталь 40Х и 5ХНМ, а в качестве рабочей части стали Р6М5, Р18 и ДИ23, также сплавы ВК8 и ВК20.



Рис. 4. Заготовка для изготовления резцов для снятия асфальтобетонного полотна

Перед нагревом в корпус заготовки по переходной посадке запрессовывается рабочая часть.

УДК 626/627 (075.8)

Технический уход за грунтовыми гидротехническими сооружениями

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Показана необходимость проведения эксплуатационных работ на гидроузлах. Приведены работы по техническому уходу за грунтовыми гидротехническими сооружениями.

В настоящее время на территории Беларуси действует более 150 (на земном шаре более 100 тыс) водохранилищ (водоемов, площадью поверхности воды более 100 га, образованных водоподпорными сооружениями) различного назначения, предназначенных для целей энергетики, мелиорации, регулирования стока и других хозяйственных нужд, а также более 1500 прудов (водоемов, площадью поверхности воды не более 100 га, созданных посредством перегораживания плотиной малых рек, ручьев, временных водотоков или обвалования территории вне русла в целях накопления и хранения воды).

В республике преобладают водохранилища речного типа. Наиболь-

шие объемы зарегулированного водохранилищами стока рек приходится на бассейны Западной Двины, Немана и Припяти. Наименьшая степень зарегулированности водохранилищами отмечается в бассейнах Западного Буга, Сожа и Днепра. Достаточно часто создаются водохранилища в естественных понижениях рельефа, выработанных карьерах, которые заполняются паводковыми или грунтовыми водами. Такие водохранилища называются наливными. Наибольшее распространение в качестве подпорных сооружений получили грунтовые плотины.

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. Кроме того, происходит взаимодействие между сооружением и его основанием. Все это приводит к изменению параметров эксплуатационной пригодности грунтовой плотины и возникновению отказов. Тяжелые катастрофические последствия возможных аварий гидротехнических сооружений, особенно работающих под напором воды, предъявляют повышенные требования к их надежности.

В процессе эксплуатации надежность гидротехнических сооружений практически остается на том же уровне, повышается или понижается.

В первые годы эксплуатации, когда происходит приработка отдельных сооружений или их элементов (5–7 лет), наблюдается большее число отказов, то есть надежность имеет пониженные значения. В последующие годы наступает период нормальной работы сооружения (все эксплуатационные параметры соответствуют проектным и все требования правил и инструкций соблюдаются), когда число отказов уменьшается. Наступление отказов в первую очередь зависит от условий эксплуатации, изменчивости внешних воздействий, особенно от соответствия их значений тем, которые были приняты в проекте. Для крупных и средних сооружений такой период может составлять 30–70 лет в зависимости от срока службы сооружений. В дальнейшем проявляется снижение пределов сопротивления элементов оборудования под влиянием длительного воздействия неблагоприятных факторов, вызывающих процессы старения и износа. На этом этапе вероятность и число отказов возрастает со временем, надежность сооружений снижается. Срок службы заключительного периода эксплуатации 3–10 лет [1].

Так, из 600 грунтовых плотин, обследованных в Калифорнии (США), после 45–50 лет эксплуатации 105 нуждались в ремонтных работах [2]. Кроме того, по данным зарубежных ученых [3] отмечается повышенная аварийность низких (до 15–20 м) плотин, что является следствием недоста-

точной тщательности их проектирования, строительства и особенно эксплуатации. Вышеприведенные статистические данные подтверждаются обследованиями земляных плотин в Республике Беларусь, эксплуатирующихся больше 50 лет [4, 5], у которых отмечены нарушения работы трубчатых дренажей и выход фильтрационных вод на низовые откосы (рис. 1).



Рис. 1. ГЭС «Алешино»:
a – дефекты трубчатого дренажа; *б* – выход фильтрационного потока на низовой откос плотины

Одним из путей повышения надежности гидротехнических сооружений является эксплуатационный уход.

Уход за грунтовыми гидротехническими сооружениями должен проводиться регулярно в порядке ежедневного технического обслуживания и включает проведение работ и мероприятий, обеспечивающих поддержание их в работоспособном состоянии и создание условий для нормального использования.

В технический уход за ГТС входят следующие основные работы:

- 1) поддержание в исправном состоянии устройств для отвода атмосферных вод: очистка от мусора ливнеотводных лотков и кюветов;
- 2) организация отвода воды при обнаружении застоя воды на гребне земляных сооружений;
- 3) мелкий ремонт подъемных устройств и замена смазки в редукторах;
- 4) проверка состояния контрольно-измерительной аппаратуры (пьезометров, реперов, марок, знаков-указателей и т. д.);
- 5) восстановление и ремонт перильных ограждений;
- 6) поддержание гребня на проектной отметке;
- 7) заделка выбоин и подсыпка гравийно-песчаных материалов в отдельных местах полотна дорог, гребня дамб, плотин, подъездов к сооружениям;
- 8) исправление откосов земляных сооружений до проектной величины их заложения;

9) устранение просадки гребня и откосов путем удаления некачественного грунта, отрывки параллельно гребню траншеи до плотного грунта насыпи и заполнения просадки и траншеи песчано-гравелистым грунтом с надлежащим уплотнением; при пучении грунта на гребне и откосах этот грунт следует удалить и заменить другим — легко дренирующим воду, например, песком или супесью;

10) исправление мелких повреждений в креплениях откосов;

11) при нарушении крепления верховых (напорных) откосов необходимо принимать меры для прекращения его дальнейшего разрушения, недопущения размыва и выноса грунта. В качестве временных покрытий могут быть использованы фашинные или камышитовые тюфяки с пригрузкой камнем, мешки с грунтом, каменная наброска и т. п. При первой же возможности поврежденные крепления должны быть восстановлены;

12) оплывы и промоины на низовом откосе, образующиеся под воздействием ливневых или талых вод, следует расчищать, заполнять местным грунтом и пригружать фильтрующим материалом с отводом вод в ливнеотводящую сеть, которую требуется содержать в рабочем состоянии;

13) неукрепленный низовой откос во избежание выветривания и размыва дождевыми и талыми водами следует укреплять посевом многолетних трав либо сплошной дерновкой;

14) борьба с землеройными грызунами, разрушая их ходы и уплотняя грунт в этих местах;

15) восстановление антикоррозионных покрытий: покраска масляными красками металлических элементов для предохранения от коррозии;

16) восстановление теплогидроизоляционных покрытий;

17) санитарное содержание сооружений, включая очистку и промывку конструкций от загрязнения и снега, околку льда и др.;

18) поддержание зеленого покрова откосов в хорошем состоянии: окашивание не менее двух раз за сезон кюветов и откосов, выборочный ремонт их дерновкой или посевом трав; прогон домашнего скота по грунтовыми плотинам и его выпас в пределах гидроузла не допускаются;

19) побелка известью наружных поверхностей бетонных частей сооружений;

20) посадка деревьев вокруг сооружений и уход за ними, благоустройство прилегающей территории; прорастание на откосах и гребнях грунтовых плотин деревьев и кустарника не допускается, если это не предусмотрено проектом;

21) очистка берм и кюветов каналов от грунта осыпей и выносов;

22) очистка грунтовых плотин от бревен, коряг, щепы и другого сора с вывозом за пределы гидроузла; запрещается сжигание сора на поверхности, и особенно на креплениях, плотинах;

23) своевременно окрашивают лестницы и ограждения, следят за освещением и т. д.;

24) возведение сооружений, складирование грузов на гребнях, бермах и откосах грунтовых плотин допускается после проектного обоснования.

Литература

1. Гогоберидзе, М. И. Обобщение данных статистического анализа аварий и инцидентов в аспекте надежности плотин / М. И. Гогоберидзе, Р. Г. Какауридзе, Ю. Н. Микашвили, Д. Ц. Мирцхулава // Сообщения АН Груз. ССР. – Тбилиси, 1977. – Т. 86, № 3. – С. 681–684.

2. Проектирование и строительство больших плотин. Вып. 3. Повреждение плотин в процессе эксплуатации / сост. В. В. Стольников. Материалы IX Междунар. конгресса по большим плотинам. – М.: Энергия, 1973. – Вып. 4. – 128 с.

3. Schuitter, N. Statistische Sicherheit der Talsperren / N. Schuitter / Wasser, Energia, Luft. – 1976. – Vol. 68. – № 5.

4. Исследование технического состояния сооружений гидроузла на водохранилище «Заславское»: отчет о НИР (заключ.) / Беларус. нац. техн. ун-т; рук. Г. Г. Круглов; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2013. – 76 с.

5. Исследование технического состояния земляной плотины и водосбросного сооружения ГЭС «Алешино»: отчет о НИР (заключ.) / Беларус. нац. техн. ун-т; рук. Г. Г. Круглов; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2011. – 31 с.

УДК 620.197.1

Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозии

Качанов И. В.¹, Шаталов И. М.¹, Филипчик А. В.²,
Недвецкий С. В.², Ковалевич В. С.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Филиал ИППК Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Борисовский р-н, д. Светлая Роща, Республика Беларусь

При эксплуатации машин и механизмов в современных производственных условиях отмечается значительный рост потерь от коррозионных разрушений, что требует резкого улучшения мер по очистке и противокоррозионной защите. В работе приведен анализ существующих технологий очистки металлических поверхностей от коррозии, а также показан

результат очистки лопастей гребного винта от коррозии по технологии ГАО с применением бентонитовой глины.

Выбор того или иного способа очистки зависит от объема выполняемых работ, типа коррозии, размеров очищаемых изделий [1–3].

Рассмотрим основные способы очистки металлических поверхностей от коррозии, которые применяются за рубежом и в Республике Беларусь.

Механический способ предусматривает очистку механизированным инструментом, рабочими органами которого являются металлические щетки, иглофрезы, шлифовальные круги и т.п. [1–3].

Производительность очистки металлических поверхностей от коррозии с помощью механизированного инструмента составляет 2–10 м²/ч, а энергоемкость процесса 0,5 кВт ч/м² [3].

Основными недостатками механических способов являются: применение ручного труда; образование замкнутой кинематической системы инструмента с обрабатываемой поверхностью; влияние тепловыделения и вибрации на качество обрабатываемой поверхности [3].

Термические способы очистки поверхностей от продуктов коррозии основаны на нагреве пламенем, например из кислородно-ацетиленовой горелки, до температуры их сгорания [3].

Для исключения коробления и температурной деформации данный способ применяется для металлов с толщиной не менее 6 мм. Производительность очистки составляет 1–1,5 м²/ч [3].

Сложность применяемого оборудования и высокие требования по технике безопасности ограничивают использование этих способов на машиностроительных предприятиях [3].

Струйно-абразивные способы очистки находят широкое применение при очистке поверхностей от коррозии, нагара, окалины, старых лакокрасочных покрытий. В качестве абразива используется кварцевый песок, корунд, стальная или чугунная дробь и другие материалы [1–3].

Мировой промышленный опыт показывает, что из струйно-абразивных способов достаточно широкое распространение получили пескоструйная и дробеструйная очистка металлических поверхностей от коррозии [1–3].

Пескоструйная очистка металлических поверхностей от коррозии осуществляется либо с использованием пескоструйного аппарата с пневматическим приводом и специальными соплами, либо с помощью пескомета, который бросает песок вращающимися лопатками на обрабатываемую поверхность. Производительность при пескоструйной очистке составляет 2–3 м²/ч [3].

Значительная запыленность, которая может приводить к заболеванию силикозом у рабочего персонала, засорение близлежащего оборудования,

повышенный износ струеформирующих устройств, сопровождающих работу пескоструйных аппаратов, ограничивают применение данного способа на промышленных предприятиях. [3].

Дробеструйная очистка отличается от пескоструйной тем, что в качестве абразива используется чугунная или стальная дробь. При работе с дробью требуется давление порядка 0,6–0,7 МПа. Размеры частиц составляют 0,6–0,8 мм. Производительность дробеструйной очистки составляет 5–8 м²/ч [3].

Однако при контакте частиц дроби с обрабатываемой поверхностью возникает высокая температура в зоне обработки. Повышенный износ струеформирующего устройства является негативным фактором, сопутствующим дробеструйной очистке [3].

Кроме струйно-абразивных способов очистки применяются гидравлические способы очистки, исключаящие запыленность воздуха, температуру в зоне обработки. Гидравлические способы очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии можно разделить на три группы: гидроабразивный; гидродинамический; кавитационный (очистка струей жидкости с использованием эффекта кавитации в струйном потоке) [3].

Гидроабразивная очистка (ГАО) предусматривает использование в струйном потоке жидкости таких абразивных материалов как стекло, пемза, кварц, гранит, тальк, известняк. При ГАО длительность работоспособности абразивной частицы обратно пропорциональна ее диаметру [1, 3].

При гидроабразивной обработке на поверхности обрабатываемой детали образуется жидкостная пленка, заполняющая неровности поверхности; абразивные частицы при ударе по выступающим неровностям не преодолевают сопротивления этой пленки и поэтому воздействуют только на выступы; частицы же, которые ударяют по впадинам, должны преодолеть сопротивление жидкостной пленки и поэтому эффективность их воздействия невелика. Вследствие этого происходит постепенное уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности до $Ra = 0,05–1$ мкм [3]. Производительность гидроабразивной обработки составляет 5–6 м²/ч [3].

К числу достоинств гидроабразивного способа можно отнести: отсутствие пылевыведения в процессе очистки; устранение проблемы разупрочнения поверхности за счет теплоотвода повышенной температуры в зоне обработки посредством воды; отсутствие зависимости от исходной шероховатости обрабатываемого материала; повышенный срок использования абразива за счет демпфирующего действия рабочей жидкости [3].

Для реализации способа ГАО используется сравнительно недорогое оборудование, состоящее из насоса, бункера, шланга и насадка; к тому же не требуется персонал высокой квалификации [1–3].

Гидродинамический способ очистки предусматривает использование струй воды низкого (до 1 МПа), среднего (1–5 МПа) и высокого давления (50–60 МПа) [1–3].

Преимуществом способа гидродинамической очистки является то, что при ее проведении не повреждаются поверхности самих очищаемых металлических изделий, для ее реализации не требуется высококвалифицированный персонал [3].

Основным препятствием на пути применения высоконапорных гидродинамических установок является их высокая стоимость, большие габариты, значительные энергозатраты [3].

Кавитационный способ очистки основан на эффекте создания в струе рабочей жидкости кавитационных парогазовых микропузырьков и их схлопывании на очищаемой поверхности [3].

При коллапсе пузырька в жидкости генерируются волны разрежения-сжатия, способные на обработанной поверхности сформировать кумулятивные микроструйки со скоростями движения в 100–520 м/с [3].

Очистка от коррозии кавитационными струями является эффективным способом обработки поверхностей, а присутствие кавитационных пузырьков усиливает эрозионное воздействие струи [3].

Существенными недостатками гидравлических способов очистки являются: необходимость обязательного пассивирования поверхности; повышенный износ струеформирующих устройств [3].



Рис. 1. Очистка лопасти гребного винта от коррозии:
a – лопасть гребного винта до ГАО; *б* – лопасть гребного винта после ГАО
с использованием бентонитовой глины

Результаты исследований, проведенных на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ, показывают (рис. 1, *a*, *б*), что весьма эффективно для борьбы с коррозией

может быть использована технология ГАО с применением бентонитовой глины, обеспечивающая наряду с очисткой, подготовку металлических поверхностей под покраску и формирование защитного пленочного покрытия с высокой адгезионной прочностью [3].

Из анализа проведенных испытаний было установлено, что в течении как минимум 8 часов после обработки металлическая поверхность сохраняла матовый цвет, очаги возникновения повторной коррозии отсутствовали.

Выводы:

1. Проанализированы основные способы очистки металлических поверхностей от коррозии, применяемые за рубежом и в Республике Беларусь.

2. Приведены результаты очистки гребного винта по технологии ГАО с применением бентонитовой глины.

Литература

1. Технология судостроения / В. Л. Александров [и др.]; под общ. ред. А. Д. Гармашева. – СПб.: Профессия, 2003. – 341 с.

2. Неверов, А. С. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие / А. С. Неверов, Д. А. Родченко, М. И. Цырлин. – Мн.: Высшая школа, – 2007. – 221 с.

3. Филипчик, А. В. Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Филипчик Алексей Вячеславович. – Мн., 2012. – 146 с.

УДК 629.55

Об использовании конической насадки в водометных движителях речных судов

Афанасьев А. П.¹, Кособуцкий А. А.², Ленкевич С. А.²

¹ОАО «Белсудопроект»

Гомель, Республика Беларусь;

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В статье приводится краткое обоснование применения конической насадки в водометных движителях речных судов.

При эксплуатации речных судов, например, буксирных теплоходов проекта 570 и 730, на реках и каналах Республики Беларусь возникают

затруднительные ситуации при прохождении этими судами мелководных и извилистых участков рек. В этом случае возможно появление двух основных отрицательных эффектов при эксплуатации судна:

- посадка судна на дно реки на участке мелководья;
- достаточно резкое падение скорости движения на извилистых участках рек из-за отсутствия надлежащей тяги водометного двигателя.

В первом случае для устранения отрицательного эффекта можно использовать днищевую воздушную каверну. Во втором случае, для увеличения тяги водометного двигателя, предлагается использовать конически сходящуюся насадку (конфузор) 2, которую необходимо установить между водометной трубой с гребным винтом 1 и рулевым устройством 3 речного судна (рис. 1).

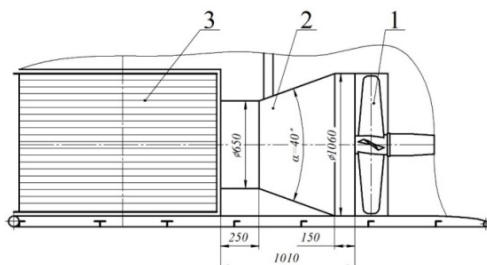


Рис. 1. Струеформирующий насадок между водометной трубой и рулем МБТ

При движении судна вода попадает на рабочее колесо (гребной винт), где ускоряется лопастями рабочего колеса.

Далее поток воды поступает в спрямляющий аппарат, где изменяет направление так, чтобы уменьшить потери энергии, вызванные закруткой потока на гребном винте. Затем поток воды поступает в сужающиеся сопло (конически сходящийся насадок), которое позволяет в 1,1–1,2 раза увеличить тягу водометного движителя.

Сужающееся сопло конфузора для увеличения тяги, может быть выполнено (по данным теоретических и лабораторных гидравлических исследований, проведенных на кафедре ГЭСВТГ БНТУ), с углом конусности в пределах 40–45° (среднее значение 41–42°) [1].

Поток воды, проходя через такое сужающее сопло, плавно сжимается, увеличивая свою скорость более чем в 2 раза. При увеличении скорости движения потока воды попутно увеличивается количество движения и возникает импульс реактивной силы, направленный в сторону движения судна, который далее увеличивает тягу водометного движителя.

При использовании струеформирующего конфузора на гребном винте речного судна, например, буксира проекта 570 (или 730), входной диаметр предлагаемого конического насадка (конфузора) выполняется диаметром 1060 мм, выходной диаметр – 650 мм.

Тогда используя уравнение неразрывности и сплошности потока и теорему изменения количества движения, можно оценить порядок величины реактивной силы и степень увеличения тяги судна.

При установившемся движении воды через гребной винт, можно записать уравнения неразрывности и сплошности потока и изменения количества движения для конфузора в виде

$$Q_1 = Q_2 = Q = \text{const} \text{ или } v_1 S_1 = v_2 S_2 \\ m v_1 - m v_2 = \Delta R t$$

где v_1 и v_2 – средние скорости в начале и в конце конфузора; S_1 и S_2 – площади поперечного сечения в начале и в конце конфузора; Q_1 и Q_2 – объемный расход в конфузоре, равный $Q = \text{const}$; m – масса воды, проходящей через гребной винт и конфузор; $R \Delta t$ – импульс реактивной силы.

Решение системы этих уравнений позволяет оценить порядок величины реактивной силы и степень увеличения тяги буксирного теплохода проекта 570 (730). Для этого преобразуем уравнение изменения количества движения

$$m v_1 - m v_2 = R \Delta t$$

Учитывая, что $\frac{m}{\Delta t} = M$ – массовый расход воды, который можно выразить в виде

$$M = \rho Q,$$

это уравнение запишем следующим образом

$$\rho Q v_1 - \rho Q v_2 = R,$$

где R – реактивная сила, увеличивающая тягу судна; ρ – плотность воды.

Выразим скорость v_2 через v_1 , используя уравнение неразрывности

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = v_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2,$$

где D – больший диаметр конфузора; d – меньший диаметр конфузора.

В результате получим

$$v_2 = v_1 \left(\frac{106}{65} \right)^2 = v_1 \cdot 2,66$$

С учетом этого соотношения можно записать

$$\rho Q v_1 (1 - 2,66) = R, \quad R = -1,66 \rho Q v_1,$$

т.е. использование конически сужающегося насадка конфузора теоретически может увеличить тягу судна приблизительно на 60–70 %. Знак «–» говорит о том, что реактивная сила направлена в сторону движения судна, т.е. действует противоположно по отношению к струе, вытекающей из насадки конфузора.

Эксперимент, проведенный в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ, показал, что при использовании сопла с углом конусности $\alpha = 41\text{--}42^\circ$, тяга водометного двигателя примерно увеличивается на 15–20 % из-за механических, гидравлических и тепловых потерь при работе водометного двигателя.

Литература

1. Качанов, И. В. Расчет оптимального угла конусности, используемого для реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии / И. В. Качанов, И. М. Шаталов, А. Н. Жук, В. В. Верременюк, А. В. Филиппчик // Наука и техника. – 2019. – Т.18. – № 3. – С. 216 – 222.

УДК 629.55

Экспериментальные исследования 3D-моделей корпусов мелкосидящих судов в гидродинамическом лотке

Ключников В. А.¹, Ленкевич С. А.¹, Афанасьев А. П.², Кособуцкий А. А.¹

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь;

²ОАО «Белсудопроект»

Гомель, Республика Беларусь

В статье приведены результаты лабораторных исследований 3D-моделей корпусов мелкосидящих буксирных теплоходов (МБТ) в гидродинамическом лотке. Даны рекомендации по снижению гидравлического сопротивления и увеличения подъемной силы при эксплуатации судов на мелководных участках рек и каналов Республики Беларусь.

При эксплуатации речных судов, например, буксирных теплоходов (МБТ) проекта 570 (или 730), на мелководных и извилистых участках рек возникают сложности с прохождением судами этих участков. На этих участках рек резко уменьшается величина пропульсивного комплекса МБТ, который является основной характеристикой эффективной эксплуатацией судов; увеличивается сила сопротивления движению; резко падает тяга водометного двигателя; происходит присасывание судна к дну водотока (реки или канала).

Одной из составляющих силы сопротивления движению судна является сила трения, возникающая в пристеночном слое днищевой части судна и связанная с вязкостью воды. Уменьшить сопротивление трения можно за счет уменьшения смоченной поверхности корпуса судна, либо понижением вязкости воды, омывающей эту поверхность.

Одним из путей уменьшения смоченной поверхности является создание воздушной каверны в днищевой части судна (рис. 1), представляющей из себя полость в днище судна, в которой с помощью нагнетателей поддерживается давления газа (чаще воздуха), изолирующего судно от воды.

Следует отметить, что у мелкоосидающих судов (МБТ), при определенных режимах движения, возникает нежелательное явление – присасывание судна к дну, вследствие падения давления под днищевой частью. При создании воздушной каверны под днищевой частью судна это явление исчезает, т. к. при подаче воздуха возникает вертикальная подъемная сила, что исключает присасывание судна к дну водотока.



а

б

Рис. 1. Конструкция днища корпуса 3D-модели МБТ:
а – с каверной и трубчато-перфорированной подачей воздуха без скегов;
б – с блочно-пакетной подачей воздуха со скегами

Для оценки величины силы сопротивления движению и подъемной силы при движении МБТ проекта 570 (или 730) в гидравлической лаборатор-

рии кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ были проведены исследования 3D-моделей корпуса МБТ. Экспериментальная установка включала в себя гидродинамический лоток, программно-измерительный комплекс для регистрации усилий, 3D-модель корпуса судна с днищевой каверной и системой подачи воздуха.

В процессе проведения исследований выяснялся вопрос влияния параметров подачи воздуха в днищевую каверну на величину силы сопротивления движения судна и величину подъемной силы.

Исследования проводилась при следующих конструктивных особенностях 3D-модели корпуса МБТ:

- без скег (рис. 1, *a*);
- со скегами переменной высоты: 0,5 см, 1 см (рис. 1, *б*);

Установка скег препятствовала перетеканию нагнетаемого воздух, из днищевой части модели через боковые части корпуса в окружающей поток воды и тем самым позволяла под днищем 3D-модели корпуса судна создать компактную воздушную каверну.

Для каждого из перечисленных вариантов, подача воздуха в днищевую часть модели производилась двумя способами:

- при помощи блочно-пакетной конструкции (рис. 2);
- при помощи трубчато-перфарированной конструкции (рис. 3).



Рис. 2. Блочно-пакетная конструкция подачи воздуха



Рис. 3. Трубчато-перфарированная конструкция подачи воздуха

Исследования проводились при скоростях потока $V = 0,26$ м/с и $V = 0,53$ м/с. Основные результаты исследований представлены на рис. 4, 5.

На представленных графиках по оси ординат приводятся значения сил, действующих на модель, в Н (ньютонх): X – сила в горизонтальной плоскости – сила гидравлического сопротивления движению, Y – сила в вертикальной плоскости – подъемная сила. По оси абсцисс указаны значения давления подачи воздуха P , атм.

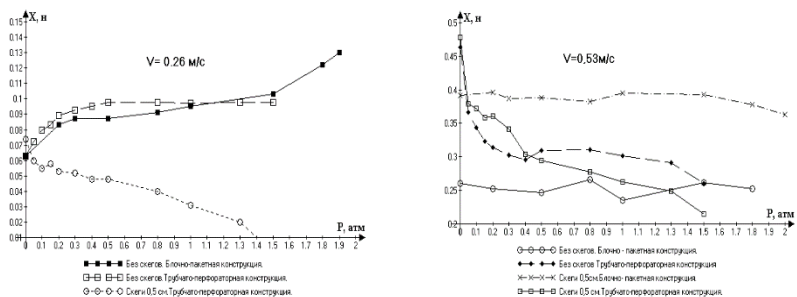


Рис. 4. Зависимость горизонтальной силы сопротивления X_r от давления воздуха и схемы его подачи

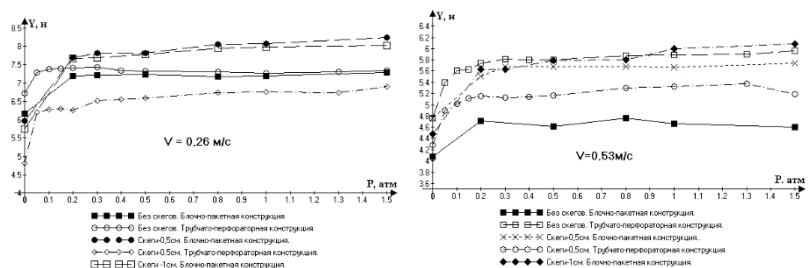


Рис. 5. Зависимость вертикальной подъемной силы Y_v от давления воздуха и схемы его подачи

Анализа полученных результатов, проведенных позволил сделать следующие выводы:

1. Установлен положительный эффект от создания воздушной каверны в днищевой части 3D-модели корпуса МБТ. Снижение силы сопротивления достигало 57 %, а увеличение подъемной силы 36 %. Полученный положительный эффект зависит от способа подачи воздуха и конструкции днища судна, а именно:

- конструкции днищевой части корпуса: со скегами и без скег;
- конструкции распределения воздуха: трубчатого или пакетного;
- направления подачи воздуха по отношению к набегающему потоку;
- скорости набегающего потока;
- давления воздуха, подаваемого в днищевую часть судна.

2. Наибольший эффект на 3D-модели корпуса проявляется для конструкции со скегами высотой 0,5 см и трубчатой подачей воздуха при скоро-

сти $V = 0,53$ м/с. С увеличением высоты скег этот эффект пропадает из-за увеличения сопротивления на смоченной поверхности скег.

3. По способу распределения воздуха в днищевой части следует отдать предпочтение трубчатой конструкции, т. к. в этом случае подачи воздуха осуществляется в двух направлениях: в сторону днища и по направлению потока, а в блочно-пакетной схеме направление подачи воздуха только одно-перпендикулярно набегающему потоку, что создает добавочное гидравлическое сопротивление.

4. Увеличение подъемной силы проявляется при различных конструкциях корпуса и разных скоростях потока. Наибольший эффект от действия подъемной силы наблюдается при малых скоростях и скеговой конструкции, при этом способ подачи воздуха существенно не влиял на величину подъемной силы.

5. Оптимальное давление подачи воздуха в днищевую часть 3D-модели судна составило $P = 0,02-0,04$ МПа. Дальнейшее увеличение давления не влияло на рост подъемной силы, а лишь приводило к росту силы гидравлического сопротивления движению.

УДК 626: 8: 624.131.6

Мониторинг водного режима сельскохозяйственных земель, примыкающих к осушительным системам

Курчевский С. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Изложено влияние мелиоративных систем на режим грунтовых вод смежных территорий. Дана оценка суммарного эффекта осушения на продуктивность прилегающих земель с учетом зон положительного, отрицательного и нейтрального его проявления.

Под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования болот изменяются гидрогеологические условия на прилегающей к ним территории: увеличиваются уклоны потоков грунтовых вод, разгружающихся в пределах осушаемых болот, понижаются их уровни, изменяются элементы баланса (инфильтрация, испарение, отток, взаимосвязь с нижележащими водоносными горизонтами). Оценка этих изменений представляет не только научный, но и практический интерес, поскольку за ними следуют смена биоценозов, снижение продуктивности сельхозугодий, а также падение дебитов водозаборных скважины родников.

Эти процессы изучались многими исследователями. По данным Ш. И. Брусилковского, А. Г. Булавко и К. Ф. Янковского, В. В. Дрозда, Б. С. Маслова и других, зона заметного влияния осушительных систем на уровни грунтовых вод (УГВ) прилегающих территорий, сложенных толщей песчаных и песчано-суглинистых отложений, составляет 0,5–3 км, понижение уровней в ее пределах колеблется от 8–20 см до 60–130 см.

Изменение УГВ проявляется многообразно и зависит от ряда факторов. Главными из них являются: существовавший до осушения болота режим УГВ на прилегающих землях, на болоте после осушения, количество инфильтрующихся осадков, достигающих УГВ, и др. На высоко расположенных по отношению к болоту землях с УГВ более 2 м от поверхности влияния осушения на водообеспеченность растительного покрова не отмечено.

Исследования режима УГВ на территориях, примыкающих к осушаемым болотам, дают основание утверждать, что влияние осушения во времени завершается конечным, вполне определенным состоянием. В большинстве случаев стабилизация УГВ на сопредельных территориях происходит в сравнительно короткое время и редко превышает четыре года [1]. Время стабилизации зависит от сугубо гидрогеологических условий сопредельных территорий и понижения УГВ. При проектировании осушительных систем и разработке природоохранных мероприятий с достаточной степенью точности продолжительность неустановившегося режима грунтовых вод на сопредельной территории можно оценить по следующей зависимости [1]:

$$T = \mu \Delta h^2 / 2\pi k m a i \quad (1)$$

где T – время стабилизации УГВ, сут; Δh – понижение УГВ на границе осушительной системы или по трассе нагорно-ловчего канала, м; k – среднее значение коэффициента фильтрации грунтов в зоне влияния мелиоративной системы, м/сут; m – средняя мощность грунтового потока, м; μ – водоотдача грунтов, доля ед.; i – среднее значение уклона грунтовых вод при естественном режиме; a – коэффициент «висячести», учитывающий несовершенство канала по степени вскрытия водоносного горизонта, значение которого определяется по формуле С. Ф. Аверьянова [2].

Значением a в формуле (1) можно пренебречь, когда грунтовый поток имеет большую протяженность, а мощность водоносного горизонта составляет 20 м и более.

До истечения времени T в любой из точек зоны влияния осушения режим грунтовых вод не может рассматриваться как «стационарный». Продолжительность периода T , в течение которого на расстоянии x от осушительной системы наблюдается «неустановившийся режим» грунтовых вод, можно рассчитать по формуле:

$$T-t(x) = \mu (\Delta h^2 - x^2/i^2)/2\pi k m a i, \quad (2)$$

где $t(x)$ – время запаздывания («добегание») волны влияния мелиоративной системы на УГВ сопредельной территории на удалении x от границы.

Оценка продолжительности периода формирования зоны влияния осушительной системы T по зависимости (1) хорошо согласуется с натурными данными, полученными при проведении экспериментальных работ в бассейне р. Припяти [1].

Утверждение, что кривая депрессии от границы болота в сторону прилегающих земель описывается экспоненциальной зависимостью [3], не учитывает характерные особенности кривой. Дело в том, что на некотором удалении от болота она имеет прогиб с точкой минимума на многолетней кривой депрессии.

В прогнозных расчетах положения кривой депрессии на прилегающих к осушенным массивам землям, не имеющих нагорно ловчих каналов, исходят из того, что УГВ на болоте известен и является величиной постоянной [4]. Однако на самом деле такого фиксированного уровня не существует, более того, налицо его значительные колебания в течение года в зависимости от водопотребления сельскохозяйственных культур и метеорологических условий. Не учет этих колебаний, а также инфильтрации осадков на прилегающих землях приводит к значительному расхождению в раз мерах зоны влияния мелиорации на смежные территории.

Необходимо отметить, что в дальнейшем, по мере эксплуатации мелиоративных систем, положение УГВ на сопредельных территориях определяется с учетом осадки (сработки) торфяной залежи.

Основной водной артерией изучаемого объекта «Средняя Морочь» является р. Морочь. Долина реки слабо выражена в рельефе, за исключением верхнего течения, где она суживается и прослеживается более четко. Склоны долины пологие, в северной части средней крутизны, местами крутые; ширина поймы колеблется от 0,3 до 1 км. Региональным водупором являются глинистые отложения московско-днепровской морены, залегаюшей на глубине около 60 м. Водоносный горизонт составляют мелкозернистые пески с коэффициентом фильтрации $K = 3,5$ м/сут, коэффициент водоотдачи $\mu = 0,2$.

Весенний подъем УГВ вызван повышением температуры воздуха до положительных значений в конце февраля – начале марта, что приводит к интенсивному таянию снега, а также большим количествам осадков в марте. Внутригодовая динамика УГВ четко прослеживается по трем характерным периодам: зимний спад, весенний подъем (максимум) и летний спад (минимум).

Сезонные и годовые амплитуды колебания УГВ зависят прежде всего от мощности зоны аэрации и в меньшей степени – от геоморфологической при-

надлежности участка. Зимний спад происходит с января по февраль включительно, прерываемый локальными повышениями с очень незначительными амплитудами (до 0,3 м). Продолжительность зимнего спада – 25–50 сут.

Начало весеннего подъема уровней приходится на конец февраля – начало марта, максимум – с 30 марта по 10 апреля. Следующий за весенним подъемом летний спад начинается во второй половине апреля и продолжается до конца периода. Амплитуда летнего спада меняется от 0,36 м до 1,53 м.

Было установлено, что положение уровней в пределах болота изменялось в летний период (май–сентябрь) в пределах 0...40 см до осушения и 50–160 см после. Максимальная глубина залегания грунтовых вод наблюдалась в конце и в середине лета, минимальная – в начале вегетационного периода. Снижение УГВ составило в среднем 21 см. Эти данные хорошо согласуются с данными других авторов, полученными в условиях Украинского Полесья и при исследованиях на Мещерской низменности.

Ежегодные колебания УГВ на осушаемом болоте происходят значительно быстрее, чем на прилегающих землях, в результате действия мелиоративной сети. Кривая депрессии, отражающая годовой цикл колебания УГВ, в таком случае приобретает сложное очертание – с точкой перегиба на некотором удалении от болота. В наших исследованиях это расстояние составило 148 м, что обусловлено также и тем, что инфильтрация влаги до УГВ на болоте и прилегающих землях неадекватна из-за различия в слагаемых почв, строении зонаэрации, в растительности и из-за других условий.

Как показали наши исследования на форму кривой депрессии большое влияние оказывает скорость подъема воды в канале, реке. При малых скоростях грунтовые воды могут фильтроваться в канал, реку и питать их, при этом кривая депрессии повышается. При большой скорости подъема уровня появляется обратный уклон кривой депрессии, то есть река или ловчий канал питают грунтовые воды. Однако существует промежуточная скорость подъема уровня (критическая), при которой канал или река не питают грунтовые воды, в то же время грунтовые воды не поступают в реку или канал.

При наступлении второго пика в сторону прилегающих земель будет идти инфильтрация, при этом вся кривая депрессии переместится вверх. По формулам, приведенным в [4, 5], можно построить кривую подпора в сторону прилегающей территории, имея данные о времени стояния уровня воды на некоторой отметке. С понижением уровня в канале в него начинает поступать фильтрационная вода, при этом образуется бугор растекания. Поскольку наинизшим положением считается состояние кривой депрессии перед началом второго подъема, то в последующее время она не может опуститься ниже.

При достаточно частом повторении промежуточных подъемов УГВ растекание бугров будет способствовать некоторому постоянному превышению

положения кривой депрессии над наиминизшим уровнем. Из этого следует, что кривая депрессии у канала будет иметь затухающие бугры растекания (в виде некоторой волнистой линии), которые создают подпор фильтрующей-ся в канал воде. Однако установить очертание кривой депрессии в пределах определенного расстояния не представляется возможным из-за многообразия гидрографов уровней для одного и того же канала в разные годы. В связи с этим более надежным методом определения положения многолетней кривой депрессии 5, как показали наши исследования, будет среднее значение нижнего предельного положения 6 и верхнего 4 (рис. 1).

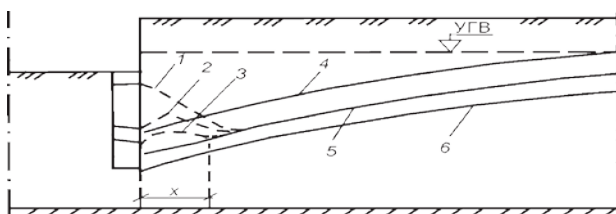


Рис. 1. Влияние уровней воды в канале на формирование депрессионной кривой грунтовых вод:
1, 2, 3 – максимальный и промежуточные пики; 4, 6 – верхнее и нижнее предельные положения кривой депрессии; 5 – многолетняя кривая депрессии уровней грунтовых вод

Для оценки суммарного эффекта влияния мелиорации на прилегающие территории необходимы сведения о пространственном распределении зон влияния. Такие материалы получены в результате натуральных наблюдений за УГВ за периоды до и после осушения на мелиорированном и естественном водосборах. Представляется целесообразным увязывать фактические значения понижения УГВ на смежных площадях с исходными для того, чтобы определить границы зон положительного, отрицательного и нейтрального влияния сниженного УГВ на продуктивность угодий.

Заключение.

1. Исследования показали, что до проведения мелиоративных работ 7,4–9,8 % прилегающих к болотам территорий были переувлажнены. За счет краевого эффекта осушения их водный режим изменился в благоприятную сторону без дополнительных материальных затрат. В результате осушительных работ увеличились площади земель с уровнями грунтовых вод от 1,1 до 2 м, в разряд которых перешли и ранее переувлажненные участки. По имеющимся литературным данным, в зависимости от физико-географических условий зоны положительного и отрицательного влияния мелиорации могут достигать соответственно 26,1 и 22,3 % прилегающей территории. Однако во всех случаях наибольший удельный вес падает на земли, не изменяющие

своего водного режима. К ним относятся участки, где УГВ до осушения находился на глубине более 2 м от поверхности.

2. В практике сельскохозяйственного производства важным является определение реакции возделываемых культур на изменение водного режима. Лизиметрические исследования, полевые опыты, производственные посевы показали, что суммарный эффект влияния осушения на прилегающие земли с учетом зон положительного, отрицательного и нейтрального его проявления скорее положительный. Во влажные годы в целом по прилегающим территориям, подверженным влиянию мелиорации, урожай полевых культур заметно выше, чем на суходольных землях. Таким образом, осушение болот в зоне Белорусского Полесья не приводит к суммарному отрицательному эффекту.

Литература

1. Бовтрамович, Ф. Б. Продолжительность понижения уровня грунтовых вод осушительной системой на прилегающей территории / Ф. Б. Бовтрамович. – НТИ Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 5. – Минск, 1986. – С. 23 – 25.

2. Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.

3. Методические рекомендации по определению размеров зоны влияния мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель / Под ред. А. Г. Булавко и др. – Минск: ЦНИИКИВР, 1977. – 30 с.

4. Кривецкая, Т. Д. Методы оценки изменения режима грунтовых вод на прилегающих к осушительным системам территориях (в условиях Белорусского Полесья) / Т. Д. Кривецкая // Гидрогеология и инженерная геология Белоруссии. – Минск, 1975. – С. 61 – 73.

5. Минаев, И. В. К методу расчета кривых депрессии на прилегающих к осушенным болотам землях / И. В. Минаев, К. К. Жибуртович // Мелиорация переувлажненных земель. Вып. XXX. – Минск: Ураджай, 1982. – С. 60–69.

УДК 627.816

Роль малой ГЭС в составе комплексной электростанции небольшой мощности

Артёмчик А. А., Гатилло С. П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью работы является разработка методики расчета работы комплексной электростанции небольшой мощности, состоящей из ГЭС и СЭС, где ГЭС используется в качестве аккумулятора энергии СЭС, построенной для получения энергии на собственные нужды предприятия. Определяется возможность регулирования мощности комплексной электростанции.

По мере развития энергетического сектора выявляются новые преимущества строительства комплексных электростанций. В том числе это касается электростанций, в состав которых входят энергоблоки, работающие на возобновляемых источниках энергии. Комплексные электростанции позволяют обойти некоторые недостатки, присущие электростанциям, использующим ВИЭ. К таким проблемам, например, относится непредсказуемость выработки электроэнергии во времени. При поставке вырабатываемой энергии в энергосистему и при большой удельной ее доле может быть выдвинуто требование участия таких электростанций в регулировании мощности.

Другим вариантом использования энергии от ВИЭ может быть использование ее на собственные нужды в случае, если на балансе имеется или производство, или объект, потребляющий достаточно большое количество электроэнергии. Законодательство Беларуси позволяет в этом случае возводить собственную электростанцию.

Следует отметить, что в мире уже накоплен опыт использования энергии солнца для собственных нужд. При этом высказывается мнение, что необходимо возводить электростанцию, в частности солнечную, на собственных территориях или в непосредственной близости от производства для уменьшения потерь электроэнергии на транспортировку и другие затраты. Однако даже в случае собственной СЭС остается гарантированный вопрос о несовпадении во времени вырабатываемой и потребляемой электроэнергии.

В данной работе рассматриваются варианты решения данной проблемы. Предлагается включать в состав комплексной электростанции малую ГЭС и СЭС соизмеримой мощности. Задача ГЭС в составе такой комплексной станции – перераспределение вырабатываемой энергии от СЭС, т. е. излишки вырабатываемой электроэнергии от СЭС будут в виде воды накапливаться в водохранилище и превращаться в поставляемую в сеть энергию в часы ее нехватки. Рассматривается энергоснабжение ведомственного профилактория, расположенного на берегу водохранилища. В состав гидроузла входит малая ГЭС мощностью 300 кВт.

Пусть годовая потребность в электроэнергии для собственных нужд профилактория составляет 352 000 кВт·часов. Определены также помесеч-

ные величины требуемой электроэнергии. Принято, что в течение суток потребление электроэнергии постоянно.

В качестве источника электроэнергии рассматривается строительство СЭС. Определена установленная мощность СЭС для покрытия годовой потребности профилактория в 352 000 кВт·часов. Она составляет 300 кВт.

В качестве оборудования СЭС приняты панели типа ET-P672340 с размерами 1956×992×40 мм (вес 22,5 кг). Номинальная мощность одного модуля – 340 Вт. Угол установки равен 27 градусов. Панели устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга с учетом взаимного затенения. В состав СЭС необходимо включить 883 модуля. Подсчитаны величины помесячной выработки.

Очевидн, график выработки электроэнергии на СЭС не может совпасть с равномерным ее потреблением профилакторием. Использование механизма покупки-продажи электроэнергии энергосистемой очень невыгодно для собственника профилактория и СЭС. Поэтому рассмотрим использование в качестве аккумулятора водохранилище малой ГЭС.

Мощность единственного гидроагрегата ГЭС 300 кВт, максимальный напор 6,0 м, расчетный напор 5,5 м. Диапазон расходов – 1,29–6,53 м³/с.

На рис. 1 показаны совмещенные графики выработки электроэнергии на ГЭС и СЭС и потребление электроэнергии профилакторием. Видно, что кроме перераспределения электроэнергии в течение суток необходимо предусмотреть механизм поставки электроэнергии в некоторые месяцы от ГЭС в профилакторий и возврат ее от СЭС к ГЭС в месяцы ее избытка на СЭС (над потребляемым профилакторием количеством).

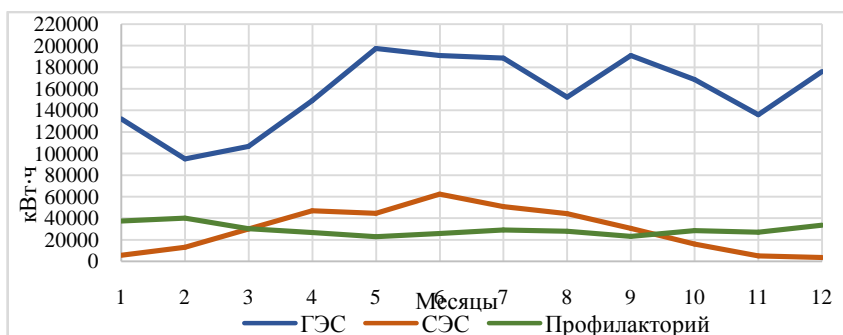


Рис. 1. Выработка электроэнергии ГЭС и СЭС, потребление электроэнергии профилакторием

Если рассмотреть каждый из помесячных балансов и перейти к суточному графику нагрузки и потребления, то для месяца, где среднемесячный

баланс выработки и потребления соблюдается, характерна следующая картина, проиллюстрированная рис. 2.

Рис. 2 показывает ежечасную выдаваемую мощность в течение марта месяца от малой ГЭС, СЭС и потребление энергии профилакторием.

Из этого графика получаем график работы малой ГЭС в течение суток для марта месяца. График откорректирован таким образом, чтобы мощность ГЭС не опускалась ниже минимально возможной при пропуске минимально допустимого расхода, при котором гидроагрегат работает устойчиво.

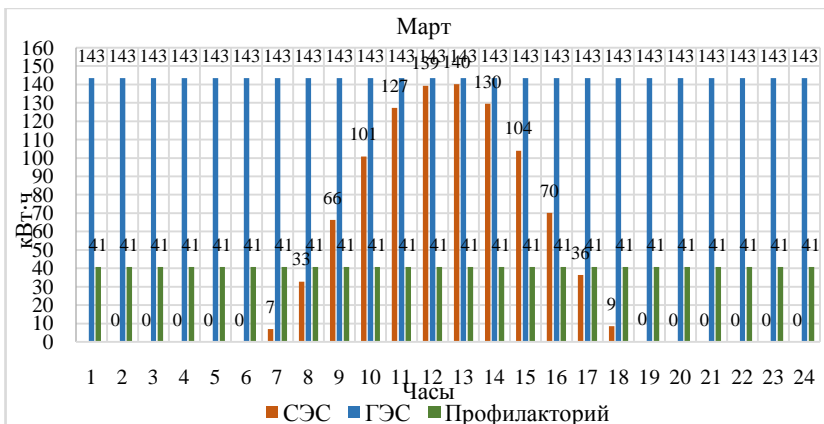


Рис. 2. Суточный график выработки и потребления электроэнергии

Рис. 3 показывает ежечасное распределение выдаваемой мощности малой ГЭС и СЭС.

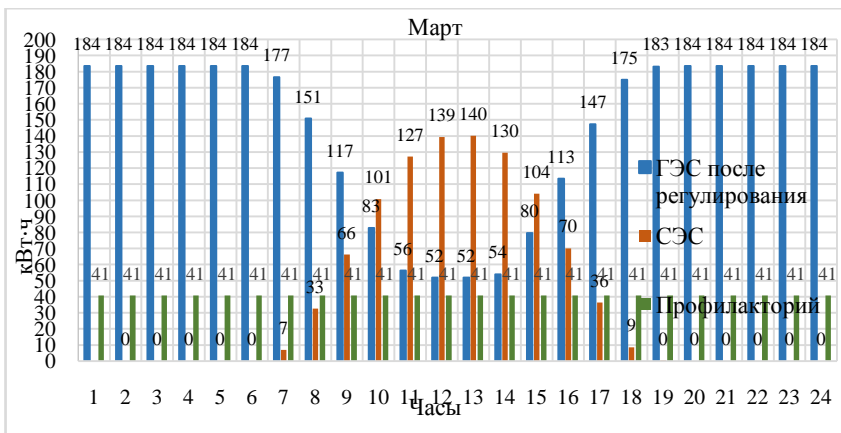


Рис. 3. Суточный график выработки ГЭС после регулирования

Таким же образом получены графики перераспределения суточных графиков нагрузки ГЭС для других месяцев.

УДК 627.824

Местные деформации в нижнем бьефе при работе резервного водосброса

Богославчик П. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты экспериментальных исследований переформирования русла нижнего бьефа в результате работы резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой. Установлено, что характер переформирования соответствует структуре потока при внезапном плановом его расширении. Изучено влияние на переформирования гасителя в виде водобойной стенки.

В период работы резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой [1] продукты размыва выносятся в нижний бьеф и осаждаются там в виде шлейфа. Одновременно возможны размывы незакрепленного русла. При проектировании таких сооружений необходимо иметь представление о характере и границах переформирования в нижнем бьефе с тем, чтобы при необходимости можно было ограничить их, либо учитывать при компоновке гидроузла.

Исследования ряда авторов [2, 3] показывают, что при внезапном расширении потока, а именно такая картина наблюдается при работе резервного водосброса при береговой его компоновке, имеет место следующая гидравлическая схема (рис. 1). Струя воды вытекает из отверстия шириной b_0 со скоростью u_0 . В потоке выделяется зона интенсивного турбулентного перемешивания I шириной b_T и зона обратных токов II. В зоне I выделяется слабовозмущенное ядро с равномерным в поперечном направлении распределением скоростей шириной $b_я$. При значительной ширине нижнего бьефа зона обратных токов может отсутствовать.

Существуют следующие зависимости для определения основных гидравлических характеристик потока при внезапном его расширении. Распределение скорости по сечению в зоне интенсивного турбулентного перемешивания определяется из формулы

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left[1 - \left(\frac{x}{b_T} \right)^{1,5} \right]^2. \quad (1)$$

Максимальная скорость в сечении

$$u_{\max} = u_p \frac{h_p b_0}{0,361 b_m h} \quad (2)$$

где h_p – глубина потока в выходном сечении.

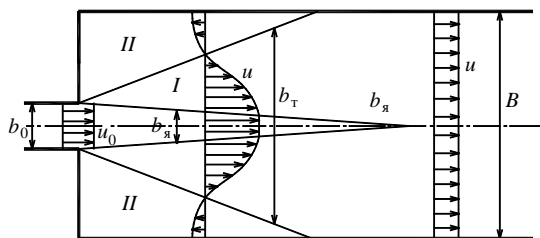


Рис. 1. Схема внезапного планового расширения потока при $B/b_0 > 3$

Ширина зоны интенсивного турбулентного перемешивания и слабовозмущенного ядра определяются по формулам

$$b_T = b_0 + 0,33x \quad (3)$$

$$b_я = b_0 - 0,125x \quad (4)$$

Повышенная шероховатость, сложный рельеф, изменение уклонов и др. вносят коррективы в эти формулы. Определенное влияние на гидравлические параметры потока может оказывать большая насыщенность его наносами на начальном этапе работы водосброса, осаждение которых меняет характер русла. То есть гидравлическая картина потока в нижнем бьефе может отличаться от описанной приведенными выше уравнениями. С целью оценки характера переформирования русла вследствие работы резервного водосброса были проведены экспериментальные исследования.

Исследования проводились на русловой площадке, ширина которой составляла 5,5 м. На всю ширину площадки была отсыпана грунтовая плотина высотой 0,75 м, шириной по верху 0,35 м с заложением откосов 1:2,0. В теле плотины по оси русловой площадки была оставлена прорезь трапециевидального сечения, закрепленная полиэтиленовой пленкой, в которой была устроена размываемая грунтовая вставка.

Опыты были проведены для следующих случаев (рис. 2 и 3).

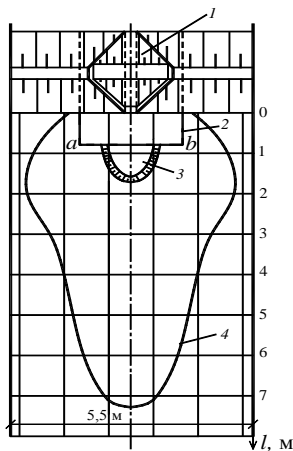


Рис. 2. Деформации в нижнем бьефе при гладком размываемом русле:
 1 – размываемая вставка; 2 – пленочное крепление; 3 – воронка размыва;
 4 – граница шлейфа

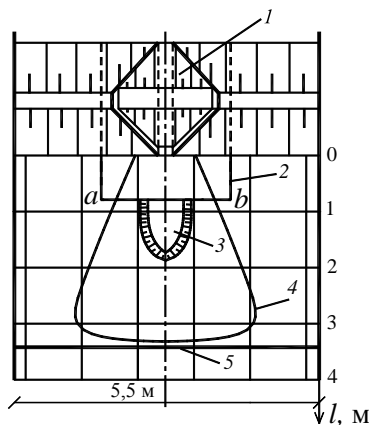


Рис. 3. Деформации в нижнем бьефе при наличии водобойной стенки:
 1 – размываемая вставка; 2 – пленочное крепление; 3 – воронка размыва;
 4 – граница шлейфа; 5 – водобойная стенка

1) Русло в нижнем бьефе горизонтальное, сложенное из того же грунта, что и размываемая вставка (среднезернистый песок). За водопропускным отверстием уложено крепление из полимерной пленки на расстоянии 0,8 м от вставки.

2) То же, что и в п. 1, но на расстоянии 3,4 м от водосбросного отверстия установлена водобойная стенка (максимальная длина гидравлического прыжка в предыдущем опыте составила 3,0 м).

Общая картина наблюдалась следующая. Во время размыва грунтовой вставки поток воды, вытекающий из водопропускного отверстия в нижний бьеф, предельно насыщен продуктами размыва. При расширении потока скорости воды резко снижаются и грунт осаждается в нижнем бьефе в виде шлейфа. На данной начальной стадии работы резервного водосброса переформирование русла происходит преимущественно в виде отложений. Визуальные наблюдения за ходом процесса и характер шлейфа показывают, что осаждение выносимого потоком грунта происходит преимущественно в зоне интенсивного турбулентного перемешивания, границы которой зависят от характера устройств нижнего бьефа. После размыва вставки истечение через освободившееся отверстие продолжается до полного опорожнения водохранилища. Поток воды на данном этапе практически не содержит наносов и обладает наибольшей размывающей способностью. Поэтому переформирование русла происходит преимущественно в виде размывов и перетложений образовавшегося ранее шлейфа.

Исследования показали следующее.

В первом случае (рис. 2) длина шлейфа составила 7,3 м. Непосредственно за границей крепления *ab* образовалась воронка размыва, которая при длительном сбросе воды имеет тенденцию распространяться под свободно уложенный конец плечного крепления в сторону верхнего бьефа. На рисунке показан характер воронки после 30-минутного сброса воды.

Во втором случае (рис. 3) наличие водобойной стенки на расстоянии, несколько превышающем длину гидравлического прыжка первого случая, ограничивает распространение шлейфа. Кроме того, величина воронки размыва в данном случае меньше, чем в предыдущем.

В обоих случаях установлено, что характер переформирований соответствует структуре потока при внезапном его расширении (рис. 1). Воронка размыва образуется в зоне слабо возмущенного ядра. Осаждение наносов в виде шлейфа происходит в основном в зоне интенсивного турбулентного перемешивания. Наличие преграды в виде невысокой водобойной стенки ограничивает величину размыва и длину распространения шлейфа.

Литература

1. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018, № 4. – С. 292–296.
2. Михалев М. А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом / М. А. Михалев. – Л.: Энергия, 1971. – 184 с.
3. Стефанович Г. В. Плановое расширение потока в нижних бьефах, гидросооружений и акваториях / Г. В. Стефанович // Изв. ВНИИ гидротехники. – 1997. – С. 70–87.

УДК 532.59+627.8

К вопросу об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося движения потока воды в открытом русле в условиях высокогорья

Стриганова М. Ю.¹, Шаталов И. М.², Щербакова М. К.², Бандолик Н. Н.¹,
Дмитриченко А. С.³

¹Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет,

³Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье предложено использование конечно-разностного метода интегрирования дифференциальных уравнений (метода характеристиче-

ских уравнений С. А. Христиановича) для неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения в условиях высокогорья при прорыве плотины.

В реальных условиях высокогорья при прорыве плотины происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается падение уровня воды в водохранилище, уменьшение расхода воды в начальном створе и увеличение расхода в конечном сечении прямой отрицательной волны перемещения.

Движение воды в теле такой волны перемещения хорошо описывается двумя дифференциальными уравнениями баланса расхода и уравнением динамического равновесия

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \\ (i - A Q^2) g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (1)$$

или

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \omega \frac{\partial v}{\partial l} + v \frac{\partial \omega}{\partial l} = 0, \\ E = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (2)$$

Для численного (с использованием компьютерных технологий) решения системы уравнений (2) для условий высокогорья при прорыве плотины предлагается использовать метод характеристических уравнений С. А. Христиановича, при этом движение воды в теле волны перемещения будем считать постепенно или плавно изменяющимся.

Рассмотрим более подробно метод характеристических уравнений С. А. Христиановича, дополнив его моделированием волн на мелкой воде методом частиц.

На схеме движения потока (рис. 1) позиция 1 соответствует свободной поверхности в момент времени t_1 , а позиция 2 – в момент времени t_2 . Рассмотрим неустановившееся движение потока воды между сечениями I-I и II-II на бесконечно малом расстоянии Δl .

Представим неустановившееся постепенно или плавно изменяющееся движение в виде параллельных прямолинейных отрезков линий тока (рис. 1). Допустим, что в области решения системы уравнений (2) задан отрезок некоторой кривой линии тока функцией $l = l(t)$ и значений функций $v = v(l, t)$ и $\omega = \omega(l, t)$.

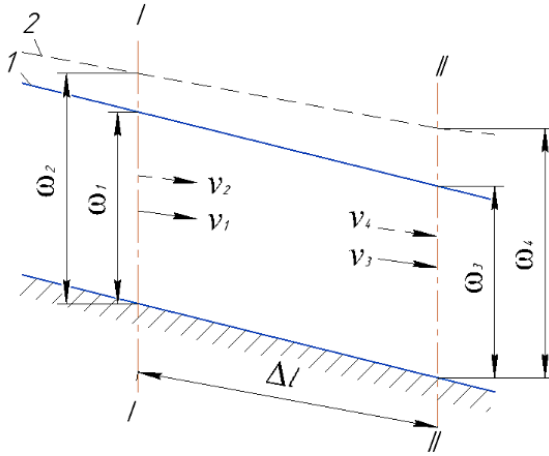


Рис. 1. Отрезок некоторой кривой линии тока:

1 – начальное положение поверхности волны перемещения в момент времени t ;
 2 – конечное положение поверхности волны перемещения в момент времени $t + \Delta t$

Тогда для каждой точки этой кривой (точки представляют собой частицы движущейся жидкости) $l = l(t)$ можно записать:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial l} \frac{dl}{dt} + \frac{\partial v}{\partial t}, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{dl}{dt} + \frac{\partial \omega}{\partial t}, \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{dv}{dt} - \frac{\partial v}{\partial l} \frac{dl}{dt}, \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{d\omega}{dt} - \frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{dl}{dt}. \end{array} \right.$$

Подставив значения $\frac{\partial v}{\partial t}$ и $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ в систему (2), после простейших преобразований будем иметь

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega \frac{\partial v}{\partial l} + \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} = - \frac{d\omega}{dt}, \\ \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} = E - \alpha_0 \frac{dv}{dt}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Откуда легко получить

$$\left\{ \begin{aligned} \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right) \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial v}{\partial l} &= \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right) \left(v - \frac{dl}{dt} \right) + \frac{g}{B} \frac{d\omega}{dt}, \\ \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right) \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial \omega}{\partial l} &= - \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right). \end{aligned} \right.$$

В условиях высокогорья в водотоках всегда наблюдается быстрое течение воды, называемое бурным. Бурный поток движется в развитом турбулентном режиме, для которого коэффициенты Кориолиса и Буссинеска можно принимать равными 1,0. В этом случае систему уравнений (5а) можно записать в более компактном виде, удобном для анализа и последующего решения

$$\left\{ \begin{aligned} \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right)^2 - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial v}{\partial l} &= \left(E - \frac{dv}{dt} \right) \left(v - \frac{dl}{dt} \right) + \frac{g}{B} \frac{d\omega}{dt}, \\ \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right)^2 - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial \omega}{\partial l} &= - \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \frac{dv}{dt} \right). \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Системы уравнений (5а) и (5) можно применять для расчета неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения в открытых руслах произвольной формы поперечного сечения. Такие русла называются непризматическими, и для них должно соблюдаться условие $\omega = f(l; h)$, где ω – площадь живого сечения потока; l – длина потока; h – глубина потока.

Однако в условиях высокогорья при растекании бурного потока его глубина значительно меньше его ширины B (т.е. $B \gg h$) и поперечное или живое сечение такого потока близко к прямоугольной форме. Прямоугольное сечение, равно как и любое другое сечение правильной формы (например, трапецидальное, треугольное, овальное, параболическое и т.д.) относится к призматическим руслам, для которых $\omega = f(h)$ и $\partial\omega/\partial l = 0$. Учитывая это для условий высокогорья при прорыве плотины, можем записать

$$- \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right) = 0, \quad (6а)$$

$$- \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \frac{dv}{dt} \right) = 0. \quad (6)$$

Для решения практических задач и компьютерного моделирования неустойчившегося постепенно или плавно изменяющегося движения воды в условиях высокогорья в виде волны перемещения прямой или обратной, положительной или отрицательной наиболее применим метод конечных приращений. Подобный метод был использован Томпсоном для расчета прямоугольных русел, который с некоторыми дополнениями и изменениями можно распространить на русла произвольной формы поперечного сечения.

Рассмотрим русло произвольной формы поперечного сечения (рис. 1). Разделим это русло на элементарные участки Δl , в пределах которых площадь живого сечения $\Delta\omega$ будет изменяться постепенно (или плавно). Рассмотрим конкретный элементарный участок, в начальном сечении которого, как и в последующих сечениях, параметры неустойчившегося потока (глубины h , скорости v , площади живых сечений ω и т.д.) известны в данный момент времени t и в последующие отрезки времени Δt . Предположим, что на рисунке 1 линия 1 соответствует положению свободной поверхности волны перемещения в начальный момент времени t ; а линия 2 – это положение свободной поверхности той же волны по истечении отрезка времени Δt , т. е. в момент времени $t+\Delta t$.

Определим средние значения параметров неустойчившегося потока в любом его сечении для отрезка времени Δt :

$$\begin{cases} \bar{\omega} = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) / 4, \\ \bar{B} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) / 4, \\ \bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) / 4, \\ \bar{v} = (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) / 4, \\ \bar{C} = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) / 4, \end{cases} \quad (7)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ; v – средняя скорость, м/с ; B – ширина русла по поверхности потока, м ; R – гидравлический радиус, м ; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$.

В системе уравнений (1) неустойчившегося постепенно или плавно изменяющегося движения уклон трения $i_{\text{тр}} = \text{A}Q^2$ на элементарном участке потока Δl можно выразить из уравнения Шези $i_{\text{мп}} = \frac{\bar{v}^2}{C^2 \bar{R}}$. С учетом того, что

для призматического русла $\frac{\partial \omega}{\partial l} = 0$ и $i = i_0 - \frac{\partial h}{\partial l}$, где i_0 – уклон дна водотока,

уравнение движения системы (1) представимо в виде

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}, \quad (8a)$$

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (8)$$

Частные производные в конечных приращениях представим в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial l} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_3 - h_1}{\Delta l} + \frac{h_4 - h_2}{\Delta l} \right) = -\frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial v}{\partial l} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_3 - v_1}{\Delta l} + \frac{v_4 - v_2}{\Delta l} \right) = -\frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial Q}{\partial l} &= \frac{\partial(\omega v)}{\partial l} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_3 v_3 - \omega_1 v_1}{\Delta l} + \frac{\omega_4 v_4 - \omega_2 v_2}{\Delta l} \right) = -\frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_2 - h_1}{\Delta t} + \frac{h_4 - h_3}{\Delta t} \right) = -\frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{2\Delta t}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_2 - v_1}{\Delta t} + \frac{v_4 - v_3}{\Delta t} \right) = -\frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2\Delta t}, \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} + \frac{\omega_4 - \omega_3}{\Delta t} \right) = -\frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t}. \end{aligned} \quad (9)$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – глубина потока в рассматриваемых сечениях за отрезок времени Δt ; v_1, v_2, v_3, v_4 – средние скорости за отрезок времени Δt ; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – площади живых сечений за отрезок времени Δt .

Согласно уравнениям (9) уравнения (8a) и (8) в конечных разностях примут вид

$$\begin{aligned} i_0 &= \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \alpha_0 \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \alpha \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}, \\ i_0 &= \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}. \end{aligned}$$

Уравнение баланса расхода (или уравнение неразрывности) постепенно или плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле системы (1) в конечных приращениях согласно (9) принимает вид

$$-\frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta l} - \frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t} = 0. \quad (11)$$

Уравнения (10а), (10) и (11) позволяют найти параметры h и v неустановившегося потока в любой отрезок времени Δt и в любых сечениях этого потока, а также построить кривую свободной поверхности волны перемещения (прямой и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

УДК 532.59+627.8

Математическая модель неустановившегося движения потока воды при прорыве напорных гидротехнических сооружений

Стриганова М. Ю.¹, Шаталов И. М.², Щербакова М. К.², Бандолик Н. Н.¹,
Дмитриченко А. С.³

¹Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет,

³Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведена математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения потока воды в случае разрушения или прорыва напорного гидротехнического сооружения в условиях высокогорья.

Неустановившееся движение потока жидкости, при котором его характеристики (скорость v , глубина h и расход Q) изменяются в пространстве и во времени, часто относят к волновому. Отличительной чертой волн, движущихся при этом в открытых руслах водотоков и водоемов, является их способность переносить значительные расходы (массы) воды. В связи с этим такие волны называют волнами перемещения, существенно отличающихся от ветровых или колебательных (сейсмических) волн. Волны перемещения делятся на две основные группы: непрерывные (длинные) и прерывные (короткие).

Непрерывная волна перемещения характеризуется медленным (постепенным) или плавно-изменяющимся движением. Мгновенный продольный профиль такой волны обладает малой кривизной, при которой соблюдается неравенство:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} < 2,65,$$

где h – глубина потока; λ – длина волны.

В гидродинамической постановке задачи неустановившееся движение принято рассматривать одномерным, при котором изучают только средние характеристики потока (средние по величине в сечении скорости и глуби-

ны). Причиной такого движения принято считать изменение (увеличение или уменьшение) расхода Q (массы) воды в начальном и конечном сечениях (створах) рассматриваемого участка русла.

Ранее в работах И. В. Карпенчука, М. Ю. Стригановой было достаточно подробно рассмотрено медленно изменяющееся неустановившееся движение при разрушении напорного гидротехнического сооружения в виде волны прорыва, которая представляла из себя длинную прямую положительную волну перемещения.

Математическая модель неустановившегося течения, предложенная И. В. Карпенчуком и М. Ю. Стригановой, учитывала средние характеристики потока жидкости в условиях «изолированного» течения (без стороннего или бокового притока воды) в водотоках на местности с равнинным рельефом на территории Республики Беларусь.

В реальных условиях (особенно в условиях возвышенностей или горного рельефа местности) разрушение напорного фронта гидротехнического сооружения (например, плотины) происходит с образованием трещины или прорана, через которые происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается падение уровня воды в водохранилище (рис. 1) и уменьшение расхода воды в начальном створе. В таких условиях более вероятно появление прямой отрицательной волны перемещения (рис. 1), которая сопровождается увеличением расхода в конечном сечении

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial \omega}{\partial l} > 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial v}{\partial l} < 0.$$

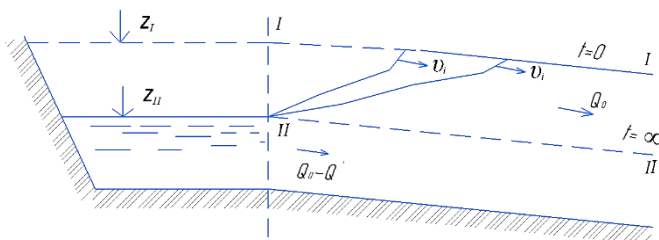


Рис. 1. Прямая отрицательная волна, или волна отлива

При этом на начальном, расширяющемся участке, волна является преломленной, а далее на последующих участках растекания потока волна становится отраженной (обратной) положительной с уменьшением расхода в конечном сечении, при этом соблюдаются следующие условия

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} > 0; \quad \frac{\partial \omega}{\partial l} > 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial v}{\partial l} < 0.$$

Обращает на себя внимание тот факт, что в условиях высокогорья реальным является боковой приток воды, т. е. приток воды по нормали к оси основного потока, связанный с таянием льда, снега и ливневым притоком воды, что приводит к необходимости рассмотрения условий пространственно изменяющегося неустановившегося движения (рис. 2).

Рассматриваемое движение воды (рис. 2) может быть описано двумя дифференциальными уравнениями: уравнением баланса расхода и уравнением динамического равновесия.

На схеме движения потока (рис. 3) обозначим A_1B_1 свободную поверхность, соответствующую моменту времени t_1 , а A_2B_2 – моменту времени t_2 . Если рассмотреть неустановившееся движение воды между сечениями 1–1 и 2–2 на бесконечно малом расстоянии dl , то для такого движения уравнение баланса расхода можно записать в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

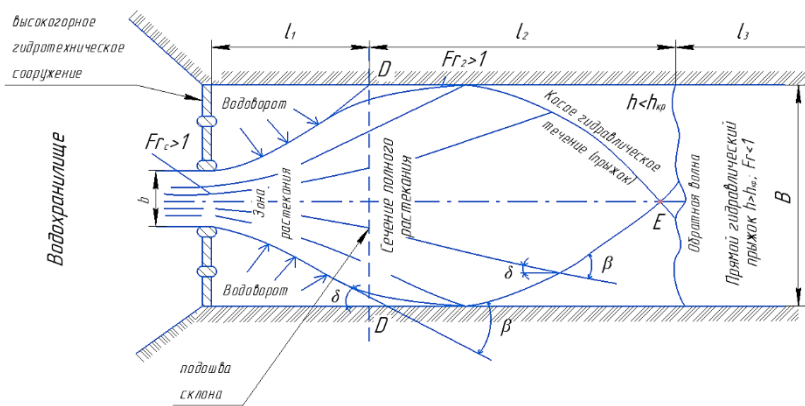


Рис. 2. Схема растекания потока воды при условиях пространственно изменяющегося неустановившегося движения:

h – глубина потока; $h_{кр}$ – критическая глубина; l_1, l_2, l_3 – длины рассматриваемых участков; b – ширина прорана; Fr – число Фруда; β и δ – углы растекания потока воды; B – максимальная ширина водотока (нижнего бьефа гидротехнического сооружения)

Уравнение динамического равновесия пространственно изменяющегося неустановившегося движения можно записать, исходя из следующих рассуждений.

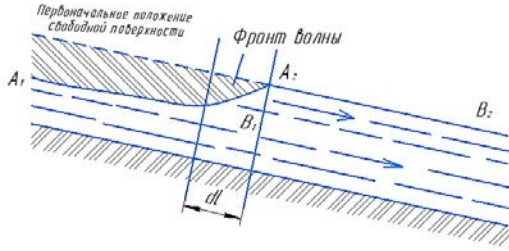


Рис. 3. Волна отлива в открытом русле благодаря уменьшению расхода в его начальном сечении

1. Рассматривая элементарный участок потока между сечениями 1–1 и 2–2, ограниченный свободной поверхностью A_1B_1 , можно записать дифференциальное уравнение неравномерного установившегося ($Q = \text{const}$) плавно изменяющегося потока в виде

$$I = \frac{d}{dl} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (2)$$

где I – гидравлический уклон поверхности потока; α – коэффициент Кориолиса; C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

2. В случае неустановившегося движения это уравнение необходимо дополнить новым членом, выражающим локальную часть сил инерции и записать в частных производных. В этом случае уравнение примет следующий вид:

$$I = \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}, \quad (3)$$

где $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ – локальная часть силы инерции; $\frac{1}{g}$ – масса единицы веса жидкости (воды); $\frac{\partial v}{\partial t}$ – локальная часть ускорения.

Учитывая, что

$$I = i - \frac{dh}{dl} \quad \text{и} \quad \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{K^2} = A Q^2,$$

где K – расходная характеристика русла, м³/с; A – удельное сопротивление русла, с²/м⁶; i – уклон дна водотока, дифференциальное уравнение динамического равновесия можно записать в виде

$$i - \frac{dh}{dl} = \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + A Q^2 + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t}, \quad (4)$$

где α_0 – коэффициент Буссинеска ($\alpha_0 = 1,0 \div 1,03$).

Учитывая, что

$$\frac{dh}{dl} = \frac{1}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l},$$

где B – ширина русла по поверхности потока, уравнение (4) можно переписать в виде

$$(i - A Q^2) g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (4')$$

3. Уравнения (2), (3), и (4) не учитывают пространственного изменения неустановившегося движения. Пространственное изменение неустановившегося движения сопровождается боковым притоком или оттоком жидкости (воды) по нормали к оси основного главного потока (рис. 2). Наличие такого притока или оттока вызывает изменение расхода на участке dl на величину dQ . В этом случае количество движения, отнесенное к единице веса воды, протекающей в русле растекающегося потока, получает приращение

$$\frac{\alpha_0 \rho g v dQ}{g \rho g \omega dl}, \quad (5)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; $\rho g dQ$ и $\rho g \omega dl$ – вес воды, поступающей в русло во время притока или оттока; ω – площадь поперечного сечения русла, заполненного водой, м².

Учитывая, что $dQ = d(v\omega) = v d\omega + \omega dv$, выражение (5) можно записать в частных производных

$$\frac{\alpha_0 v^2}{g\omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} \quad (6)$$

Если в правую часть уравнения (4) добавить член, определенный выражением (6), то уравнение (4') переписется в виде

$$(i - A Q^2) g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v^2}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 v \frac{\partial v}{\partial l}$$

или

$$(i - A Q^2) g = \left(\frac{g}{B} + \alpha_0 \frac{v^2}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} + (\alpha + \alpha_0) v \frac{\partial v}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} \quad (7)$$

Выражение (7) является динамическим уравнением пространственно изменяющегося неустановившегося движения, которое учитывает боковой приток или отток воды, поступающий в основное русло растекающегося потока воды нормально к его оси. Приток или отток воды связан обычно в горных условиях с поверхностным стоком талых (от таяния льда и снега) и ливневых вод.

Предложенную математическую модель можно использовать при компьютерном моделировании прорыва напорных гидротехнических сооружений и последующего растекания потока воды.

УДК 608

Технология сепарации пульпы с винтовой структуризацией потока в нагнетательной линии земснарядного грунтового насоса

Афанасьев А. П., Хвилько К. В., Кособуцкий А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании проведенных исследований было выявлено, что использование овальных сечений на поворотах нагнетательной трубы позволяет увеличить энергоэффективность сепарации пульпы.

Осуществление дноуглубительных работ на внутренних водных путях Республики Беларусь является необходимым условием 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 рек и озер для

обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.

Общий объем грунта, извлекаемый в Республике Беларусь за период навигации, составляет около 800 000 м³. Извлекаемый природный песок разнороден по своему зерновому составу. В большинстве случаев он не отвечает требованиям, предъявляемым действующими стандартами к пескам, предназначенным для приготовления бетонных и растворных смесей. Чтобы получить из них доброкачественный заполнитель бетона нужно, как правило, удалить из песка вместе с глиной и илом излишнее количество фракций мельче 0,16 мм., для этого необходима дополнительная обработка природного песка, его сепарация, которая осуществляется в специальных аппаратах. Анализ существующих конструкций этих аппаратов показал невозможность их использования непосредственно на земснарядах ввиду больших габаритов, металлоемкости и невозможности получения готового, товарного песка без дополнительной обработки.

На основании изучения законов распределения твердых частиц при транспортировке пульпы по трубопроводу на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ была разработана энергосберегающая технология сепарации пульпы и устройство для ее осуществления. Предложенная технология автоматической сепарации пульпы, при которой обеспечивается движение потока пульпы по напорному трубопроводу с последующим разделением потока под действием центробежной силы на две струи, отличается от существующих технологий тем, что предварительно после прокачки по напорному трубопроводу осуществляют прокачку пульпы через поворотное колено с распределением под действием центробежных сил потока на две зоны: внешнюю и внутреннюю, с последующим разделением потока на две струи, содержащие соответственно товарную пульпу и обедненную с включениями граничных фракций, при этом текущая корректировка гранулометрического состава пульпы в каждой струе производится с помощью поворотных заслонок с независимыми приводами.

Эффект сепарации пульпы существенно увеличился путем использования на поворотах нагнетательной трубы насоса овального сечения (рис. 1, а).

Благодаря использованию овальных сечений на поворотах нагнетательной трубы грунтового насоса происходит разделение пульпы на товарный песок и «мульку», и попутно снижается коэффициент местного сопротивления этих поворотов, что, в свою очередь, повышает энергоэффективность сепарации пульпы.

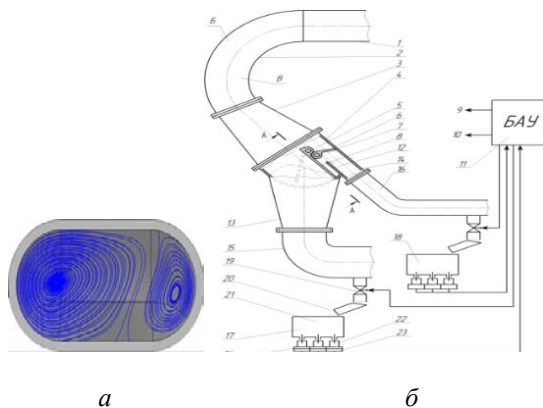


Рис. 1. Предложенная конструкция сепаратора пульпы с овальной формой поперечного сечения:
а – овальная форма поперечного сечения;
б – конструкция сепаратор пульпы

Предложенная технология и конструкция сепаратора пульпы представлены на рис. 1, *б*

Предложенный способ автоматической сепарации пульпы осуществляется следующим образом. Грунтовый насос (на рис. 1, *б* не показан) подает пульпу по напорному горизонтальному трубопроводу 1 с верхней критической скоростью, при которой все фракции в потоке находятся во взвешенном состоянии, в поворот овальной формы 2. Под действием центробежной силы в повороте 2 с овальной формой поперечного сечения частицы пульпы неравномерно распределяются по сечению потока, что приводит к разделению пульпы на две зоны, внешнюю Б и внутреннюю В. Угол изгиба поворота 2 способствует эффективному разделению потока пульпы по фракциям, при этом более крупные и тяжелые частицы (концентрированная пульпа с крупными, средними и кондиционными мелкими- граничными фракциями песка) перемещаются во внешнюю зону Б, а мелкие и граничные фракции смещаются во внутреннюю зону В.

Затем поток пульпы поступает в расширительный патрубок 3, где производится дальнейшее распределение потока пульпы по фракциям. Окончательное разделение потока на две струи по фракциям и по их процентному соотношению производится в корпусе 4, в котором установлены две приводные поворотные заслонки 7, 8, и перегородка 12. Площадь поперечного сечения корпуса 4 разделяется сложными поворотными заслонками 7, 8 и перегородкой 12 в соотношении 1:5 и далее корпус 4 сопряга-

ется с патрубками 13, 14, площадь поперечного сечения которых выполнена в таком же соотношении.

Основные преимущества данного способа сепарации заключаются в следующем:

1. Возможность визуального контроля крупности частиц гидросмеси отбираемой из верхней зоны трубопровода и автоматического управления этим процессом.

2. Малая металлоемкость трубного делительного корпуса благодаря обработке гидросмеси только в объеме потока гидросмеси верхней зоны. Поток концентрированной гидросмеси с крупными товарными фракциями песка направляется в баржу без обработки.

Результаты проведенных исследований будут использованы при разработке новой конструкции нагнетательной линии с сепаратором пульпы грунтового насоса, установленного на земснаряде при добыче речного песка в районе г. Пинска и г. Бобруйска.

Литература

1. Барский, М. Д. Гравитационная классификация зерновых материалов / М. Д. Барский. – М.: Недра, 1974. – 232 с.

2. Смолдырев, А. Е. Трубопроводный транспорт. Основы расчета / А. Е. Смолдырев. – М.: Недра, 1980. – 293 с.

УДК 621.7.044

Инновационные технологии получения биметаллического инструмента

Качанов И. В., Власов В. В., Ленкевич С. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Показана необходимость создания новых композиционных материалов и совершенствования существующей технологии получения биметаллового инструмента

В настоящее время в Республике Беларусь стоит остро вопрос создания современных, оснащенных прогрессивными техпроцессами и оборудованием, специализированных предприятий по проектированию и изготовлению высококачественной технологической оснастки и инструмента. Как показывает мировой промышленный опыт машиностроительным предприятиям необходимо применять инструмент, штампы и пресс-

формы качеством на порядок выше, чем выпускаемая продукция. Это связано с усложнением выпускаемой продукции и сокращением ее жизненного цикла в соответствии с требованиями рынка.

Анализ существующих в настоящее время способов и технологий, изготовления деталей штамповой оснастки показывает, что они являются неэкономичными, т. к. характеризуется низким коэффициентом использования дорогостоящих инструментальных сталей и значительными припусками на механическую обработку. Несмотря на известные успехи в разработке и создании новых сталей и сплавов, стойкость штампового инструмента остается невысокой [1, 2].

Благодаря ряду преимуществ (благоприятное действие сил инерции, снижение сил контактного трения, адиабатные условия деформации), процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания (СГВ), создают благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве.

Особенно эффективным для современных условий хозяйствования следует считать уникальную возможность получения биметаллического стержневого и формообразующего инструмента на основе использования эффектов скоростного формоизменения. Дополнительные эффекты в этом направлении раскрываются за счет реализации, например, процессов получения биметаллического инструмента в режиме ВТМО. Отсутствие хрупких интерметаллидных фаз в зоне контакта исследуемых соединений, наличие развитой зоны объемного взаимодействия в виде твердого раствора – все это обеспечивает высокое качество сварных соединений, получаемых скоростной пластической деформацией.

Для получения биметаллических деталей штампов целесообразно, в качестве основы использовать недорогую конструкционную легированную сталь, такую как 40Х, а в качестве плакирующего слоя применить высоколегированные штамповые стали – Х12МФ, Р6М5, 5Х3ВЗМФС.

Для реализации технологии изготовления биметаллического инструмента методом СГВ были выбраны детали-представители 9783-433 и № 9719-2431-01 (рис. 1) из номенклатуры инструментально-штампового производства МАЗа [2].



Рис. 1. Детали из номенклатуры ОАО «МАЗ»:
a – № 9719-2431-01; *б* – № 9783-433

Для отработки различных технологий скоростного выдавливания, включая режим ВТМО, была разработана новая конструкция штампа (рис. 2) с разъемными полуматрицами *1*, которые устанавливаются в бандажированный контейнер *2*.

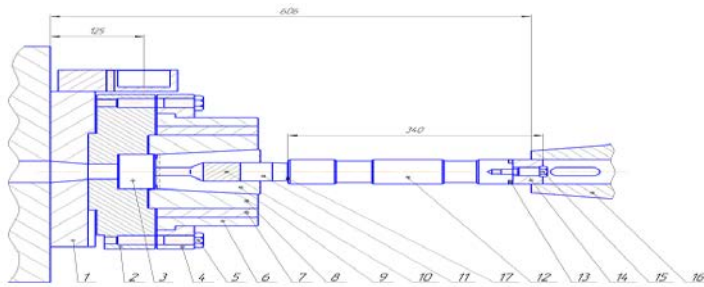


Рис. 2. Схема штампа для СВГ биметаллических стержневых деталей
 штамповой оснастки

Существенной особенностью рассмотренной конструкции штампа является возможность быстрого извлечения из него готового изделия за счет использования энергии упругого отскока пуансона *5*. Это позволяет осуществить ряд экспериментов по скоростному выдавливанию стержневых изделий в режиме ВТМО [3].

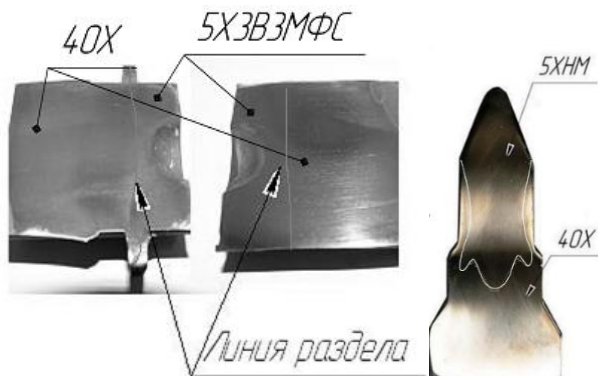


Рис. 3. Фотографии шлифов полученных образцов

При совмещении процессов СГВ биметаллических изделий и режима ВТМО в первую очередь необходимо установить температурный режим, который обеспечит термическую активацию для качественного соединения двух сталей и полное растворение карбидов легирующих элементов в аустените, что обеспечит высокую твердость и требуемые механические свойства. С учетом подстуживания заготовки при переносе в штамп, оптимальная температура нагрева составной заготовки в печи должна составлять $T_{31} = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и время нагрева 1 мин на 1 мм сечения образца.

Некоторые результаты формообразования и полученных соединений из разнородных металлов представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, отштампованы образцы, по схеме скоростного горячего выдавливания в разъемных полуматрицах, хорошо видны четкие, контрастные границы соединения разнородных металлов как в поперечном, так и в осевом направлениях. Кроме этого, они имеют четко выраженную однородную структуру в зоне сварного соединения с отсутствием окисных включений, что благоприятно сказывается на эксплуатационных и физико-механических характеристиках биметаллического инструмента, предназначенного как для металлообработки, так и для эксплуатации в строительной-дорожной технике.

Литература

1. Сычев, Н. Г. Учебное пособие по дисциплине «Менеджмент в машино- и приборостроении» для специальности Э.01.09.00 со специализацией Э.01.09.01 – менеджмент в сфере производства / Н. Г. Сычев // Уч. пособие по дисциплине Менеджмент в машино- и приборостроении для специально-

сти Э.01.09.00 [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: – http://www.uamconsult.com/book_479_chapter_4.

2. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича // Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 327 с.

3. Исследование влияния виброударного воздействия, совмещенных процессов скоростного выдавливания и плакирования, разработка процессов формирования высокоэффективных покрытий инструмента и изготовление деталей штамповой оснастки: отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т; рук. И. В. Качанов; исполн. И. В. Качанов [и др.]. – Минск, 2015. – 306 с.

4. Шмыков, А. А. Справочник термиста / А. А. Шмыков // М.: Машгиз, 1981. – 331 с.

УДК 627.8.034

Лабораторные исследования размыва грунтовой плотины при переливе через гребень

Немеровец О. В., Евдокимов В. А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На основании проведенных лабораторных исследований выявлено, что процесс размыва однородных плотин из песчаных грунтов происходит в две стадии. На первой размывается низовой откос, начиная с низовой бровки. Профиль плотины, вначале трапецидальный, в процессе размыва к концу этой стадии принимает форму, близкую к треугольной. Отметка гребня со стороны верхового откоса остается постоянной. Вторая стадия характеризуется интенсивным снижением гребня.

Для изучения процесса размыва грунтовых плотин при переливе были проведены лабораторные исследования в гидротехнической лаборатории кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ. Опыты по размыву проводились на моделях в лотке шириной 0,32 м (рис. 1), высота моделей составляла 0,4 м.



Рис. 1. Лоток с размещенной моделью плотины

На стенку лотка наносили координатную сетку с шагом 5 см. Для мониторинга уровней и скоростей в лотке при прохождении волны использовался многоканальный измерительный комплекс. Схема размещения уровнемеров и микровертушек относительно модели грунтовой плотины представлена на рис. 2.

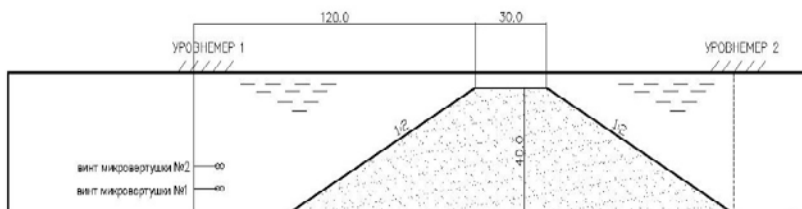


Рис. 2. Схема размещения уровнемеров и микровертушек относительно модели грунтовой плотины

Опыты проводились на песчаных моделях для среднезернистых песков. Модели были отсыпаны из грунта со следующими физико-механическими характеристиками: диаметр частиц d от 0,05 до 0,5 мм, средний диаметр $d_{50} = 0,25$ мм, средневзвешенная гидравлическая крупность $w = 0,041$ м/с, плотность $\rho_0 = 1,69$ г/см³, коэффициент неоднородности $d_{60}/d_{10} = 1,6$.

При исследовании процесса размыва главную роль играют силы тяжести. Поэтому главным критерием при моделировании является критерий Фруда Fr [1–3]. Должно соблюдаться условие

$$Fr_M = Fr_n = v^2 / gh = idem, \quad (1)$$

где Fr_M – критерий Фруда модели; Fr_n – критерий Фруда натурального объекта.

Размеры моделей составляли: высота 0,4 м, ширина по гребню 0,3 м, заложение верхового откоса 1:2,0, низового – 1:2,0. Расход воды, посту-

пающий в верхний бьеф (приточность), составлял в опытах 1–8,6 л/с, 2–12,0 л/с. В лоток вода поступала из прямоугольного питательного бака, на входе в который был размещен мерный водослив Томпсона, по которому контролировали расход воды Q_0 , подаваемый центробежным насосом из водооборотного бассейна.

Размыв модели происходит в следующей последовательности. На рис. 3 представлен процесс размыва в виде мгновенных профилей.

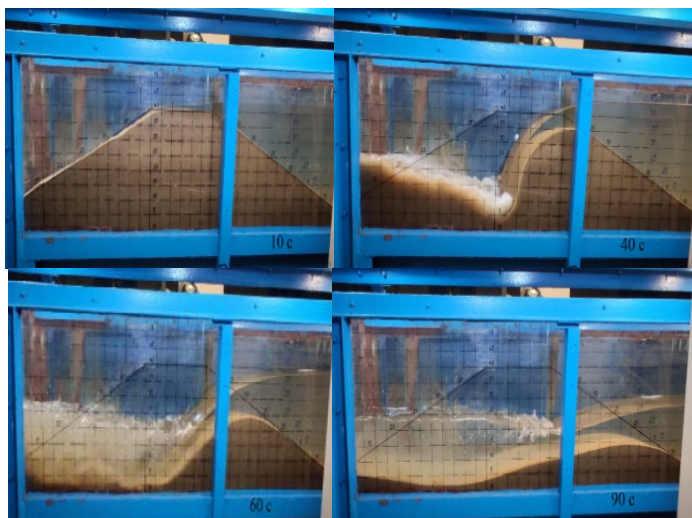


Рис. 3. Фотограмма размыва модели плотины в лотке шириной 0,32 м: $Q_0 = 12 \text{ л/с} = \text{const}$; истечение свободное

Общая картина размыва моделей плотин из песчаных грунтов наблюдалась примерно одинаковой во всех опытах. С началом перелива, когда расход через размываемую плотину еще незначительный вследствие малого напора на гребне, уровень воды в верхнем бьефе продолжает подниматься. Момент времени, при котором достигается равенство расходов через размываемую плотину Q и приточности Q_0 в верхнем бьефе ($Q = Q_0$), соответствует максимально возможному повышению уровня верхнего бьефа. Поскольку плотина, играющая в данном случае роль водослива, размывается под действием переливающегося потока, отметка гребня ее, начиная с некоторого момента времени, интенсивно снижается, напор на гребне возрастает и это ведет к быстрому увеличению расхода через плотину. При $Q > Q_0$ уровень верхнего бьефа снижается.

Формирование водосливной поверхности размываемой плотины является результатом взаимодействия с ней переливающегося потока, в процессе которого одновременно с изменением очертания водослива изменяются и гидравлические параметры потока.

Механизм отрыва и перемещения твердых частиц грунта принципиально не отличается от описанного многими авторами в динамике русловых потоков [4–11]. Размыв низовой призмы происходит при больших скоростях, значительно превосходящих неразмывающие для мелкозернистых грунтов. Поэтому размыв идет интенсивно со срывом одновременно нескольких слоев, а транспорт твердого стока происходит исключительно во взвешенном состоянии.

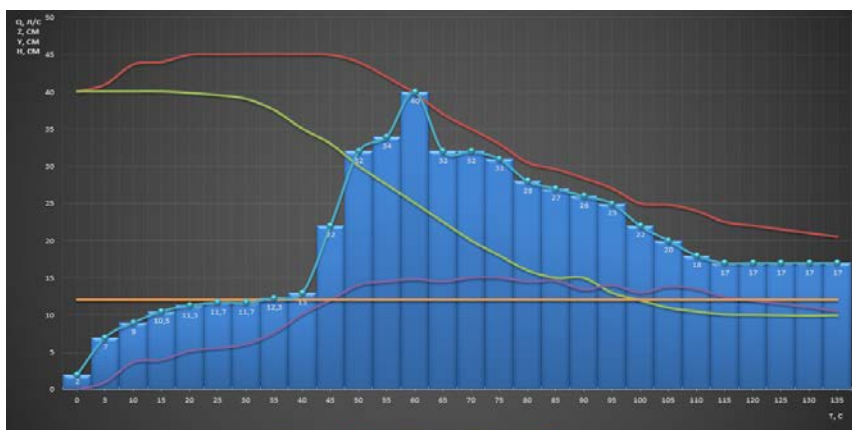


Рис. 4. Опытные кривые $Q = f(t)$; $z = f(t)$; $y = f(t)$ при неподтопленном истечении $Q_0 = 12 \text{ л/с} = \text{const}$

Несколько иная картина наблюдалась при исследовании деформаций на гребне. Скорости здесь превосходят неразмывающие, но не на столь значительную величину. И хотя интенсивность снижения гребня достаточно большая, транспорт твердого стока осуществляется здесь в одинаковой мере как во взвешенном, так и во влекомом состоянии.

На рис. 4 представлена динамика процесса размыва в виде графиков изменения во времени уровня верхнего бьефа, отметки гребня модели и расхода через нее.

Литература

1. Тищенко, А. И. Результаты исследований транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса /

А. И. Тищенко, Е. Д. Михайлов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ. – 2016. – Выпуск № 2(62). – С. 140–149.

2. Леви, И. И. Моделирование гидравлических явлений / И. И. Леви. – Л.: Энергия, 1967. – 254 с.

3. Овчаренко, И. Х. Моделирование гидравлических явлений на гидротехнических сооружениях: учеб. пособие / И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко. – Новочеркасск: Мин. сельского хозяйства СССР, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, 1982. – 111 с.

4. Абальянц, С. Х. Движение взвесей в открытых потоках / С. Х. Абальянц // Труды САНИИРИ. – Ташкент, 1958. – Вып. 96. – С. 3–156.

5. Гончаров, В. Л. Динамика русловых потоков / В. Л. Гончаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 373 с.

6. Гришанин, К. В. Динамика русловых потоков / К. В. Гришанин. – Изд. 2-е. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 312 с.

7. Гришанин, К. В. Расход русловых наносов в реках с песчаным дном / К. В. Гришанин // Русловые процессы и методы их моделирования. – Л.: Энергия, 1977. – С. 8–14.

8. Гришанин, К. В. Устойчивость русел рек и каналов / К. В. Гришанин. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 144 с.

9. Лапшенков, В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов / В. С. Лапшенков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 239 с.

10. Леви, И. И. Динамика русловых потоков / И. И. Леви. – Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 342 с.

11. Студенчиков, Б. И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов / Б. И. Студенчиков. – М.: Стройиздат, 1964. – 184 с.

УДК 624.042.7; 624.01:550.34

Расчетное обоснование способа виброизоляции фундамента под машину с вертикальными динамическими нагрузками путем их передачи на глубоко расположенные несущие слои грунта

Повколас К. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приводится способ виброизоляции свайного фундамента под машину, отличающегося тем, что по боковой поверхности свай отсутствует контакт с грунтом. Вибродинамические воздействия передаются на глу-

боко расположенные слои грунта и не оказывают существенного влияния на прилегающие несущие и ограждающие конструкции

Для снижения негативного вибородинамического воздействия промышленной установки на несущие конструкции самого здания предлагается использовать способ виброизоляции, суть которого заключается в передаче динамических нагрузок на глубоко расположенные слои грунта. Это позволяет снизить колебания непосредственно около него, в зоне размещения фундаментов. При этом продольные и поверхностные волны выходят на поверхность грунта и распространяются за пределами пятна застройки. Данное явление было отмечено на станции метро Могилевская в г. Минск при вибропогружении металлического шпунта в лидерные скважины. Предлагается конструкция свайного фундамента, в котором боковые поверхности свай изолированы от грунта на определенную глубину зазором. При этом, обсадка скважин осуществляется трубами, воспринимающими давление грунта. Пространство между внутренней поверхностью обсадной трубы и внешней поверхностью сваи может быть заполнено легко сжимаемым демпфирующим материалом. Нижний участок сваи заглубляется в несущий слой грунта на глубину 1–2 м. Величина заглубления определяется требуемой несущей способностью фундамента.

На рис. 1, 2 приводятся расчетные схемы фундаментов промышленного здания соответственно с фундаментами мелкого заложения, на одном из которых расположена установка импульсного действия, и виброизолированным свайным фундаментом. Для удобства на рисунках отображены только фундаменты здания. Грунтовый массив в виде упругого инерционного полупространства условно не показан.

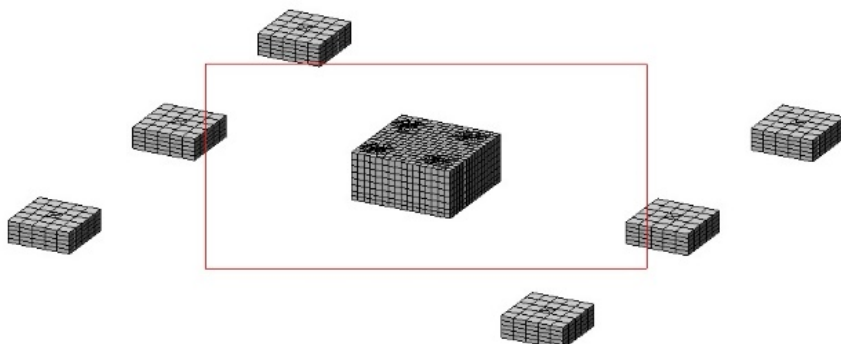


Рис. 1. Взаимное расположение фундамента под установку (в центре) и несущих столбчатых фундаментов здания

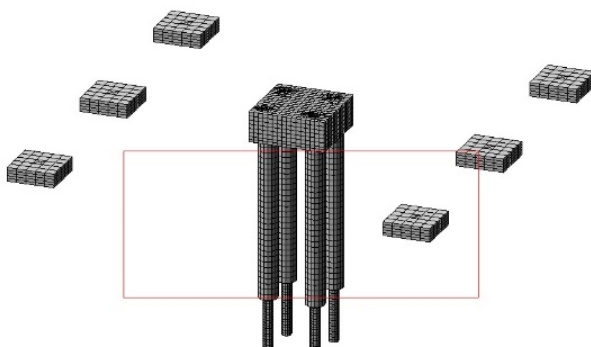


Рис. 2. Конечно-элементная схема виброизолированного фундамента

Расчетная схема (рис. 1) представляет собой фундамент мелкого заложения с размерами в плане $2,4 \times 2,4$ м и высотой 1,1 м. На фундамент вертикально действует динамическая нагрузка, характерная для работы штампа или кузнечного молота с амплитудой 5 т, частотой 157 рад/сек и продолжительностью 0,02 сек.

Фундамент под установку выполнен из монолитного железобетона и расположен в центре однопролетного каркасного здания с величиной пролета 12 м. Расстояние от оси фундамента с виброустановкой до оси фундамента каркаса – 6 м.

Грунт – мелкий песок с расчетными параметрами: модуль упругости $E = 2000 \text{ т/м}^2$; значение коэффициента Пуассона $\nu = 0,35$; удельная плотность $R_0 = 1,8 \text{ т/м}^3$.

Фундаменты расположены на грунтовом массиве размерами в плане 40×40 м высотой 18 м.

Расчет производится в ПК «LIRA» с использованием расчетного комплекса «Динамика+». Расчетный период – 0,5 с.

По результатам расчета выявлены зависимости перемещений, скорости и ускорения конструкций источника и приемника колебаний (наиболее близко расположенного фундамента здания) по времени. Амплитудные значения перемещений, скорости и ускорения для характерных точек представлены в табл. 1.

Сваи виброизолированного фундамента железобетонные круглого сечения диаметром $d = 150$ мм глубиной 8 м. Каждая свая помещена в обсадную трубу из полиэтилена на глубину 6 м (рис. 2) и заглублена в грунт на 2 м. Расчетные параметры обсадной трубы: диаметр $d_1 = 600$ мм; толщина оболочки $t_1 = 0,7$ см; модуль продольной упругости $E = 124000 \text{ т/м}^2$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,44$; удельная плотность $R_0 = 0,95 \text{ т/м}^3$.

Таблица 1

Амплитудные значения перемещений, скорости и ускорения по результатам расчета конструкции с вибродинамической установкой, выполненной на фундаменте мелкого заложения без виброизоляции

Направление	Параметр колебаний	В точке приложения динамической нагрузки		На столбчатом фундаменте здания	
		Максимальная величина	Момент времени t_A , с	Максимальная величина	Момент времени t_A , с
Вертикальное (по оси Z)	Перемещение Δ_z , мм	-0.305	0,030	-0,044	0,128
	Скорость v_z , мм/с	-21,06	0,014	-1,969	0,104
	Ускорение a_z , мм/с ²	-4323	0,012	-107,4	0,082

Для снижения передачи динамических усилий от ростверка грунту по его подошве и непосредственно на торец обсадных труб между ними установлена виброизоляционная прокладка со следующими характеристиками: модуль упругости $E = 100 \text{ т/м}^2$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$; удельная плотность $R_0 = 0,2 \text{ т/м}^3$. Расчет также выполнялся с использованием расчетного комплекса «Динамика+». В табл. 2 представлены основные амплитудные значения перемещений, скорости и ускорения.

Таблица 2

Амплитудные значения перемещений, скорости и ускорения по результатам расчета конструкции с вибродинамической установкой, установленной на виброизолированном фундаменте

Направление	Параметр колебаний	В точке приложения динамической нагрузки		На столбчатом фундаменте здания	
		Значение	Момент времени t_A , с	Значение	Момент времени t_A , с
Вертикальное (по оси Z)	Перемещение Δ_z , мм	-0,251	0,024	-0,024	0,124
	Скорость v_z , мм/с	-20,51	0,014	-0,973	0,106
	Ускорение a_z , мм/с ²	-4056	0,012	-85,35	0,268

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что благодаря использованию предложенного варианта виброизоляции основные критические величины, такие как скорость и ускорение вертикального перемещения, значительно меньше, по сравнению с первоначальным вариантом, а именно:

- снижение максимальной скорости вертикальных перемещений в 1,87 раза;
- снижение максимальной скорости вертикальных перемещений в 2 раза;
- снижение максимального ускорения вертикальных перемещений в 1,26 раза.

УДК 627.8.034

Определение границ затопления нижнего бьефа гидроузла при пропуске расходов половодья

Немеровец О. В., Ивашечкин В. В., Веремеиук В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

С помощью разработанной методики можно определить границы затопления территории нижнего бьефа гидроузла при пропуске паводков и половодий через водосбросные сооружения гидроузла, а также при разрушении грунтовой плотины.

Аварийность низконапорных гидротехнических сооружений (плотины IV класса с напором до 15 м и объемом водохранилища до 50 млн. м³) выше, чем у высоконапорных и средненапорных. За последние пять лет в России имели место более 300 аварий ГТС IV класса. Это объясняется неудовлетворительным уровнем их технического обслуживания, отсутствием или недостаточным штатом эксплуатационного персонала, а в ряде случаев - потерей собственника и эксплуатирующей организации [1]. В Республике Беларусь все земляные плотины согласно [2] относятся к низконапорным плотинам (плотины IV класса). В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется более 150 водохранилищ с объемом более 1 млн. м³ [3]. На наиболее крупных водохранилищах требования к обеспечению безопасности удовлетворяются в полной мере, чего нельзя сказать о многочисленной группе менее крупных водохранилищ водохозяйственного комплекса, которые эксплуатируются более 40–50 лет и нуждаются в выделении необходимых средств для выполнения ремонтных работ.

Во время пропуска паводков и половодья помимо опасности превышения расчетных расходов через водосбросные сооружения и принятых при обосновании конструкций сооружений других природных нагрузок и воздействий, необходимо уделить внимание и возможным последствиям, и ущерб при аварии ГТС и затоплении территорий.

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, описанной в работах [4–6]:

$$\begin{cases} \alpha \cdot \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{W} \right) \right] + gW \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - i_p \right) = 0, \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где x – протяженность по водотоку; t – время; $W(x, t)$ – площадь живого сечения; $Q(x, t)$ – расход воды; $h(x, t)$ – глубина; $S_f(x, t)$ – уклон трения потока; i_p – уклон дна в нижнем бьефе.

Коэффициент α учитывает неравномерное распределение скоростей по живому сечению потока. В [4] отмечается, что имеется достаточно удовлетворительная связь α с коэффициентом шероховатости по Маннингу $\alpha = 14,8n + 0,884$, причем, если по этой формуле оказывается $\alpha > 2$, рекомендуются принимать $\alpha = 2$.

Обозначим скорость потока как

$$v(x, t) = \frac{Q(x, t)}{W(x, t)} \quad (2)$$

Для расчета величины уклона трения потока используют формулу (далее R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези, вычисленный по формуле Маннинга; n – коэффициент шероховатости дна)

$$S_f = \frac{Q^2}{W^2 C^2 R} = \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), система (1) преобразуется к виду

Пример задания линий уровня одного из берегов для пяти высот через 500 м по руслу реки Нища ниже створа Клястицкого водохранилища показан на рис. 2.

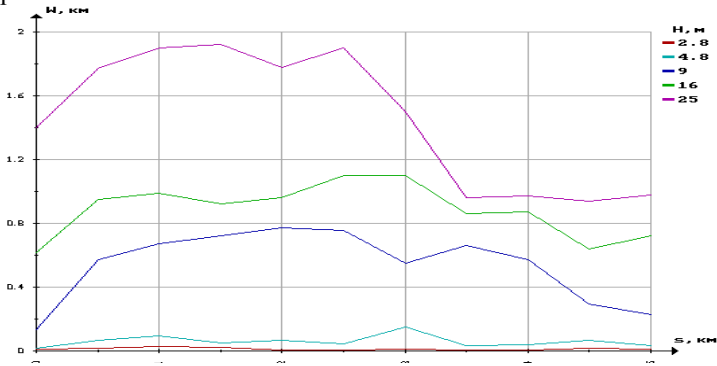


Рис. 2. Линии уровня берега, заданные таблично через 500 м

Далее определяется площадь живого сечения потока и задаются начальные и граничные условия для решения системы (4).

В качестве исходных данных приняты расход при разрушении грунтовой плотины в следствие перелива через гребень $Q = 174 \text{ м}^3/\text{с}$, ширина гребня плотины 6 м, ширина русла у основания плотины $B = 15 \text{ м}$, шероховатость русла $n = 0,03$, средний уклон $i = 0,0004$.

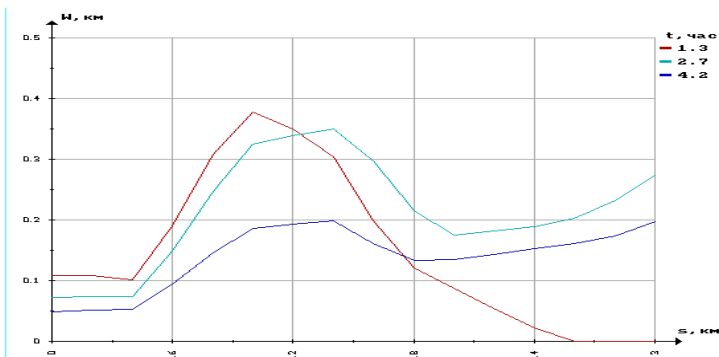


Рис. 3. Изменение ширины (зоны) затопления левой поймы w в разные моменты времени в разных створах русла при убывании расхода Q

После проведения ряда комплексных вычислений получены графики (рис. 3) с границами затопления территории ниже гидроузла для левого и правого берега в различные моменты времени при нарастании и спаде расхода (в зависимости от гидрографа паводковых расходов рассматриваемой реки).

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.]. – Минск, 2005. – 183 с.
4. Грушевский, М. С. Волны попусков и паводков в реках. // Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 336 с.
5. Klohn-Crippen. Red River one-dimensional unsteady flow model: final report submitted to International Joint Commission // Richmond (British Columbia), 1999. May. – 88 pp.
6. Ahmad S., Simonovic S.P. Comparison of One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches for Red River Basin, final report to International Joint Commission // Winnipeg: University of Manitoba, 1999. December. – 52 pp.
7. Веремеюк, В. В. Приближенная методика расчета затопления поймы реки при экстремальных попусках из водохранилища в период половодья / В. В. Веремеюк, В. В. Ивашечкин, Я. А. Семенова, О. В. Немеровец // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – с. 67–74.

УДК 628.1

Методика расчета снижения энергопотребления на водозаборах подземных вод в результате регенерации скважин и замены закольматированных трубопроводов

Крицкая В. И.¹, Ивашечкин В. В.¹, Шейко А. М.², Назаров И. И.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²ОАО «Белгорхимпром»

Минск, Республика Беларусь

Существенное снижение энергопотребления на водозаборах подземных вод может быть достигнуто путем проведения ряда мероприятий: 1) регенерации фильтров снизивших дебит скважин; 2) промывки или замены закольцованных трубопроводов.

Регенерация скважин. Регенерация скважины позволяет удалить загрязнения из фильтра и его прифильтровой зоны, увеличить пропускную способность фильтра. За счет снижения потерь напора в фильтре, происходит повышение динамического уровня в скважине при работе насоса и уменьшается его геометрический напор H_{Γ} . Снижение геометрического напора ΔH_{Γ} в результате регенерации скважины можно определить по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = H_{\Gamma 1} - H_{\Gamma 2} = (H_{\text{ст}} + S_1) - (H_{\text{ст}} + S_2), \quad (1)$$

где $H_{\Gamma 1}$, $H_{\Gamma 2}$ – геометрические напоры насоса, соответственно, до и после регенерации, м²/ч; $H_{\text{ст}}$ – величина статического уровня воды в скважине; S_1 , S_2 – понижения уровня воды в скважине относительно статического до и после регенерации: $S_1 = Q/q_1$; $S_2 = Q/q_2$ (Q – дебит скважины, м³/ч; q_1 , q_2 – удельные дебиты скважины, соответственно, до и после регенерации, м²/ч).

Окончательно снижение геометрического напора насоса ΔH_{Γ} в результате регенерации скважины можно найти по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = Q \left(\frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_2} \right). \quad (2)$$

Тогда снижение гидравлической энергии, передаваемой насосом жидкости, рассчитывается по формуле [1]

$$\Delta P_W = \frac{Q \Delta H_{\Gamma} \rho}{367000}, \quad (3)$$

где ΔP_W – снижение гидравлической мощности [2, 3], передаваемой насосом, кВт; ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³.

Снижение электрической мощности насоса рассчитывается по формуле

$$\Delta P_e = \frac{\Delta P_W}{\eta_p \eta_M}, \quad (4)$$

где η_p – КПД насоса; η_M – КПД двигателя.

Экономический эффект C при работе насоса со сниженным напором

$$C = \Delta P_e T c_3, \quad (5)$$

где T – время работы насоса, ч; c_3 – стоимость, кВт/ч.

Промывка (замена) закольматированных трубопроводов. Контроль состояния линий подключения скважин к сборным водоводам и участков сборных водоводов включает в себя замеры их гидравлического сопротивления с помощью манометрической съемки, определение значения удельного сопротивления и сравнение с табличными значениями, взятым для новой трубы.

Измеренные фактические потери напора $\Delta h_{\text{факт}}$ при расходе Q определяют по формуле

$$\Delta h_{\text{факт}} = (M_1 + z_1) - (M_2 + z_2), \quad (6)$$

где z_1 и z_2 – геодезические отметки точек, в которых установлены манометры, м; M_1 и M_2 – показания манометров, м.

Теоретические потери напора $\Delta h_{\text{теор}}$ определяют по зависимости

$$\Delta h_{\text{теор}} = (A L) Q^2, \quad (7)$$

где A – табличное значение удельного сопротивления участка трубы, $\text{с}^2/\text{м}^6$; L – длина участка, м; Q – расход воды в трубе, $\text{м}^3/\text{с}$.

При большом расхождении значений $\Delta h_{\text{факт}}$ и $\Delta h_{\text{теор}}$ принимают решение о регенерации (замене) трубы. После выполнения мероприятий находят величину достигнутого снижения потерь напора

$$\Delta h_{\text{дост}} = \Delta h_{\text{факт}} - \Delta h_{\text{теор}}. \quad (8)$$

Снижение электрической мощности и экономический эффект C вычисляют по ГОСТ с использованием формул (4), (5).

Пример. Предложенная методика расчета снижения энергопотребления была применена на водозаборе Петровщина г. Минск. Регенерация производилась на скважине № 13б. Значения удельного дебита q_1 и q_2 скважины соответственно равны $2,45 \text{ м}^2/\text{ч}$ и $3,13 \text{ м}^3/\text{ч}$. Снижение геометрического напора ΔH_r (2) составило $5,67 \text{ м}$. При дебите скважины $Q = 64 \text{ м}^3/\text{ч}$ разница гидравлической мощности P_W (3) до и после регенерации составила $0,99 \text{ кВт}$. При значениях КПД насоса η_p ЭЦВ 8-65-70, равному 78% и

КПД двигателя η_M того же насоса равному 84 % снижение электрической мощности насоса $\Delta P_e = 1,5$ кВт.

На линии подключения скважины № 10б к сборному водоводу потеря напора $\Delta h_{\text{факт}}$ (5) при расходе $Q = 63,1$ м³/ч составляла 12,58 м, а теоретические потери напора $\Delta h_{\text{теор}}$ (6) были равны 0,33 м. Из-за большого расхода значений $\Delta h_{\text{факт}}$ и $\Delta h_{\text{теор}}$ было принято решение заменить трубу. Разница гидравлической мощности P_W (3) до и после регенерации составила 2,1 кВт. При значениях КПД насоса η_p wilo K85-3+NU501-2/22 равному 74 % и КПД двигателя η_M того же насоса равному 83,1 % снижение электрической мощности $\Delta P_e = 3,41$ кВт.

В среднем насосы на скважине № 13б и № 10б работают 14 часов в сутки, за полгода количество отработанных часов равно 2520 часов. Для определения полугодового экономического эффекта $\mathcal{E}_{не}$ используем формулу (5). Полугодовой экономический эффект на двух скважинах составил 2163,1 рубля.

Это может говорить лишь о том, что правильный подбор оборудования и своевременный ремонт могут сэкономить для предприятия деньги.

Литература

1. Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем: ГОСТ 33969–2016 (ISO/ASME 14414:2015) (2017, Москва, Стандартинформ)
2. Фисенко, В. Н., Индексы энергетической эффективности группы погружных центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки в водозаборных скважинах / В. Н. Фисенко // Вода Magazine. – 2017. – № 9. – С. 24–30;
3. Фисенко, В. Н., Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения / В. Н. Фисенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 6. – С. 52–63.

**Инновационные технологии
в развитии естественных наук
и современного образования**

Применение контура циркуляции для последовательно-параллельного преобразования оптической информации

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе показано как последовательный информационный сигнал на входе волоконно-оптического циркулятора преобразуется в параллельную форму на входах регистратора. Дальнейшая обработка сигнала может производиться с любой скоростью в зависимости от быстродействия внешних устройств, работающих совместно с волоконно-оптическим процессором. Используя одновременно несколько таких устройств, можно формировать двумерные массивы данных (матрицы).

Оптические системы обработки информации двумерны по своей природе и способны производить параллельную обработку всего массива данных в реальном времени. Однако значительная часть анализируемых данных представляют собой одноканальные сигналы. Кроме того, последовательно-параллельное преобразование информационного сигнала в оптических системах обработки информации является одной из важнейших операций, позволяющих согласовать производительность процессора со скоростью информационного обмена внешних устройств, а также осуществлять представление информационного сигнала в форме, удобной для реализации ряда операций над векторными величинами и матрицами в оптическом цифровом процессоре [1–4].

Один из наиболее распространенных способов последовательно-параллельного преобразования оптической информации, заключается в том, что последовательность импульсов оптического излучения вводят в оптическую линию задержки, установленную на входе фотоприемника [2]. С помощью последовательно расположенных направленных ответвителей, получают ряд реплик последовательности с временным сдвигом, равным интервалу следования импульсов τ , детектируют выходной сигнал, из которого выделяются импульсы, следующие с временным интервалом, равным длительности последовательности ($2^n \tau$).

В схеме предложенного нами приемного устройства рис. 1 последовательно-параллельное преобразование сигнала осуществляется с использованием волоконно-оптического контура циркуляции, установленного на его входе. Разделение импульсов непосредственно в оптическом канале

дает возможность детектирования сигналов с временным разрешением, превышающим период следования информационных символов, а также снижает требования к полосе пропускания электронного канала за счет обработки сигнала на более низкой тактовой частоте.

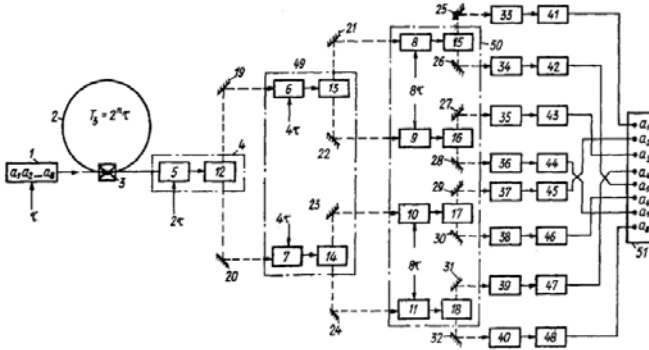


Рис. 1. Приемное устройство с последовательно-параллельным преобразованием информационного сигнала:

1 – информационный сигнал $a_1 \dots a_8$ в последовательном формате; 2 – контур циркуляции; 3 – направленный ответвитель; 4, 49, 50 – схемы поляризационного разделения; 5–11 – поляризационные модуляторы; 12–18 – двулучепреломляющие призмы; 19–32 – зеркала оптической схемы; 33–40 – фотоприемники; 41–48 – интеграторы; 51 – информационная последовательность в параллельном формате

Последовательно-параллельное преобразование в данной схеме осуществляется следующим образом. Импульсная последовательность $\{a_i\}$ в оптической форме с модуляцией интенсивности вводится в волоконно-оптическую рециркуляционную линию задержки, сохраняющую поляризацию излучения, время задержки, на один проход, в которой выбирается равным $2^n \tau$, где τ – интервал следования импульсов.

В результате многократного прохождения последовательности импульсов в циркуляторе на его выходе выделяется серия $\{b_i\}$ из 2^n повторяющихся последовательностей $\{a_i\}$, содержащая 2^{2n} элементов рис. 2. Например, для последовательности длиной 8 символов (2^3) вида 10110010 $b_i = 10110010 \ 10110010 \ 10110010 \ 10110010 \ 10110010 \ 10110010 \ 10110010 \ 10110010$ и количество элементов серии равно 64. Выходной сигнал волоконно-оптического циркулятора подвергается

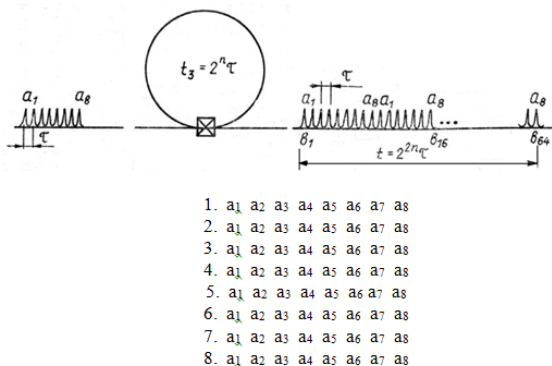


Рис. 2. Принцип последовательно-параллельного преобразования в волоконно-оптическом контуре циркуляции и формирование 2^n повторяющихся последовательностей $\{a_i\}$

поляризационной модуляции гармоническим сигналом, период которого на первой ступени ($k = 1$) в два раза превышает период следования импульсов. Если поляризационная модуляция сигнала осуществляется электрооптическим модулятором, размах гармонического сигнала выбирается равным полуволновому напряжению модулятора, при этом плоскость поляризации на пиках положительной полуволны составляет угол 90° с плоскостью поляризации на пиках отрицательной полуволны. Гармоническая форма модулирующего сигнала позволяет избежать ограничений на быстрдействие способа со стороны электрического канала модуляции, поскольку при гармоническом модулирующем сигнале, имеющем нулевую ширину спектра, электрический канал модуляции выполняется в виде резонансной системы, управляемой схемой фазовой автоподстройки частоты. Далее лучи, имеющие взаимно ортогональные направления поляризации, пространственно разделяются с помощью двулучепреломляющей призмы. После разделения в одном из лучей оказываются импульсы b_1, b_3, b_5, \dots , в другом – импульсы b_2, b_4, b_6, \dots . Каждый из этих лучей на второй ступени подвергается поляризационной модуляции гармоническим сигналом, имеющим период 4τ , в результате поляризационного деления выделяются четыре луча, содержащие импульсы $b_1, b_5, b_9, \dots, b_3, b_7, b_{11}, \dots, b_2, b_6, b_{10}, \dots, b_4, b_8, b_{12}, \dots$. Указанные лучи вновь подвергаются поляризационной модуляции, и в результате выделяется восемь лучей, содержащих следующие импульсы:

1. $b_1, b_9, b_{17}, b_{25}, b_{33}, b_{41}, b_{49}, b_{57}$
2. $b_5, b_{13}, b_{21}, b_{29}, b_{37}, b_{45}, b_{53}, b_{61}$
3. $b_3, b_{11}, b_{19}, b_{27}, b_{35}, b_{43}, b_{51}, b_{59}$
4. $b_7, b_{15}, b_{23}, b_{31}, b_{39}, b_{47}, b_{55}, b_{53}$
5. $b_2, b_{10}, b_{18}, b_{26}, b_{34}, b_{42}, b_{50}, b_{58}$
6. $b_6, b_{14}, b_{22}, b_{30}, b_{38}, b_{46}, b_{54}, b_{62}$
7. $b_4, b_{12}, b_{20}, b_{28}, b_{36}, b_{44}, b_{52}, b_{60}$
8. $b_8, b_{16}, b_{24}, b_{32}, b_{40}, b_{48}, b_{56}, b_{64}$

Последовательность импульсов $\{b_i\}$ составлена из повторяющихся последовательностей $\{a_i\}$, поэтому $b_1 = b_9 = b_{17} = b_{25} = b_{33} = b_{41} = b_{49} = b_{57} = a_1$, аналогично $b_5 = b_{13} = b_{21} = b_{29} = b_{37} = b_{45} = b_{53} = b_{61} = a_5$, $b_3 = b_{11} = b_{19} = b_{27} = b_{35} = b_{43} = b_{51} = b_{59} = a_3$ и т.д. Таким образом, в каждом из восьми лучей выделяются серии из восьми импульсов, первая серия содержит восемь импульсов a_1 , вторая – a_5 , далее – $a_3, a_7, a_2, a_6, a_4, a_8$. Эти импульсы детектируются и интегрируются на интервале длительности серии, равном $2^n \tau$, после чего вводятся в параллельный регистр в порядке $a_1, a_2, a_3, \dots, a_8$. Интегрирование на интервале 2^n позволяет использовать всю энергию протектированных сигналов, однако работоспособность способа сохраняется и при другом периоде интегрирования, его уменьшение приводит к потере энергии некоторой части сигнала, увеличение к возрастанию вклада шумов детектирования и фона в выходной сигнал.

Достоверность преобразования оптических сигналов в соответствующие им электрические сигналы будет, определяется в данном случае работоспособностью и надежностью работы всех элементов многоканального матричного фотоэлектрического преобразователя.

Литература

1. Одинокоев, С. Б. Оптическая система записи и считывания матриц голограмм / С. Б. Одинокоев, М. В. Борисов // Автометрия. –2000. – № 6. – С. 33–37.
2. Jackson, K. Optical fiber delay-line signal processing / K. Jackson [at al.] // IEEE Transaction of microwave theory and techniques. – 1985. – Vol. MTT-33, № 3. – P. 193–210.
3. Nelson, G. L. Fiber optic demonstration of MIL-STD-1760 stores interconnect / G. L. Nelson, G. J. Cosimini, D. J. Bartnik // Aerospace and Electronics Conference NAECON: Proceedings of the IEEE 1991 National. – 1991. – Vol. 1. – P. 258 –264.

4. Картвелишвили, К. З. Оптический циркулятор и его возможности для измерительной техники / К. З. Картвелишвили, А. Г. Данелия, Д. И. Гарибашвили // Измерительная техника. –1997. – №8. – С. 43–47.

УДК 681.327.68

Оптическое запоминающее устройство циркуляционного типа

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматривается техническое решение построения оперативной памяти на волоконно-оптическом контуре циркуляции. Приведены функциональная схема и принцип работы разработанного устройства. Предложенное техническое решение позволяет в 2 раза повысить максимальную частоту следования импульсов в контуре циркуляции при одинаковой полосе пропускания фотоприемников, увеличить максимальную информационную емкость памяти при той же длине контура.

Терабитные скорости передачи информации, небольшие потери и широкая полоса пропускания одномодовых волоконных световодов позволяют использовать замкнутые линии задержки с циркуляцией сигнала в качестве аналога динамического запоминающего устройства для высокоэффективного оперативного хранения и обработки информации [1–5].

В данной работе предлагается техническое решение построения оперативной памяти на волоконно-оптическом контуре циркуляции, позволяющий повысить тактовую частоту, а следовательно, увеличить информационную емкость памяти (рис. 1).



Рис. 1. Функциональная схема устройства

Информационный сигнал представляет собой кодовую цифровую последовательность импульсов в формате без возвращения к нулю. Этот сигнал поступает на шину 3 входных данных, а управляющий сигнал поступает на шину 5 управления записью. В тот же момент с шины 6 управления циркуляцией на второй управляющий вход коммутатора 7 поступает сигнал, блокирующий пропускание сигнала со второго информационного входа, подключенного к выходной шине 4, на выход коммутатора 7, с выходов которого информационный сигнал направляется на электрический вход первого модулятора 11, а также на первый 14 и второй 15 блоки задержки. Две серии импульсов, вырабатываемых управляемым генератором 8 импульсов, смещены относительно друг друга на величину, равную половине интервала следования. Сигнал синхронизации, который поступает с блока 2 синхронизации на вход управляемого генератора 8, задает величину смещения импульсов. Эти импульсы запускают генерацию импульсов оптического излучения с излучателями 9 и 10. Фазовый сдвиг $\Delta\varphi$, вносимый модуляторами 11, 12 и 13, между компонентами пропускаемого оптического излучения, имеющими взаимно ортогональную поляризацию, пропорционален уровню сигнала на электрическом входе.

Если величина информационного сигнала на входе модуляторов 11, 12 и 13 и величина полуволнового напряжения этих модуляторов будут равны, то символу «1» будет соответствовать фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \pi$, вносимый каждым из этих модуляторов, а символу «0» – фазовый сдвиг $\Delta\varphi = 0$.

Если на входе первого излучателя 9 появится символ «1», то первый модулятор 11 внесет фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \pi$. Импульсы второго излучателя 10 последовательно пройдут через второй 12 и третий 13 модуляторы, каждый из которых внесет фазовый сдвиг $\Delta\varphi = 0$ (если на электрическом входе будет символ «0») или $\Delta\varphi = \pi$ (если на электрическом входе будет символ «1»). Фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ в оптическом луче на выходе третьего модулятора 13 равен сумме фазовых сдвигов, вносимых вторым 12 и третьим 13 модуляторами, которые управляются последовательностью импульсов с задержкой на 2 и 4 символа, соответственно, элементами задержки 14 и 15. Если управляющее и полуволновое напряжение будут равны, то фазовый сдвиг на выходе третьего 13 модулятора будет равен $\pi (a_{i-2} \oplus a_{i-4})$, где a_{i-2} и a_{i-4} – это символы последовательности с задержкой, соответственно, на 2 и 4 символа, каждый из которых может принимать значение «1» или «0».

Смеситель 16 объединяет выходные лучи модуляторов 11 и 13. Полученный оптический сигнал поступает в контур 1 циркуляции. Одновременно с шины 5 управления записью, подключенной к первому управляющему входу коммутатора 7, снимается разрешающий сигнал, а с шины 6 управления циркуляцией на второй управляющий вход коммутатора 7 подается разрешающий сигнал. При этом происходит соединение второго

информационного входа коммутатора 7 и его выхода, и, как следствие, замыкание контура циркуляции 1 информационного сигнала.

Модулятор 21, управляемый гармоническим сигналом с блока 2 синхронизации, осуществляет поляризационную модуляцию (т.е. модуляцию в оптическом диапазоне частот, основанную на изменении угла плоскости поляризации оптического излучения) оптического сигнала, поступающего с выхода контура 1 циркуляции (волоконного световода). Амплитуда управляющего напряжения на электрическом входе модулятора 21 по величине равна полуволновому напряжению. Таким образом, изменение поляризации каждого импульса оптического излучения происходит на $\pi/2$ относительно поляризации предшествующего импульса. Электрический канал модулятора 21, представляющий собой резонансную систему с узкой полосой частот, работает на постоянной частоте. На выходе модулятора 21 широкополосный оптический сигнал пространственно разделяется в соответствии с поляризационным признаком. Поэтому, на выходах поляризационного светоделителя 20 происходит выделение двух последовательностей импульсов, частота которых в два раза меньше частоты следования сигнала в контуре 1 циркуляции. С помощью фотоприемников 18 и 19 происходит детектирование этих последовательностей, которые после детектирования поступают на входы блока 17 коррекции, в котором происходит при необходимости коррекция пораженных символов. С выхода блока 17 коррекции информационный сигнал поступает на второй информационный вход коммутатора 7, который связан с шиной 6 управления циркуляцией, а затем вновь направляется на модуляторы 11, 12 и 13, замыкая процесс циркуляции. Вывод информации осуществляется через выходную шину 4 с выхода блока 17 коррекции информации.

При выполнении программ все их данные хранятся в оперативной памяти. Основными физическими факторами, определяющими два важных параметра оперативной памяти, являются объем V информации в битах и время ее хранения $t_{\text{хр}}$ [6].

Объем памяти V определяется длиной L контура циркуляции, шириной полосы пропускания волоконного световода и количеством самих контуров. Если дисперсия стекловолокна допускает передачу информации со скоростью тактовой частоты f_t [7], то для одноконтурного запоминающего устройства количество информационных импульсов, которые могут распространяться по световоду в контуре циркуляции, и составляет объем памяти

$$V = \frac{Ln_{\text{гп}}f_{\text{т}}}{c}, \quad (1)$$

где L – длина контура циркуляции; $n_{гр}$ – показатель замедления групповой скорости (показатель преломления сердцевинны одномодового волокна, в световодах на основе кварцевого стекла $n_{гр} \approx 1,5$); c – скорость света в вакууме.

Время хранения информации определяется длиной контура циркуляции и вероятностью ошибки P_1 , которую допускает ретранслятор при однократной регенерации проходящей через него информации. После завершения K циклов регенерации, в получаемой информации может накопиться ошибка:

$$P_K = K P_1. \quad (2)$$

Чаще всего, как показывает опыт работы с оперативной памятью, для большинства практических приложений хранящаяся в памяти системы информация будет пригодной для дальнейшего возможного использования, если дополнительная ошибка не превысит установленной величины порядка 10^{-9} . Тогда время хранения информации в оперативной памяти будет определяться выражением:

$$t_{xp} = \frac{Ln_{гр}K}{c}, \quad (3)$$

а качество ретрансляции будет обеспечивать ошибку P_1 , определяемую выражением (2) при $P_K = 10^{-9}$.

Выражения (1–3) определяют возможности и требования к основным параметрам волоконно-оптической оперативной памяти циркуляционного типа.

Таким образом, рассмотренное оптическое запоминающее устройство циркуляционного типа позволяет двукратно увеличить максимальную частоту следования импульсов в контуре циркуляции при одинаковой полосе пропускания фотоприемников за счет поляризационной модуляции сигнала на выходе контура циркуляции. Это приводит к такому же увеличению максимальной информационной емкости памяти при одинаковой длине контура. При этом происходит снижение основного противоречия между шириной полосы пропускания оптического канала и ограниченным быстрым действием фотоприемников.

Литература

1. Bailey, D. Practical fiber optics / D. Bailey, E. Wright. – Newnes, 2003. – 288 p.

2. Пилипович, В. А. Циркуляционный волоконно-оптический контур памяти со встроенным служебным каналом / В. А. Пилипович, А. К. Есман, И. А. Гончаренко [и др.] // Квантовая электроника. – 1995. – Т. 22, № 10. – С. 1019–1022.

3. Жуковский, А. В. Моделирование процесса рециркуляционного хранения информации в оптоволоконной динамической буферной памяти / А. В. Жуковский, А. В. Поляков // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2012. – № 2. – С. 31–36.

4. Поляков, А. В. Рециркуляционный метод измерения температуры волоконно-оптическим датчиком / А. В. Поляков // Проблемы физики, математики и техники. – 2019. – № 2 (39). – С. 36–44.

5. Тимофеев, А. М. Устройство для передачи и приема двоичных данных по волоконно-оптическому каналу связи / А. М. Тимофеев // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 17–27.

6. Рябцев, В. Г. Средства восстановления работоспособности модулей памяти систем управления критического применения / В. Г. Рябцев, С. В. Волобуев // Технический сервис машин. – 2019. – № 2 (135). – С. 33–39.

7. Нелинейные эффекты в волоконной оптике: учеб. пособие / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. – Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2011. – 228 с.

УДК 538.54.16

Studies of the correlation between superconducting transition temperature and anion defectivity in thallium-based ceramics

Savchuk G. K., Yurkevich N. P.
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

The paper presents the results of studies of the influence of the anion defectiveness on the transition temperature to the superconducting state of thallium-containing superconductors. It is shown that the anion defectiveness is associated with a change in the oxygen O3 content in the thallium plane and oxygen O1 in the copper plane. It was found that the transition temperature depends on the bond lengths Tl-O3, Cu-O2 and Cu-O1.

Anion defectivity in superconducting ceramics is one of the sources generating charge carriers (holes) in them.

The aim of this work is to study the effect of anion defectivity on the transition temperature to the superconducting state in two-layer thallium-based superconductors.

The studies were performed on ceramic superconductors of the compositions $Tl_2Ba_2CuO_x$ (Tl-2201) and $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ (Tl-2212), containing two layers of thallium. The two-layer samples of the phases under study were obtained by solid-phase synthesis according to the two-stage technology [1]. The composition of the samples was controlled by X-ray diffraction analysis. The crystal structure parameters were specified by the Rietveld method using the "GSAS" program.

Anion defectiveness was created in samples as a result of vacuum annealing carried out with use of the thermal analyzer TGA 92-16.18. Ceramics were heated at a rate of 5 °C/min to temperatures of 400–500 °C at which samples were kept for 4–6 h. The transition temperatures of the ceramics to the superconducting state were determined by means of resistivity measurements.

The initial ceramics $Tl_2Ba_2CuO_x$ and $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ before annealing had transition temperatures T_c to the superconducting state of 47 K and 86 K, respectively. After annealing in vacuum at 450 °C, the transition temperatures of the superconductors were 72 K for Tl-2201 and 82 K for Tl-2212.

According to the data obtained by specifying the parameters of the crystal structure of the samples (Table 1), the oxygen losses in the superconducting samples of both phases are related mainly to the escape of oxygen O3 from the thallium plane (the initial sample Tl-2201 $n = 0,83$, annealed $n = 0,32$; initial sample Tl-2212 $n = 0,94$, annealed $n = 0,56$) and to a lesser extent with O1 oxygen escape from the copper plane (Tl-2201 $n = 1,0$, annealed $n = 0,99$; Tl-2212 $n = 1,0$, annealed $n = 0,94$).

Table 1

Crystal structure parameters of samples Tl-2201 and Tl-2212 with different degree of anion defectivity

Tl-2201	Parameters	Source $T_c = 47$ K	Samples, after annealing $T_c = 72$ K	Tl-2212	Parameters	Source $T_c = 86$ K	Samples, after annealing $T_c = 82$ K
Tl^{+3}/Cu^{+1} (0,5, 0,5, z)	z	0,2021	0,2024	Tl^{+3}/Ca^{+2} (0,0,z)	z	0,2138	0,2137
	n	0,963/0,037	0,839/0,141		n	0,77/0,23	0,73/0,27
	U-Tl ⁺³	0,019	0,017		U	0,0128	0,0128
	U-Cu ⁺¹	0,041	0,010				
Ba^{+2} (0,0,z)	z	0,0841	0,0835	Ba (0,5,0,5,z)	z	0,1216	0,1213
	n	1,0	1,0		n	1,0	1,0
	U	0,005	0,006		U	0,0135	0,0138
Cu^{+2}/Tl	z	0,0076	0,0242	Cu	z	0,0565	0,0544

Cu^{+1} (0,5,0,5, z)	n U	0,964/0,036 0,005	0,859/0,141 0,010	(0,0,z)	n U	1,0 0,0277	1,0 0,0093
-	-	-	-	$\text{Ca}^{+2}/\text{Tl}^{+3}$ (0,5,0,5,0)	n U	0,92/0,08 0,0036	0,88/0,12 0,0086
O(1) (0,0,5,0,)	z n U	0,0 1 0,102	0,006 0,987 0,059	O(1) (0,0,5,z)	z n U	0,0526 1,0 0,0148	0,0455 0,94 0,00925
O(2) (0,5,0,5, z)	z n U	0,1098 1,0 0,004	0,1019 1,0 0,001	O(2) (0,0,z)	z n U	0,13124 1,0 0,047661	0,1374 1,0 0,0361
O(3) (x,0,5,z,)	x z n U	0,5 0,3087 0,834 0,087	0,502 0,3114 0,324 0,103	O(3) (0,0,z)	z n U	0,27896 0,94 0,2336	0,2802 0,56 0,1988
	R_{wp}	0,08	0,08			0,07	0,08

The increase in the number of charge carriers for the Tl-2201 phase is determined by both oxygen non-stoichiometry and cationic non-stoichiometry associated with isomorphic substitution of some proportion of Tl^{+3} atoms in their main positions by Cu^{+1} atoms. For Tl-2201 samples after vacuum annealing the fraction of substituted thallium atoms increases (for the initial sample $\text{Tl}^{+3}/\text{Cu}^{+1}$ $n = 0,96/0,037$, for annealed $n = 0,85/0,15$) (Table 1), which in turn also leads to an increase in hole conductivity.

In Tl-2212 superconductors, the fraction of thallium atoms occupying their main positions decreases by 7 % after annealing (Table 1), while the fraction of Tl^{+3} ions replacing Ca^{+2} ions increases by 5 %, which also leads to a change in the number of charge carriers in superconductors. The observed loss of oxygen in the thallium and copper planes in the Tl-2212 samples leads to an increase in the number of holes, while the total change in the number of charge carriers in the ceramics is such that the transition temperature to the superconducting state in Tl-2212 superconductors decreases. Consequently, we can say that the dependence of the superconducting transition temperature on the number of carriers for the two-layer thallium-containing phases is not linear.

The geometry of the structures of ceramic samples of high-temperature Tl-2201 and Tl-2212 phases can be clearly compared on the basis of the data obtained for the interatomic distances (Table 2).

In superconducting ceramic samples of Tl-2212 phase the Cu-O1 distance value, according to Table 2, has values lying in the range (1,936 – 1,947) Å. The apical oxygen O2 in the ceramics of Tl-2212 phase is not closer than 2.43 Å to copper, whereas the lowest Cu-O2 distance in the samples of Tl-2201 phase is 1.81 Å. The character of changes in the distances from copper ions to apical oxygen ions with increasing transition temperature to the superconducting state for the Tl-2201 and Tl-2212 phases is the same (the distances decrease).

Table 2

Main interatomic distances of superconducting samples of phases
 Tl-2201 and Tl-2212 with different degrees of anion defects

Interatomic distances, Å	Tl-2212 $T_c = 86$ K	Tl-2212, $T_c = 82$ K after vacuum annealing at 450 °C	Tl-2201 $T_c = 47$ K	Tl-2201 $T_c = 72$ K after vacuum annealing at 450 °C
Tl - O3	2,558	1,956	2,467	2,532
Ba - O2	2,763	2,808	2,796	2,765
Ba - Cu	3,333	3,359	3,353	3,719
Cu - O1	1,936	1,947	1,939	1,970
Cu - O2	2,491	2,431	2,368	1,806
Tl - O2	2,422	2,226	2,135	2,339
Cu-O1-Cu angle (in degrees)	180,0	180,0	180,0	179,1

The results obtained for the Tl-2201 phase containing no calcium planes (Table 2) show that the Cu-O bond length in CuO2 layers increases from 1,94 to 1,97 Å for samples with higher T_c , and the copper-versus-oxygen distance along the c axis decreases from 2,37 Å to 1,81 Å. The increase of cationic and anionic defectiveness of $Tl_2Ba_2CuO_x$ ceramic samples leads to the decrease of Cu-O₁-Cu angle, which causes "corrugation" of Cu-O planes [2], while for Tl-2212 phase "corrugation" is not characteristic.

The dependence of the superconducting transition temperature on the distances between Cu and O1 ions (Fig. 1) has been obtained from the studies of the Tl- 2212 phase ceramics. It follows that superconductors of the $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ composition will have a superconducting transition temperature of about 100 K and higher provided that the Cu-O1 distance is (1,92 – 1,925) Å.

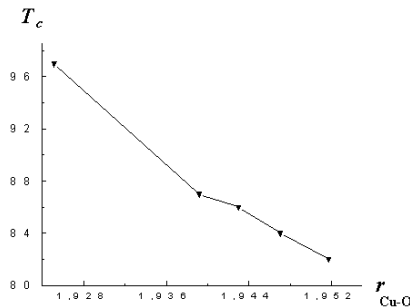


Fig. 1. Dependence of T_c (K) on r_{Cu-O} distances (Å)

Thus, the study of the influence of anion defectivity on the phase transition temperature has shown that the superconducting transition temperature in the ceramic two-layer samples $Tl_2Ba_2CuO_x$ and $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$, regardless of the presence of a calcium layer, is determined by the value of Cu-O1 interatomic distances. The dependence obtained for the $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ phase should be taken into account when choosing methods to increase the T_c of thallium-based superconductors.

References

1. Akimov, A. I. Ceramic materials (dielectric, piezoelectric, superconducting): conditions of production, structure, properties / A. I. Akimov, G. K. Savchuk. – Minsk: BSU Publishing Center. – 2012. – 256 p.

2. Akimov, A. I. The effect of the crystal structure parameters of the superconductor phase $Tl_2Ba_2CuO_6$ on the superconducting transition temperature / A. I. Akimov, G. K. Savchuk // Materials of electronic engineering. – 2011. – № 2. – P. 66–71.

УДК 37.01:378.4 (476)

Studying the magnetic field of a multilayer solenoid in the laboratory physics workshop

Yurkevich N. P.¹, Savchuk G. K.¹, Akhmedov A. P.², Khudoyberganov S. B.²

¹Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus,

²Tashkent State Transport University

Tashkent, Republic of Uzbekistan

This paper presents the theory of the magnetic field of a multilayered solenoid of finite length with an arbitrary number of coils. It describes the methods of experimental and theoretical investigation of solenoid magnetic field distribution in laboratory practice for students of physics and engineering specialties.

In the conditions of implementation of the international students' training program within the framework of the joint department of BNTU and TSTU (Tashkent) on training engineers-technicians it is necessary to develop and implement into the educational process methodical and laboratory support, which would allow to combine not only educational, but also scientific and research technologies to the fullest extent. This is especially relevant when teaching students according to the modular-block system, when the course of physics is studied in a certain period of time determined by the curriculum. This development

meets the above principles and allows you to acquire certain skills of scientific research in the process of performing laboratory physics practical work.

The purpose of this work is to develop a methodological and laboratory support for studying the magnetic field distribution in a multilayer solenoid of finite length using a Hall sensor.

The development was based on the principle of learning [1-5] from simple to complex: learning the basic concepts of DC magnetic field theory is based on studying the magnetic field of a rectilinear conductor with current and the magnetic field on the axis of a circular coil with current. The use of the above principle helps students to form the necessary conceptual base. Next, the distribution of the magnetic field at various points along the axis of a single-layer solenoid of finite length is examined step by step. Then the magnetic field inside the multilayer solenoid is examined.

Let the multilayer solenoid contain k layers. Let us isolate a thin solenoid of thickness dR in a multilayer solenoid with inner radius R_1 and outer radius R_2 (Fig. 1). If a current kI flows through the wire of the multilayer solenoid, then the separated thin solenoid of thickness dR will have a current

$$dI = \frac{Ik dR}{R_2 - R_1}.$$

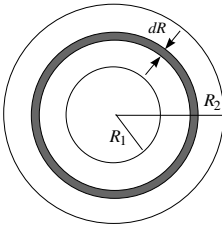


Fig. 1. Extraction of a thin solenoid of thickness dR in a multilayer solenoid with inner radius R_1 by outer radius R_2

A thin solenoid of thickness dR , through the coils of which current dI flows, creates induction

$$dB = \frac{\mu_0 n dI}{2} \left(\frac{L-x}{\sqrt{R^2 + (L-x)^2}} + \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right).$$

Given the above expression for the current element $dI = \frac{Ik dR}{R_2 - R_1}$, we obtain

$$dB = \frac{\mu_0 I n k dR}{2(R_2 - R_1)} \left(\frac{L-x}{\sqrt{R^2 + (L-x)^2}} + \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

Let's integrate this expression over the radius of the multilayer solenoid in the range from R_1 до R_2

$$B = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 Ink dR}{2(R_2 - R_1)} \left(\frac{L-x}{\sqrt{R^2 + (L-x)^2}} + \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right),$$

or

$$B = \frac{\mu_0 Ink}{2(R_2 - R_1)} \int_{R_1}^{R_2} \frac{L-x}{\sqrt{R^2 + (L-x)^2}} dR + \frac{\mu_0 Ink}{2(R_2 - R_1)} \int_{R_1}^{R_2} \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} dR.$$

Let us use the table integral of the form

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln \left(x + \sqrt{x^2 + a^2} \right),$$

where a is a constant.

After integration we obtain the expression for the modulus of the magnetic induction vector [6]

$$B = \frac{\mu_0 Ink}{2(R_2 - R_1)} \left((L-x) \ln \frac{R_2 + \sqrt{R_2^2 + (L-x)^2}}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (L-x)^2}} + x \ln \frac{R_2 + \sqrt{R_2^2 + x^2}}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + x^2}} \right).$$

The formula obtained makes it possible to calculate the magnitude of the magnetic field induction at any point on the axis of a multilayer solenoid of finite length. The magnitude of the magnetic field induction of a multilayer solenoid depends on its length, the number of layers, the number of turns, the current in the turns, the values of external and internal radii.

After mastering the theoretical part, students conduct an experimental study.

The main parts of the laboratory setup (Fig. 2) are: solenoid **1**, solenoid **2**, support for Hall sensor **9**, Hall sensor **4**, measuring unit **10**, which is a micro-processor system.

The solenoids have a length of 0.02 m, 35 layers and contain each 100 turns per unit length. The inner diameter of the solenoids is 0.011 m, the outer diameter is 0.056 m. The solenoid is powered by a special current source.

All parts, except the measuring unit, are mounted and can be moved on the guiding support rail **5** with a millimeter scale. The position of the sensor support is set by the arrow **3** with the help of marks on the scale with millimeter accuracy.

To experimentally measure the magnitude of magnetic field induction on the solenoid axis, the Hall sensor **4**, which is used to measure the Hall potential difference, is used in this work.



Fig. 2. View of the experimental laboratory setup

The Hall sensor is a thin semiconductor plate attached to the end of a long tube (rod) **6**. The rod automatically moves inward one or two coils.

When the sensor is in the area of space where there is a magnetic field of unknown magnitude, with a constant current through the plate, knowing its dimensions and the Hall constant, the magnitude of the magnetic field induction B is determined by the measured Hall potential difference.

On the front panel of the measuring unit **10** there is a control panel **8** and a graphic display **7**.

The experimental setup allows to carry out investigations: **in mode 1** (Mode 1) – study of dependence of $B(x)$ magnitude of magnetic induction on the distance L along the solenoid axis; **in mode 2** (Mode 2) – study of dependence of module and direction of magnetic induction vector on the magnitude and direction of the current flowing along the solenoid, at a fixed point located on the solenoid axis.

In the first mode, the motor moves the Hall sensor on the rod inside the solenoid, and the graphical display **7** shows the dependence of $B(x)$ magnitude of magnetic induction on the distance x along the solenoid axis, and the numerical display shows the corresponding values of these values. In the second mode with fixed position of the sensor inside the solenoid the dependence of magnetic induction value on the current strength $B(I)$ is displayed on the graphical panel **7** (current of solenoid **2** varies from 0 A to 2 A).

Students solve the following problems while doing the research:

1. Study the distribution of the magnitude of the magnetic induction vector along the axis of a multilayer solenoid of finite length. Students study the distribution of the magnetic field inside the solenoid, experimentally determine the value of the maximum magnetic induction B_{\max} and its corresponding values x

for a given value of the solenoid current. Theoretical calculation $B(x)$ with the same parameters is performed, the theoretical values of $B_{\max}(x)$ are compared with experimental data and conclusions are drawn.

2. Study the relationship between the direction of magnetic induction vector and the direction of current flowing through the solenoid at the point located on the solenoid's axis. By comparing the graphical relationships obtained, students should conclude about the influence of the direction of the current in the solenoid on its magnetic field.

3. Investigate the distribution of the magnetic induction vector along the axis passing through the centers of two multilayered solenoids with currents flowing first in one and then in opposite directions. In the assignment, students compare the obtained graphical dependences and draw conclusions about the superposition principle for the magnetic induction vector.

This technique showed its high efficiency in terms of formation of students' conceptual base and acquisition of research skills by students in the process of laboratory physics practical work.

References

1. Kuzhir, P. G. Improvement of student training in fundamental disciplines / P. G. Kuzhir, N. P. Yurkevich, S. A. Postankevich // *Vysheyshaya shkola*. – 2002. – № 3. – P. 30–32.

2. Kuzhir, P. G. Electricity and Magnetism. Collection of problems: a training manual / P. G. Kuzhir, N. P. Yurkevich, G. K. Savchuk. – Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2019. – 264 p.

3. Yurkevich, N. P. The study of elastic properties of wood during laboratory physical workshop in the course of general physics / N. P. Yurkevich, G. K. Savchuk // *Physical Education in Higher Education*. – 2016. – V. 22, № 4. – P. 96–101.

4. Sauchuk, G. K., Yurkevich N. P. The teaching of students of the construction engineering specializations using the modern computational structural crystallography / G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // *Scientific Light*. – 2018. – V. 1, No 19. – P. 15–20.

5. Yurkevich N. P. The use of innovative technologies in the laboratory physical workshop in teaching students engineering and construction profile / G. K. Savchuk, N. P. Yurkevich // *Innovative technologies of teaching physics and mathematics and vocational technical disciplines: materials VIII International Scientific-Practical Internet-conference, Mozyr, 22–25 March. 2016* / Mozyr State Pedagogical University. I. P. Shamyakin. – Mozyr, 2016. – P. 59–61.

6. Yurkevich N. P. Investigation of magnetic field distribution in a multilayer solenoid of finite length / N. P. Yurkevich, G. K. Savchuk, P. G. Kuzhir // *Physical Education in Higher Education*. – 2015. – V. 21, № 2. – P. 49–60.

УДК 621.316

Innovative public transport stop with autonomous power supply

Akhmedov A. P.¹, Khudoyberganov S. B.¹, Yurkevich N. P.²

¹Tashkent State Transport University

Tashkent, Republic of Uzbekistan,

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Considered the possibility of creating a public transport stop with autonomous power supply using solar panels and wind generator.

Currently, in many countries around the world, experts are working on creating innovative public transport stops. In Termez (Uzbekistan), stops have been built using modern construction materials, air conditioning, public transport schedule displays, information panel for emergency communication with the ambulance service, environmental monitoring sensor, free WiFi network, video cameras and phone charging devices, and ATMs have been installed [1].

At this kind of stops information about the number of people is collected and analyzed, which is important for estimating the passenger flow and timetable of passenger transport. There is a possibility of obtaining operational information about cases of violations of public order. Solar panels installed at the innovative stop provide lighting and electricity to USB ports for charging phones. Some stops can be equipped with trade and service points (Fig. 1).



Fig. 1. Innovative stop in the city of Termez

he company «XXI Century-TV» has developed an innovative stop for public transport (Fig. 2).



Fig. 2. Innovative stop for public transport

Specialists of the company «XXI Century-TV» developed an innovative project of a public transport stop with the possibility of automatic heating for waiting passengers. The complex is designed with several options and LED backlighting [2]. The first such stop is installed near the government building of the Moscow region in Krasnogorsk. The bench for waiting passengers has an infrared heater with a load sensor that activates as soon as any of the citizens waiting for public transport sits down on a seat. In future the design of this public transport stop will provide waiting people with WiFi connection.

LLC «LSTK-Ural» is a manufacturer of innovative stop pavilions and interactive sensor systems (Fig. 3).



Fig. 3. Smart Stop - LSTC - Ural (Chelyabinsk)

The innovative pavilions are equipped with LED lighting, adjustable heated benches, a touch screen with a city navigation system and the ability to display

advertising content, an electronic library, a news feed, a video surveillance camera, a WiFi access point, and vandal-resistant paintwork. For the first time in Russia, a 700 watt solar power station has been installed on a smart bus stop, which allows the stop to be fully autonomous in the summer and save up to 70% of electricity in the winter.

These pavilions are of closed type with infrared heaters and warm benches. An interactive counter with a super-bright display allows to inform the passengers about the arriving transport at the touch of a button. A map of the city with moving passenger transport in real time, as well as weather and advertising content is also displayed on the display [3].

An innovative public transport stops with autonomous power supply using solar panels and a wind generator are proposed. Such a stop will function all year round and its operation will not depend on the weather. Especially the stop will be effective in the Central Asian region, where there are many more sunny days per year than in other regions.

Fig. 4. shows the project of a public transport stop with an autonomous power supply using solar panels and a wind generator.

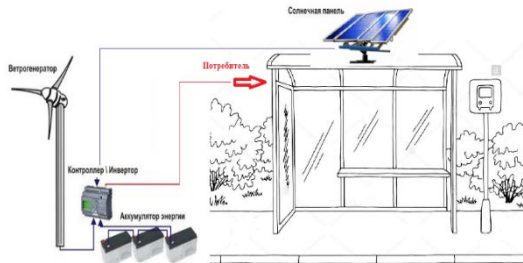


Fig. 4. Design of a public transport stop



Fig. 5. Vertical five-blade wind turbine generator with an airplane wing profile

Solar panels are installed on the roof of the bus stop. As an additional source of electrical energy a wind generator can be used. For the best use of wind energy a wind turbine of the vertical type is proposed (Fig. 5). The advantages of the vertical wind turbine are considered to be an increased service life and lower noise. At the same time, they have on average twice the service life and half the noise level.

The blades of a vertical wind turbine rotate parallel to the ground in any direction and strength of the wind. This type of wind turbine is

easier to install and maintain, because its gearbox and generator are placed on the ground. To achieve the maximum efficiency of this type of wind turbine should be installed on the curb between the roads with oncoming traffic. Fig. 6. shows the layout of wind turbines on the roads with two-way traffic.

Vertical wind generators are installed at a certain distance interval of about 4–5 m at special sites located on the curbs. Wind turbines are installed so that their blades do not interfere with the movement of passing cars. The cost of manufacturing and installation of such wind turbines on roads will be repaid in about 5–7 years.

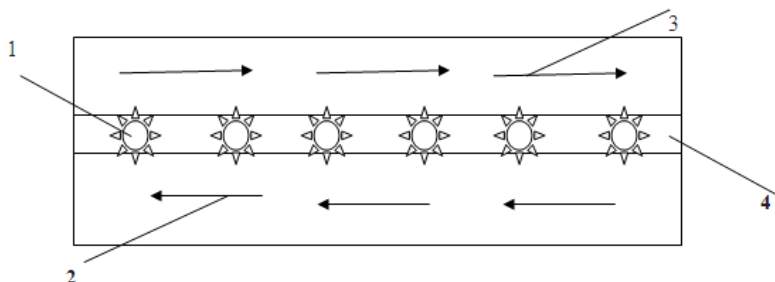


Fig. 6. Layout of wind turbine generators on the roadway:

1 – wind generator; 2, 3 – directions of movement of cars; 4 – curb

Practical implementation of the proposed project will make it possible to create public transport stops with autonomous power supply using solar panels and wind generator.

References

1. Smart stops for public transport appeared in Termez. – Tashkent, 2019. – Access mode: <http://darakchi.uz>. – Date of access: 30.10.2018.
2. The company "XXI Century–TV" developed an innovative stop for public transport. – Moscow, 2000. – Access mode: www.outdoor.ru. – Date of access: 24.03.2015.
3. Stops of public transport. – Chelyabinsk, 2010-2021. – Access mode: <http://lstk-ural.ru>. – Date of access: 18.12.2018.

УДК 57.2(075.8)

Эффективность программированного контроля знаний студентов по физике с учетом инновационных технологий

Попко С. В.¹, Бибик А. И.¹, Петренко С. И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

Современные задачи, стоящие перед высшей школой, требуют существенного повышения эффективности учебного процесса. Одно из направлений решения этой задачи связано с применением в учебном процессе ТСО и программированных методов контроля знаний. Использование программированного контроля позволяет осуществить контроль всей студенческой группы, обеспечивая при этом индивидуальный опрос студентов.

При проведении безмашинного программированного контроля каждый студент получает планшет, содержащий 8–10 вопросов. На каждый вопрос дается несколько ответов, из которых только один является верным. номера верных ответов студент записывает в форме таблицы. Все необходимые расчеты, построения студенты выполняют на том же листе бумаги. Эти записи свидетельствуют о самостоятельности даваемых ответов. Так как работа со студентами требует индивидуального подхода к каждому из них, то каждому студенту кроме планшетных заданий выдаются индивидуальные задания. Например, по теме «Элементы релятивистской механики» такие:

- 1) космический корабль летит со скоростью $v = 0,8c$, где c – скорость света, относительно Земли. Определите промежуток времени τ' , отсчитываемый по часам на Земле, если по корабельным часам между двумя прошедшими на корабле событиями проходит промежуток времени $\tau = 1$ год;
- 2) определите скорость частицы, если ее полная энергия в $n = 2,5$ раза больше ее энергии покоя.

По теме «Элементы квантовой механики» такие задания:

- 1) найдите длину волны де Бройля электрона, обладающего кинетической энергией а) $E_k = 100$ эВ, б) $E_k = 3,0$ МэВ;
- 2) атом, перейдя из возбужденного состояния в основное, испустил фотон с частотой $\omega = 4,34 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Продолжительность излучения составляет $\Delta\tau = 10^{-9}$ с. Определите наименьшую точность ($\Delta\lambda$), с которой может быть измерена длина волны излучения.

Для эффективности программированного контроля применяется компьютер – мощнейший инструмент получения и обработки информации. В этом случае количество контрольных вопросов увеличивается в 2–3 раза. Время опроса всей группы сокращается на 10–15 минут, объективность оценки возрастает.

А самое главное: студенты получают вопросы по наиболее сложным темам, например, по такой: представление негармонических колебательных процессов при помощи гармонических колебаний. Другими словами: уметь разложить сложное колебание в ряд Фурье. Для примера – решить задачу:

колебание материальной точки происходит по закону $S = 4\cos^2 0,5t \sin 1000t$. Надо разложить колебание на гармоники и нарисовать его спектр.

Или такую задачу: колебание материальной точки происходит по закону $S = (1 + \cos^2 t + \sin^4 t) \sin 500t$. Надо разложить колебание на гармоники и нарисовать его спектр.

По теме «Второе начало термодинамики» студенты должны знать несколько формулировок этого закона, уметь находить прирост энтропии при превращении 1 л воды при 0 °С в пар при 100 °С, уметь определить изменение энтропии при нагревании и плавлении олова.

Процесс обучения во втузе должен быть направлен не только на овладение суммой знаний, но и на развитие мыслительных способностей будущих инженеров. С целью повышения интереса к физике в контрольные задания вносятся вопросы, касающиеся последних достижений в науке. За последние годы получен ряд уникальных по сочетанию свойств материалов, состоящих из структурных элементов нанометровых размеров, особое место среди которых занимают материалы на основе фуллеренов. Студентам предлагаются следующие темы рефератов: «Фуллерены, фуллериты, методы синтеза, структура и свойства», «Углеродные нанотрубки», «Физико-механические свойства композитных материалов с углеродными наполнителями». После изучения литературы по данному вопросу студенты могут решать, например, такие задачи:

1) рассчитать удельную площадь поверхности различных молекул C_{60} , C_{70} ;

2) рассчитать удельную площадь поверхности одностенных углеродных нанотрубок заданного диаметра;

3) рассчитать удельную площадь поверхности многостенных углеродных нанотрубок заданного диаметра.

А после освоения работы на установке ВУП-5М студенты привлекаются к экспериментальной работе по изучению металл-фуллереновых материалов, сформированных в дуговом разряде в гелиевой среде. После чего они могут решить следующую задачу: определить поверхностную энергию

полистирольных пленок, модифицированных углеродными наночастицами.

Поверхностная энергия – это энергия, которую надо затратить для создания поверхности. Количество энергии, которую нужно затратить для создания единицы площади, называется удельной поверхностной энергией γ . Поверхностная энергия влияет на многие физико-химические свойства материалов. В частности, γ входит в известное уравнение Гриффитса, при котором трещина достигает критических размеров, после чего наступает разрушение, растрескивание материала определяется формулой

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}},$$

где l – длина половины трещины; E – модуль Юнга.

Определение поверхностной энергии студенты проводят методом покоящейся капли. В качестве смачивающих жидкостей используют дистиллированную воду и глицерин. На образце медицинским шприцем формируются капли глицерина и воды диаметром 1–2 мм. С помощью камеры видеонаблюдения и персонального компьютера фиксируется профиль капели. По изображению капли на фотографии определяются углы смачивания для обеих жидкостей. Результаты эксперимента показали, что введение C_{60} незначительно уменьшает поверхностную энергию полистирола со 145 мДж/м^2 до 132 мДж/м^2 , когда масса фуллерена составляла 1 % от массы полистирола. Изменение поверхностной энергии вызвано структурированием областей полистирола, прилегающих к углеродным наночастицам.

В ходе таких занятий студенты охотно занимаются творчеством, поиском новых решений, применяют усвоенные знания в нестандартной ситуации. Все это безусловно приводит к глубокому усвоению новых знаний, личностному саморазвитию и мотивирует обучающихся на дальнейшее профессиональное обучение. Кроме того, в условиях массового учебного процесса программированный контроль обеспечивает решение не только своей прямой задачи, но и существенно расширяет возможности преподавателя выполнять в ходе занятия обучающие функции.

Литература

1. Латыш, В. Н. О роли компьютерных технологий в улучшении качества подготовки специалистов МЧС / В. Н. Латыш // Информатизация образования. – 2003. – № 4. – С. 29–38.

2. Игнаткович, И. В. Повышение уровня мотивации студентов к будущей профессиональной деятельности / И. В. Игнаткович // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: матер. VI Международной научно-практической конференции. – Минск, 2012. – С. 73–75.

3. Пенязьков, О. Г. Материалы, содержащие фуллерены: достижения и надежды / О. Г. Пенязьков [и др.] // Наноструктуры в конденсированных средах: сборник научных статей. – Минск, 2015. – С. 6–13.

4. Унсович, А. Н. Компьютерные технологии в организации самостоятельной работы студентов / А. Н. Унсович // Вышэйшая школа. – 2005. – № 4. – С. 21–24.

УДК 534.6

Определение наиболее эффективного метода измерения скорости распространения звуковых волн в твердых и газообразных телах для обучения студентов строительных специальностей

Бибик А. И., Попко С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе предлагаются методики для измерения скорости звука в твердых и газообразных средах, рассчитанные на внедрение в лабораторный практикум и позволяющие облегчить студентам инженерных специальностей понимание закономерностей волновых процессов.

Важность понимания методик измерения скорости звука в различных средах обусловлена их применением в самых различных областях человеческой деятельности. Зависимость скорости распространения и затухания акустических волн от свойства и процессов в них происходящих, используется в таких исследованиях как:

- изучение молекулярных процессов в газах, жидкостях и полимерах;
- изучение строения кристаллов и других твердых тел;
- контроль протекания химических реакций, фазовых переходов, полимеризации и др.;
- определение концентрации растворов;
- определение прочностных характеристик и состава материалов;
- определение наличия примесей;
- определение скорости течения жидкости и газа.

Практически каждый студент инженерной специальности в своей профессиональной деятельности может столкнуться с устройствами, изме-

ряющими скорость звука. В связи с этим важно чтобы студенты понимали как общие физические закономерности, лежащие в основе их работы, так и методы их конкретной практической реализации.

Мы в процессе обучения студентов строительных специальностей используем методы измерения скорости звука в твердых и газообразных телах, основанные на анализе резонансов стоячих волн. Остановимся на этих методах подробнее.

Для определения скорости звука в твердых телах используются металлические стержни, изготовленные из соответствующего вещества, звуковой генератор, осциллограф и электромагниты. Электромагнит, расположенный вблизи одного из концов стержня, соединен с осциллографом, а на электромагнит у другого конца стержня подается синусоидальное напряжение от генератора звуковой частоты. При включенном генераторе по обмотке электромагнита идет переменный ток. При этом ферромагнитный наконечник, прикрепленный к стержню, притягивается к сердечнику электромагнита с разной силой, ударяя по стержню, в результате чего в стержне возбуждаются упругие продольные волны с частотой колебаний ν , равной частоте задающего звукового генератора.

В обмотке электромагнита, расположенного на противоположном конце стержня в результате колебаний ферромагнитного сердечника, связанного со стержнем, возникает переменная ЭДС индукции, амплитудное значение которой пропорционально амплитуде колебаний частиц стержня. Подавая сигнал с обмотки этого электромагнита на осциллограф, можно следить за изменением амплитуды колебаний конца стержня.

Если частота звукового генератора, а следовательно, и частота продольных волн совпадает с какой-либо из собственных частот колебания стержня, то наступит резонанс, и в стержне возникнет стоячая волна. Стержень начнет звучать, на осциллографе обнаружится резкое возрастание амплитуды колебаний.

В описанной выше установке каждый из стержней закреплен посередине. В неподвижно закрепленных точках должны быть узлы стоячей волны, а на свободных концах стержня – пучности. Это условие выполняется, е-

сли на длине l стержня укладывается нечетное число полуволин $\frac{\lambda}{2}$, т.е.

$$l = (2n - 1) \frac{\lambda_n}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

Длина волны λ_n , частота колебаний ν_n и скорость распространения волн v связаны соотношением $v = \lambda_n \nu_n$, откуда

$$v_n = \frac{v}{\lambda_n} \quad (2)$$

Из (1) и (2) получаем выражение для собственных частот колебаний закрепленного посередине стержня

$$v_n = \frac{(2n-1)v}{2\ell} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots). \quad (3)$$

Резонансные колебания стержня возникают при совпадении частоты вынуждающей силы (частоты генератора) с любой из собственных частот, определяемых уравнением (3).

Определив частоту v_1 основного тона ($n = 1$) и длину l стержня, можно вычислить скорость распространения продольных волн в веществе, из которого изготовлен стержень, по формуле $v = 2\ell v_1$.

Для определения скорости звука в газах применяют акустический резонатор, представляющий собой трубку, в которой заключен столб воздуха, ограниченный с обеих сторон. Звуковая волна, идущая от источника колебаний, в данном случае от закрепленного на конце трубы микрофона, связанного со звуковым генератором, достигнув противоположного конца трубы, распространяется в обратном направлении. При наложении падающей и отраженной волны вследствие интерференции образуется стоячая волна (рис. 1).

В закрытом резонаторе звуковая волна отражается от среды с большей плотностью, при этом волна меняет фазу на противоположную, т.е. на π , и на концах образуются узлы, в которых колебания частиц воздуха отсутствуют (амплитуда равна нулю).

Точки стоячей волны, в которых амплитуда колебаний максимальна называются пучностями.

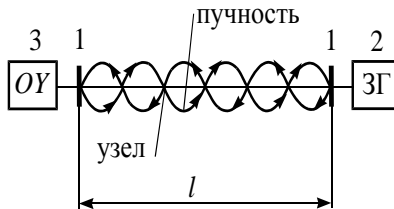


Рис. 1. Возникновение стоячих звуковых волн в полном цилиндре:
1 – микрофоны; 2 – звуковой генератор; 3 – осциллограф

Так как в закрытом резонаторе укладывается целое число длин полу-волн, то условие возникновения стоячей волны в закрытом резонаторе имеет вид

$$l = \frac{\lambda}{2} k, \quad (4)$$

где l – длина резонатора; λ – длина бегущей волны; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Стоячую волну можно получить либо изменяя длину резонатора l при постоянной частоте колебаний источника ν , либо изменяя ν при неизменной длине резонатора.

Пусть при некоторой частоте ν_0 возникает N стоячих полуволн, при частоте $\nu_n - (N + k)$ стоячих полуволн, при частоте $\nu_m - (N + m)$ стоячих полуволн. Тогда

$$l = \frac{\lambda_1}{2} (N + k), \quad l = \frac{\lambda_2}{2} (N + m)$$

Так как скорость волны в среде $v = \lambda \nu$, то для частот ν_n и ν_m имеем

$$v = \frac{2l}{N + k} \nu_k, \quad v = \frac{2l}{N + m} \nu_m.$$

Исключая из последних уравнений N , получаем рабочую формулу для определения скорости звука в воздухе

$$v = \frac{2l(\nu_m - \nu_k)}{m - k}.$$

Представленные выше методы используются нами в образовательном процессе в лабораторных работах изучающих методики измерения модуля Юнга твердых веществ и показателя адиабаты газов.

Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
2. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Высшая школа, 2002. – 718 с.

Лазерное сканирование пространства и проблема сложения движений

Кириленко А. И., Межинская А. С.
Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматриваются вопросы сканирования пространства двухзеркальным сканером посредством лазерного луча. Показано, что пространство может обегаться лучом с различной плотностью, то есть имеются области, где за определенное время луч проходит наиболее часто, и есть области, куда луч не попадает за ограниченное время сканирования (области ограниченной достижимости). По мере увеличения времени сканирования луч достигает любой точки пространства. Приведены примеры заполнения областей пространства различной конфигурации.

Задачи поиска и обнаружения объектов в пространстве многочисленны и разнообразны. Все они сводятся к формированию индикатрисы направленности излучения, по сути дела луча или пучка лучей, и управлению этой индикатрисой. Достаточно изменять два угла, задающих направление луча в пространстве для того, чтобы он заштриховал некоторую плоскость. В таком контексте задача сводится к сложению движений в плоскости.

Эта проблема имеет древнюю поучительную историю и обширные технические приложения. Пожалуй, первыми к таким задачам обратились древние греки. Их заворожила красота получающихся завитков – спиралей, которые они наблюдали в живой природе. Наиболее известна спираль Архимеда – кривая, описываемая точкой, движущейся с постоянной скоростью по лучу, который, в свою очередь, вращается около полюса с постоянной угловой скоростью. Ее свойства впервые описал Конон Самосский в III в. до н. э., но Архимед внес решающий вклад в изучение ее свойств.

Гораздо позже изучались кривые, описываемые точкой окружности, катящейся без проскальзывания по другой окружности внутри ее. Они называются гипоциклоидами. Гипоциклоиды – замкнутые кривые, родственные эпициклоидам и циклоидам. Частный случай таких движений рассмотрел персидский математик Насир ад-Дин Туси в XIII веке. Задача формулируется следующим образом: по внутренней поверхности жестко зафиксированного цилиндра радиуса R в плоскости сечения катится диск радиусом $R/2$. В результате точка контакта совершает колебательное движение вдоль диаметра большой окружности. Это простейший пример пре-

образования вращательного движения в колебательное. В индустриальную эпоху подобные задачи стали весьма актуальными. В современных условиях актуальными стали задачи сканирования пространства. Возникла проблема обнаружения и уничтожения «микроскопических» беспилотных летательных аппаратов. В соответствии с законами распространения излучения, чем короче длина волны излучения, тем более мелкие предметы могут быть обнаружены с его помощью.

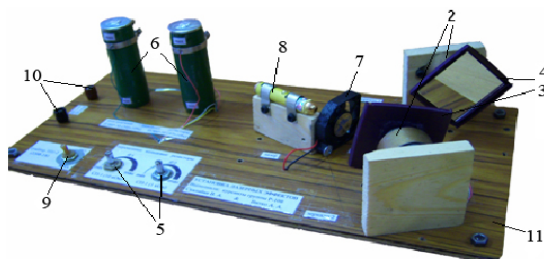


Рис. 1. Установка для получения фигур Лиссажу оптическим методом и наблюдения направления их обхода:

- 1 – блок питания постоянного тока с выходным напряжением 12 В;
 2 – два двигателя постоянного тока мощностью 3 Вт, 72 об/мин, 0,398125 Н·м;
 3 – первое зеркало (с внутренним напылением) (50×50 мм); 4 – второе зеркало по ходу лазерного луча; 5 – два переменных кольцевых резистора СП-1 (10 кОм, 1 кОм); 6 – два линейных резистора типа ПЭВР-50 ($240 \pm 10\%$ Ом, $47 \pm 10\%$ Ом);
 7 – прерыватель (вентилятор) для прерывания лазерного луча (кулер); 8 – лазер полупроводниковый; 9 – выключатель ТП1-2 (220 В, 2 А); 10 – клеммы для подключения блока питания; 11 – пластина монтажная (400 × 200 × 5 мм)

В принципе с этой проблемой может справиться тонкий лазерный луч, который с большой скоростью может перемещаться по заданной области пространства. Проще всего обеспечить такое движение луча можно с помощью двух вращающихся зеркал [1]. Нами разработан макет такой установки (рис. 1), вполне пригодный для демонстрации сложения колебаний и направления обхода получающихся траекторий. Также произведен расчет траекторий, которые описывает луч на плоскости, расположенной в пространстве так, что она перпендикулярна лучу при неподвижных зеркалах.

Изменяя напряжение на резисторах, изменяем частоту вращения зеркал. Наиболее полно изучены фигуры Лиссажу – результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний, отношение частот которых представляется простой дробью. В этом случае луч на плоскости вычерчивает замкнутую кривую. Воспроизвести эти кривые можно на предлагаемой установке. Таким же способом достаточно просто получить траектории в

виде розеток. Оказывается, что на вид траекторий существенное влияние оказывает масса зеркал, от которых, в свою очередь зависит амплитуда биения валов. Таким образом, эта установка позволяет определять характер биения валов машин. Сильные биения получаются при утяжелении зеркал, вращающихся на тонких упругих осях.

Итак, обычные фигуры Лиссажу в виде замкнутых петлеобразных кривых не заполняют плоскость и не могут использоваться для сканирования пространства. Из теории известно, что фигуры Лиссажу образованы сложением взаимно перпендикулярных колебаний

$$x(t) = A \cos(\omega_1 t + \alpha_1), \quad y(t) = B \cos(\omega_2 t + \alpha_2),$$

где x и y – смещения по взаимно перпендикулярным осям; ω_1 и ω_2 – частоты; α_1 и α_2 – начальные фазы; A и B – амплитуды.

Образовавшиеся траектории всегда вписаны в прямоугольник, стороны которого равны удвоенным амплитудам колебаний [2].

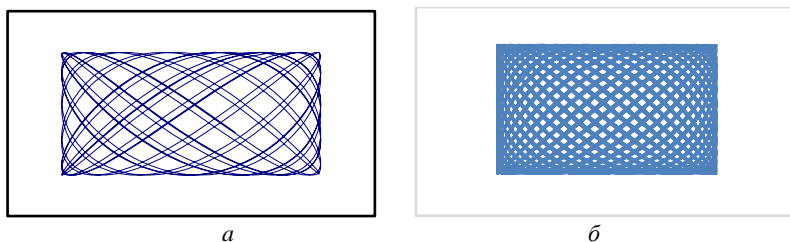


Рис. 2. Результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний при иррациональном отношении частот $A = 1, \alpha_1 = 0, \omega_1 = 4;$

$$A_2 = 2, \varphi_2 = 0, \omega_2 = 4\sqrt{2};$$

$$a - i = 250; \quad b - i = 900$$

Отношение частот складываемых колебаний принципиально влияет на вид траекторий. Как отмечалось, при рациональном отношении частот вращения зеркал траектории – замкнутые кривые. Ситуация меняется принципиально, если отношение частот иррационально (рис. 2).

Как видим, плоскость заполняется траекторией, которая не замыкается сама на себя. Заметим, что наблюдается определенная симметрия в заштриховке прямоугольника. Вид заштриховки существенно зависит от количества точек i , на которые разбивается продолжительность сканирования t :

$$t = i \cdot \Delta a,$$

где Δa – шаг дискретизации времени сканирования.

При увеличении i при фиксированном Δa вся плоскость прямоугольника заполняется (рис. 2). Тем не менее, в этом прямоугольнике имеются участки, через которые траектория не проходит при значительных величинах i . Назовем их зонами недостижимости при заданном i . Однако вся внутренняя область прямоугольника заполняется при достаточно больших i . На рис. 3 показано, как заполняется прямоугольник при различных отношениях частот складываемых колебаний и при различных продолжительностях сканирования.

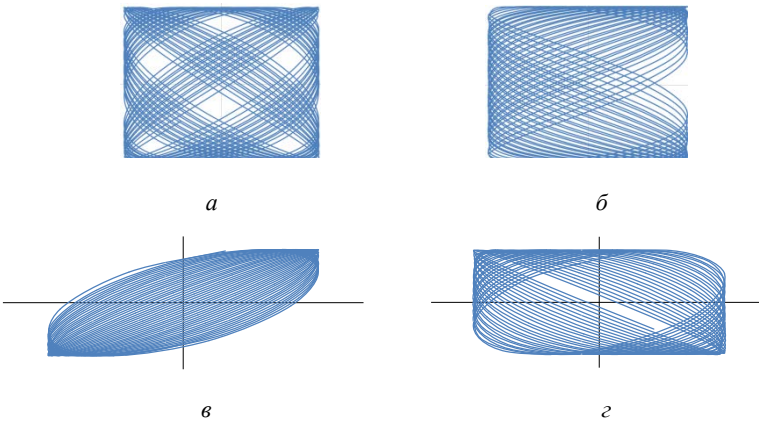


Рис. 3. Обобщенные фигурф Лиссажу, вписанные в прямоугольник, при рациональном и иррациональном отношениях частот:
 $a - [0,01-9,2], \omega_1 = 39, \omega_2 = 55$; $б - [0,01-9,2], \omega_1 = 39, \omega_2 = 35$;
 $в - [0,01-9,2], \omega_1 = 25, \omega_2 = 25\sqrt{2}$; $г - [0,01-2], \omega_1 = 84, \omega_2 = 83$

Обозначения $[0,01-9,2]$ нужно понимать следующим образом: расчет ведется в интервале t от 0,01 до 9,2 с шагом $\Delta a = 0,01$, то есть i равно количеству точек 600.

Оказывается, что можно так задать колебательные процессы по осям x и y , что заполняться будет не прямоугольник, а параллелограмм (рис. 4):

$$x(t) = A \cos \omega_1 t + B \cos \beta \cos(\omega_2 t + \alpha_1), \quad y(t) = B \sin \beta \cos(\omega_2 t + \alpha_2).$$

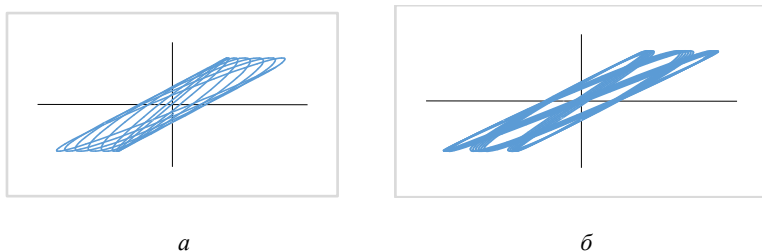


Рис. 4. Обобщенные фигуры Лиссажу, вписанные в параллелограмм, при иррациональном отношении частот:

$$a - [0,01-3], \omega_1 = 15, \omega_2 = 16; \quad б - [0,01-5], \omega_1 = 15, \omega_2 = 16\sqrt{2}$$

Характер заполнения опять определяется отношением частот, а вид заполняемой области зависит от i .

Можно также выбрать область заполнения в виде эллипса или окружности. Для этого зададим колебания в виде

$$x(t) = (A + a) \cos \omega t - 2\sqrt{2} \cos\left(\frac{A+a}{2} \omega t\right), \quad y(t) = (A + a) \sin \omega t - 2\sqrt{2} \sin\left(\frac{A+a}{2} \omega t\right).$$

Вид соответствующих кривых показан на рис. 5.

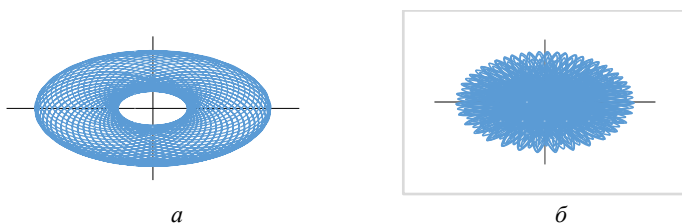


Рис. 5. Обобщенные эпициклоиды при иррациональном отношении частот:

$$a - [0,01-5], \omega = 85; \quad б - [0,01-5], \omega = 956$$

Итак, двухзеркальный оптический сканер вполне пригоден для сканирования пространства и обнаружения мелкоразмерных объектов при условии, что время сканирования достаточно велико и отношение частот вращения зеркал выражается иррациональным числом. При этом необходимо исключать биения валов, на которых зеркала крепятся.

Литература

1. Катус, Г. П. Информационные сканирующие системы / Г. П. Катус. – Москва, Машиностроение, 1965. – 448 с.
2. Кириленко, А.И. О некоторых применениях двухзеркального сканера / А. И. Кириленко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы X междунар. науч.-техн. конф., Минск, 4 апреля 2013 г.: в 4 т. // БНТУ. – Минск, 2013. – Т. 3. – С. 330.

УДК 504.3

Актуальные экологические проблемы авиации

Кириленко А. И.

Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматриваются вопросы воздействия авиации на окружающую среду. Затрагиваются проблемы глобального и локального уровней, в том числе загрязнения в зоне аэропортов, на прилегающих территориях и в самом самолете. Указывается, что не все вредные факторы учитываются, например, нет исследований по инфразвуку, генерируемому авиацией. Показано, что уже в настоящее время разрабатываются технологии способные кардинально улучшить ситуацию.

Периодически в СМИ вбрасывается информация о колоссальном экологическом ущербе, который наносит авиация окружающей среде (ОС). Это один из методов конкурентной борьбы между различными видами транспорта, обеспокоенных тем, что авиация развивается динамичнее других отраслей. По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), авиация несет ответственность примерно за 3,5% антропогенного изменения климата, включая воздействие выбросов CO_2 и не CO_2 [1]. Локальные загрязнения могут быть более существенными. Отметим, что экологические проблемы находятся под пристальным вниманием Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Цель работы – акцентировать внимание на прорывных технологиях решения экологических проблем авиации. Некоторые из этих технологий могут быть внедрены достаточно быстро, другие находятся в стадии изучения или испытаний, третьи могут применяться в отдаленной перспективе. Основные экологические проблемы авиации можно разделить на несколько категорий.

1. Глобальные. Это выбросы парниковых газов CO_2 , H_2O , а также CO , SO_x , NO_x . В состав продуктов сгорания реактивных топлив входят: N_2 –

76–78 %, O₂ – 14–15 %, H₂O (пары) – 3–5,5 %, CO₂ – 5–12 %, CO – 0,01–1 %, NO_x – 0,2005–0,5 %, углеводороды – 0,001–0,5 %, альдегиды – 0–0,2 %, SO_x– 0,04 %, сера – 0,1 %, сажа 0,1 –1 г/м³, а также твердые частицы Al₂O₃ со средним размером 0,1 мкм и до 10 мкм. При работе двигателей на взлете и посадке в окружающую среду поступает наибольшее количество CO₂ и углеводородных соединений, а в процессе полета – максимальное количество оксидов азота. По причине неполного сгорания топлива в атмосферу попадают частицы углерода. Твердые частицы формируют аэрозоли и тем самым воздействуют не только на качество воздуха, но и на климат.

Проблема воды в верхних слоях атмосферы. Роль водяных паров в атмосфере до конца не ясна. При высокой влажности воздуха из конденсационных следов самолетов образуются перистые облака. Эти облака перераспределяют длинноволновое инфракрасное (ИК) излучение и в космос, и на Землю. Есть предположения, что в верхних слоях атмосферы водяной пар провоцирует образование озоновых дыр.

Отдельно стоит проблема озона. При температурах порядка 2000 К в камере сгорания двигателя азот атмосферы образует оксиды NO и NO₂. Они на больших высотах (более 16 км) разлагают озон, а на малых – образуют. Тропосферный озон усиливает парниковый эффект, отрицательно влияет на здоровье и никак не защищает планету от ультрафиолета [2].

2. Проблемы, возникающие непосредственно на борту воздушного судна. Известны случаи обнаружения следов масла в кабине пилотов. Пары появляются в системе подачи воздуха. Это пары масла ВСУ (вспомогательной силовой установки), жидкость гидравлической системы. Источником паров в пассажирской кабине является противообледенительная жидкость. Пары масла из двигателя попадают через сальниковые уплотнения, стартер – генераторы, коробки проводов агрегатов и подшипники с масляной смазкой. Причиной может быть переполнение масляного резервуара для двигателя и ВСУ. Пары гидравлической жидкости втягиваются в ВСУ вместе с наружным воздухом, предназначенным для вентиляции, если эта жидкость пролита на поверхность фюзеляжа. Гидравлическая жидкость и наружный воздух нагреваются в компрессоре и в конечном итоге поступают в пассажирскую кабину и кабину экипажа

3. Воздействие на ОС в зоне аэропортов. Шумовое загрязнение. Сюда же следует отнести вибрации и ультразвук. Шум исходит из трех основных источников: шум, созданный турбулентными потоками, аэродинамические шумы – шум двигателя; шум от систем самолета. Авиационный шум зависит от направления взлетно-посадочных полос (ВПП) и трасс полетов, интенсивности полетов в течение суток, сезонов года, от типа самолетов. При круглосуточной работе аэропортов уровни звука в жилой

зоне достигают в дневное время 80 дБА и в ночное время – 78 дБА. По требованиям ИКАО максимальные уровни колеблются от 92 до 108 дБА. Вероятно, наиболее оптимальным для человека является уровень звука от 30 до 60 дБ, поскольку полная тишина действует угнетающе. Хорошо известно, что полеты воздушных судов генерируют инфразвуки, частоты которых лежат в диапазоне 0,1–10 Гц, что близко к частотам собственных колебаний человеческого тела и отдельных органов. Инфразвук оказывает влияние на биоритмы мозга. Главное «коварство» инфразвука состоит в том, что он крайне слабо затухает. В литературе нет информации об инфразвуковом загрязнении территорий вблизи ВПП.

Световое загрязнение. Проблема состоит в том, что на свет летят насекомые, за ними – птицы. Столкновения случаются. Ущерб также состоит в том, что приходится перемещать оптические системы слежения и наблюдения, в частности, астрономические, подальше от аэропортов.

Отчуждение и загрязнение территорий. На площади около 4 км² выделяется в атмосферу за сутки от 1,0 до 1,5 т СО₂, 300–500 кг углеводородных соединений и 50–80 кг оксидов азота. Углеводороды нефти обладают способностью проникать на значительную глубину. Так в трещиноватых породах авиационный керосин за 5 месяцев проникает на глубину более 700 метров. Наиболее значительны выбросы при взлете. В почву попадают свинец из бензина, присадки к топливу. В верхних слоях почвы вблизи аэропортов концентрация свинца составляет по разным оценкам 60–550 мг/кг. Фоновый уровень свинца в почвах, незагрязненных антропогенными процессами, составляет 16 мг/кг. Вероятно, основная масса свинца попадает от наземного обслуживающего транспорта. Обнаруживаются также антиобледенительные присадки. Причина – их избыток при обработке самолетов и их агрессивность к ОС. Еще один фактор – слив топлива. Количество топлива, сливаемого самолетом за один раз, колеблется от 1 до 50 тыс. литров. За 2017 г. над Германией вылито 580 т горючего за 30 полетов, из них 16 полетов – пассажирские.

Электромагнитное загрязнение. Его производит радиолокационная и радионавигационная техника аэропортов и летательных аппаратов (ЛА), необходимая для наблюдения за полетами и метеообстановкой. Электромагнитную обстановку определяет в основном излучение мощных радиолокационных станций СВЧ и УКВ диапазона. В районе ряда аэропортов и вблизи расположенных населенных пунктах (60 % обследованных случаев) требуются спецмероприятия по защите населения. Важным фактором электромагнитного загрязнения может стать использование беспилотных летательных аппаратов непосредственно в городах. Россия и Германия давно имеют по 500 тыс. дронов, а США – еще больше для гражданского применения.

Аэропорты поглощают огромное количество воды. Аэропорты России в начале 21 в. потребили 37 млн. м³ воды в год, при этом объем оборотной и повторно используемой воды составлял всего 6 %. В сточных водах авиапредприятий содержатся бензол, ацетон, нефтепродукты, кислоты, щелочи, следы алюминия, бериллия, хрома, а также ядохимикаты.

4. Ущерб для самой авиации. Провоцирование осадков в зоне аэропорта. Причина не только в загрязнении воздуха, но и в изменении распределения давлений при взлетах и посадках. С это связано:

- повышение температуры и влажности, что ухудшает взлетные характеристики воздушных судов;

- затопление прибрежных аэропортов, рост интенсивности осадков;

- рост интенсивности Эль-Ниньо (засухи, волны тепла);

- усиление конвекции, низкоуровневый сдвиг ветра, град, молнии, турбулентность на верхней границе грозового облака, внезапные обледенения;

- увеличение вероятности обледенения по причине общего потепления и увеличения влажности, повышение верхних границ обледенения, пыльные бури в субтропиках. Эти факторы существенно нарушают безопасность и регулярность полетов.

Обсудим перспективные методы снижения вредных воздействий на ОС. На величину выбросов оказывают влияние химический состав топлива, конструкция двигателя, режим его работы. Снижению ущерба для ОС может способствовать снижение количества потребляемого топлива. Это достигается облегчением веса самолета путем применения новых конструкционных материалов (углепластики, композиты); использованием новых форм летательных аппаратов (ЛА), таких как несущий фюзеляж; применением новых топлив и ГСМ (при условии учета полного экологического ущерба при их производстве). Актуально применение новых форм планирующего полета – полное использовать потенциал струйных течений; применение клинообразного (птичьего) полета нескольких самолетов на большие расстояния. Цель всех этих мероприятий – удешевить эксплуатацию, обслуживание и утилизацию ЛА и, как следствие, снизить потребление дорогостоящего топлива и тем самым снизить загрязнение ОС.

На современном этапе большое значение придается альтернативным видам топлива. Наиболее приемлемым вариантом таких топлив, скорее всего, является газовое топливо (метан, пропан, бутан и смесь этих газов АСКТ). Ресурсом для них является природный и нефтяной газы, которые в настоящее время просто сжигаются. Что касается самой авиационной техники, то развитие идет по двум направлениям: совершенствование дозвуковых воздушных судов и создание сверхзвуковой гражданской авиации. Другое перспективное решение – разработка самолета на электрической

тягу (технология «all electric aircraft»). Швеция и Норвегия планируют перевод всех внутренних авиарейсов на полностью электрическую тягу к 2040 г. Источником энергии для него планируется водородный топливный элемент.

Весьма перспективны так называемые «невидимые аккумуляторы». Шасси, корпус будут сделаны из материала, запасующего энергию от генератора. Для этой цели разработаны особо прочные композитные материалы с пропиткой желеобразным электролитом. Емкости такого распределенного аккумулятора уже достаточно для электромобиля.

Что касается локального загрязнения, т. е. приаэродромных территорий, то для снижения ущерба необходима разработка новых более экологически безопасных средств, например, таких как антиобледенительные. Снижение электромагнитного загрязнения может быть достигнуто использованием отраженных от самолетов сигналов телевидения, сотовой связи и проч. вместо радаров. Снижение шума уже достигается оптимальным расположением двигателей относительно крыльев и фюзеляжа. Существуют методы активного шумоподавления, основанные на явлении интерференции, которые могут быть использованы для защиты важных объектов.

В настоящее время подвергается критике сам принцип планирующего полета. Для грузоперевозок могут оказаться перспективными дирижабли с ядерной двигательной установкой. Такое решение обусловлено тем, что силы инерции (силы тяги) пропорциональны массе дирижабля, то есть кубу его линейных размеров, в то время как ветровая нагрузка пропорциональна площади, то есть квадрату линейных размеров. Следовательно, дирижабль достаточно больших размеров менее подвержен действию внешних аэродинамических сил. Атомный реактор с мощной радиационной защитой вполне подходит такому ЛА. Начало разработке атомных реакторов для космоса уже начато. РИТЭГи (радиоизотопные термоэлектрические генераторы) маломощны, а компактный реактор способный выдавать 10 кВт в течение 10 лет NASA разрабатывает с 2015 г.

Таким образом, уже на современном этапе развития технологий имеются шансы серьезно снизить загрязнение ОС. Для этого необходимы финансы и политическая воля, поскольку проблема международная. Разумное законодательство и экологическая грамотность населения – залог успеха. На первом этапе необходимо развивать такие технологии, которые потребляют парниковые газы и, прежде всего, CO_2 . Однако основными потребителями этого газа являются леса и фитопланктон океана. Бесконтрольная вырубка лесов, особенно в Амазонии, чревата нарушением экологического равновесия. Интенсивные лесопосадки способны изменить ситуацию. То же самое касается океана. Его глобальное загрязнение также нарушает процесс фотосинтеза и усвоения CO_2 . Однако чистить океан значительно

сложнее. Существенный успех в решении экологических проблем может быть достигнут только при системных усилиях: развитие техники и технологий, природозащитные мероприятия и законодательство.

Литература

1. Авиация и глобальная атмосфера. Специальный доклад рабочих групп I и III МГЭИК / МГЭИК; ред.: Дж. Э. Пеннер [и др.]. – Женева: 1999. – 14 с.

2. Мировой атлас данных / кноема [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://knoema.ru/atlas>. – Дата доступа: 12.05.2020.

УДК 620.130

Разработка методов контроля свойств объектов в импульсных магнитных полях

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены разработки методов контроля свойств металлических объектов с помощью пленочных преобразователей магнитного поля: сплошного и дискретного магнитного носителя, магнитооптической пленки и пленочного флюкс-детектора. При этом использованы полученные авторами результаты исследований гистерезисной интерференции в импульсных магнитных полях и представлены примеры алгоритмов. Разработанные методы позволяют повысить точность и оперативность контроля удельной электропроводности, толщины объекта, а также дефектов в нем.

Для контроля удельной электропроводности, магнитной проницаемости, наличия дефектов в объектах, а также определения их геометрических размеров используются магнитные и электромагнитные методы контроля. При этом информацию о свойствах объектов можно записывать на магнитный носитель [1], получать с применением магнитоиндукционной томографии [2] и другими способами. Проводимая авторами разработка методов контроля свойств объектов в импульсных магнитных полях включает в себя следующие действия. Проведение теоретических расчетов гистерезисной интерференции для получения оптимальных значений амплитуды, времени нарастания, полярности и числа импульсов магнитного поля в каждой серии, а также времени задержки импульсов. При этом указанные импульсы могут перекрываться во времени, прикладываться непосред-

венно в момент окончания действия предыдущего импульса или прикладываться с временной задержкой. Перекрытие разнополярных импульсов позволяет увеличивать число воздействующих импульсов, как это показано в [3], а также создавать разнообразные формы импульсов в заданной последовательности. Следующим этапом разработки является определение оптимального преобразователя магнитного поля для выполнения поставленной цели контроля. При этом наиболее целесообразно использовать пленочные преобразователи магнитного поля: магнитный носитель (МН), магнитооптическую пленку (МОП), пленочный флюкс-детектор (ПФД), или комбинированные преобразователи, выполненные в виде матриц локальных микро преобразователей, например, катушек индуктивности, феррозондов, преобразователя Холла (ПХ) и других датчиков. Использование пленочного флюкс-детектора описано нами в [4]. Компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов изложены в [5]. При разработке методов контроля целесообразно использовать явление гистерезисной интерференции магнитного поля [6], а также теоретические расчеты распределений остаточных магнитных полей [7]. При этом следует учесть работы по контролю методом магнитных полей рассеяния и контролю объектов с трещинами вихретоковым методом [8, 9].

Разработка методов состоит в определении цели разработки, задании погрешностей измерений и составлении программы следующих действий.

Выбор пленочных преобразователей магнитного поля (МН, МОП, ПФД, или матриц локальных микропреобразователей), определение параметров устройства считывания информации и регистрирующего (измерительного) прибора.

Нахождение параметров импульсов: амплитуда A_i , время нарастания $t_{\max i}$, форма импульса, количество импульса N_i , временная задержка импульсов Δt_i , определяющая перекрытие импульсов. Составление программы воздействия на объект с использованием характеристик магнитного носителя и преобразователя магнитного поля.

Составление программы записи и нахождения распределений $H(x)$ и $U(x)$ на экспериментальной установке. Составление программы обработки экспериментальных данных.

В развернутом виде алгоритм двух разработанных методов может быть представлен следующим образом.

Цель разработки первого метода: повышение оперативности и повышение качества визуализации контроля толщины, удельной электропроводности σ , магнитной проницаемости μ металлических объектов и дефектов сплошности в них.

Выбран преобразователь магнитного поля в виде пленочного флюкс-детектора. Выбрано считывающее устройство – цифровой фотоаппарат с выходом на монитор. Определено намагничивающее устройство – электромагнит (постоянный магнит). Задана величина нормальной H_n и тангенциальной H_t составляющих напряженности магнитного поля источника.

Задана спектральная характеристика излучения источника света $W(\nu)$, где W – энергия излучения, а ν – его частота. Определена мощность источника света N . Задана освещенность E объекта с ПФД. Задан угол α падения луча света. Установлены параметры оптических систем фокусировки луча света с фокусными расстояниями линз F_i . Задана ориентация оптической оси фотоаппарата относительно поверхности объекта и флюкс-детектора (углы относительно нормали к поверхности объекта β_i). Выбрана яркость изображения. Установлена контрастность изображения. Установлена резкость изображения. Определены уровни оттенков цветности участков изображения.

Определена величина Δ , абсолютной погрешности измерения расстояния. Определена величина ϵ , относительной погрешности измерения расстояния. Для записи и нахождения распределений $H(x)$ и $U(x)$, где x – пространственная координата, на экспериментальной установке используется компьютерная программа цифрового осциллографа.

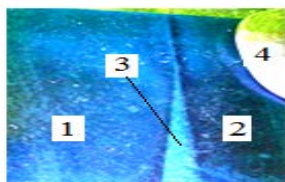


Рис. 1. Оптическое изображение флюкс-детектора с записями магнитных полей: 1, 2 – ферромагнитные образцы; 3 – часть пленочного флюкс-детектора; 4 – прижимной элемент

На рис. 1 показано оптическое изображение пленочного флюкс-детектора с записями магнитных полей. Два образца из оцинкованного железа толщиной 0,8 мм установлены в одной плоскости. Угол между краями образцов составляет порядка 10° . ПФД прижат сверху к плоскости образцов, которые находятся в поле постоянного магнита. На рисунке отчетливо видны границы образцов. Отметим, что аналогичные оптические изображения получены нами для указанных образцов с наложенными на них пластинами из алюминия толщиной 0,07 мм и

0,67 мм. Оперативность контроля определяется временем считывания одного кадра информации ПФД. Время записи может составлять менее 0,1 мс.

Цель разработки второго метода: повышение точности контроля толщины, удельной электропроводности σ , магнитной проницаемости μ металлических объектов и дефектов сплошности в них.

Выбран преобразователь магнитного поля в виде МН с найденной нами арктангенсовой характеристикой

Максимальная чувствительность МН составляет $\gamma_{\max 2} = 0,26$ мВ см/А.

Гистерезисные ветви МН в импульсном магнитном поле описываются найденными нами [3, 6] функциями:

$$U_2 = -A + BU_1 + (C + DU_1)\arctg((F + LU_1)H_2 + M - PU_1). \quad (1)$$

где A, B, C, D, F, L, M, P – постоянные; U_1 и U_2 – величины электрического напряжения предшествующего и последующего импульсов, снимаемых с МГ; H_2 – максимальная величина H_T импульса в обратном направлении.

Выбраны считывающее устройство (индукционная МГ) и регистрирующий прибор (цифровой осциллограф с монитором). Определен источник импульсного магнитного поля в виде линейного индуктора, тангенциальная составляющая напряженности которого рассчитывается по формуле:

$$H = a / (x^2 + b^2), \quad (2)$$

где a – постоянная, А·см; x – расстояние до проекции оси индуктора в плоскости измерения, см; b – расстояние от оси индуктора до магнитного носителя, см.

Определена величина абсолютной погрешности Δ_i измерения U_i и величина относительной погрешности ϵ_i измерения U_i .

Составлена программа воздействия на объект: для H_n каждого импульса поля амплитуда $a_i(500, -400, 300, -200)$, время нарастания $t_{\max i}$ (20 мкс), форма импульса (синусоидальная, в полволны) количество импульсов N_i (4), временная задержка импульсов Δt_i ($1,5t_{\max i}$), определяющая перекрытие импульсов. Составлена программа использования характеристик магнитного носителя и преобразователя магнитного поля при воздействии на объект. Для нахождения зависимостей $U(x)$ на экспериментальной уста-

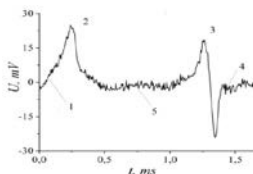


Рис. 2. Зависимость $U(t)$:

1 – для образца из железа с внутренним дефектом; 2, 4 – максимумы сигналов $U(t)$ от краев МН; 3 – пик сигнала дефекта; 5 – сигналы помех

новке используется компьютерная программа цифрового осциллографа. Для обработки экспериментальных данных (операции сложения, вычитания и умножения по точкам зависимостей $U(x)$ от координаты или времени) выбрана компьютерная программа. Для проведения теоретических расчетов выбран язык программирования.

В качестве примера использования указанного метода контроля с применением МН на рис. 2 показана зависимость величины электрического напряжения $U(t)$, снимаемого с магнитной головки, от времени t при считывании информации с МН.

Образец – пластина из оцинкованного железа толщиной 0,8 мм с подповерхностным дефектом в виде конуса. Дефект начинается на глубине 0,2 мм. Здесь также показаны сигналы от краев МН 2 и 4 и сигналы помех 5. На образец вместе с МН воздействовали импульсом магнитного поля сложной конфигурации с использованием разработанного нами метода гистерезисной интерференции [3, 6, 7]. Передний край МН соответствует максимуму 2 и обнаружен благодаря тому, что в этом месте на образец из железа наложена фольга из алюминия толщиной 0,06 мм. Под дальним краем МН 4 фольги нет и нет максимума сигнала. Средний диаметр дефекта найден по временным координатам положительного пика 5 (1,26 мс) и последующего отрицательного пика (1,34 мс). Разность временных координат составляет 0,07 мс, что соответствует среднему диаметру дефекта 0,08 мм. Отметим, что указанный дефект выявлен с помощью воздействия на образец импульсом магнитного поля со временем нарастания менее 0,1 мс.

Величину напряженности магнитного поля над алюминиевой фольгой и оцинкованным железом можно определить из рис. 3 и характеристики

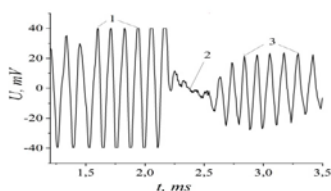


Рис. 3. Зависимости $U(t)$ ДДМП:

- 1 – над фольгой из алюминия толщиной 0,06 мм;
- 2 – между частями образца;
- 3 – над оцинкованным железом толщиной 0,8 мм

использованного дискретного датчика магнитного поля. Максимумы сигнала 1 и 3 пропорциональны величине напряженности магнитного поля. При этом следует учесть, что участок МН над фольгой перемножен дважды. Величина сигнала над фольгой составляет 40 мВ, а над железом – 23 мВ, а с учетом указанного перемножения это соотношение составляет 120 мВ и 23 мВ.

По сравнению с безгистерезисными методами разработанный метод с использованием МН позволил повысить в три – пять раз точность контро-

ля толщины, удельной электропроводности σ , магнитной проницаемости μ металлических объектов и дефектов сплошности в них.

Литература

1. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.

2. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционная томография электрических схем и приборов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Известия высших учебных заведений. – 2015. – Т. 58. – № 10/3. – С. 73–75.

3. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция перекрывающихся во времени импульсов магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2019. – № 12. – С. 56–63.

4. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – vol. 54. – no. 1. – P. 70–76.

5. Павлюченко, В. В. Компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2016. – № 3. – С. 48–56.

6. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

7. 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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – vol. 51. – no. 1. – P. 8–16.

8. Ферстер, Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявления поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины. / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. – 1984. – № 12. – С. 13–18.

9. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихрековым методом. / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.

УДК 620.130

Влияние параметров преобразователей магнитного поля на результаты контроля свойств объектов

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В., Зыков Г. Л.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании разработанных методов гистерезисной интерференции получены зависимости $U(t)$ электрического напряжения, снимаемого с преобразователя магнитного поля, от времени t при записи импульсных магнитных полей на совмещенные дискретный датчик магнитного поля (ДДМП) и сплошной магнитный носитель (МН). На МН с образцами из алюминиевой фольги с дефектами воздействовали серией из трех разнополярных импульсов магнитного поля. Исследовано влияние ДДМП на результаты контроля с использованием сплошного МН. Показано, что запись полей дефектов и отпечатков ДДМП на сплошной МН позволяет повысить точность контроля.

Для определения свойств металлических объектов нами используются преобразователи магнитного поля, изготовленные из магнитных носителей разного типа, магнитооптических пленок, пленочных флюкс-детекторов, а также преобразователи Холла [1, 2]. Исследования проводятся преимущественно в импульсных магнитных полях со временем нарастания импульсов от 1 мкс до 0,1 с. При этом проводится анализ разных методов контроля: магнитографического, магнитооптического, вихрекового, магнитоимпульсного [3, 4]. Для определения свойств объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях используется полученное нами явление гистерезисной интерференции [1, 5–7]. При проведении исследования нами учтены результаты работ с применением магнитного носителя [8], а также преобразователя Холла и катушек индуктивности [9].

Каждый из перечисленных выше преобразователей вносит изменения в распределение тангенциальной и нормальной составляющих напряженности магнитного поля. Кроме того, при проведении контроля с использованием одновременно нескольких преобразователей они могут оказывать влияние друг на друга и вносить погрешности в результаты измерений. Это относится к преобразователям как одного типа, так и к преобразователям, работа которых основана на разных физических принципах. Таким образом, возникает необходимость исследования влияния параметров преобразователей магнитного поля на результаты контроля свойств объектов.

Целью настоящей работы является повышение чувствительности и точности определения параметров дефектов в металлических объектах, а также их толщины и удельной электропроводности σ материала. Поставленная цель достигается тем, что решают задачу определения влияния дискретного датчика магнитного поля (ДДМП) на точность выявления дефектов сплошности в металлических образцах с применением сплошного датчика, изготовленного из магнитного носителя (МН). При этом также решают задачу определения оптимальных параметров импульсных магнитных полей при одновременной записи локальных полей дефектов на дискретный и сплошной МН и определения величины напряженности маг-

нитного поля на поверхности объекта по амплитуде отпечатков ДДМП на сплошном МН.

В данной работе исследовано влияние параметров преобразователей магнитного поля, изготовленных из одного МН, на результаты контроля. Проведены исследования и определены условия, при которых это влияние может быть использовано для повышения качества контроля объектов.

Рассмотрим влияние ДДМП, изготовленного из магнитных полос магнитного носителя [1], на результаты контроля свойств алюминиевой пластины с использованием сплошного МН и возможность использования результатов взаимодействия сплошного и дискретного датчиков друг с другом. Исследуемый образец состоял из двух прижатых друг к другу пластин алюминиевой фольги толщиной 0,06 мм каждая. Нижняя (дальняя от источника поля) пластина имела дефект сплошности в виде отверстия диаметром 2,5 мм. Датчики из сплошного МН и ДДМП установили на поверхности пластины без дефекта и воздействовали на них импульсом магнитного поля сложной формы, состоящим из трех действующих друг за другом без задержки однополярных импульсов с чередующейся полярностью. Время нарастания импульсов t_{\max} изменялось в интервале (0,5–20) мкс. В качестве источника импульсного магнитного поля использовали плоский индуктор. Записанную на сплошном МН информацию воспроизвели магнитной головкой (МГ) и получили зависимость 1 (рис. 1) величины электрического напряжения $U(t)$, снимаемого с нее, от времени развертки t . При этом отрезку времени развертки, равному 1 мс, соответствовала длина участка x , равная 1 см.

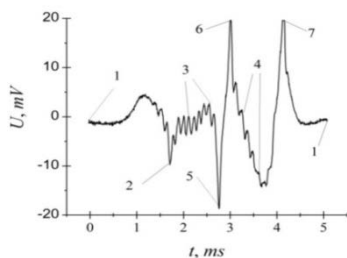


Рис. 1. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия с внутренним дефектом: 1 – $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта; 2 – сигнал временной отметки; 3, 4 – сигналы отпечатков ДДМП; 5, 6 – пики $U(t)$ поля дефекта; 7 – пик $U(t)$ поля фона

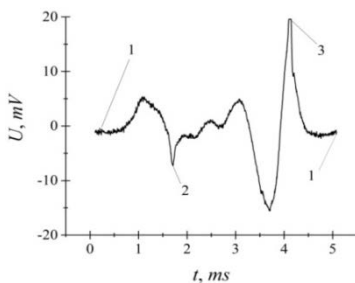


Рис. 2. Зависимости $U(t)$ поля фона для эталонного образца из алюминия без дефектов: 1 – $U(t)$ для сплошного МН; 2 – сигнал временной отметки; 3 – пик $U(t)$ поля фона

На рис. 1 показана зависимость $U(t)$, снятая со сплошного МН, для образца из алюминия с указанным внутренним дефектом в виде отверстия диаметром около 2,5 мм и сигнал временной отметки 2. Здесь же изображены сигналы 3 и 4, полученные при сканировании магнитной головкой отпечатков ДДМП, прижатого к сплошному МН при воздействии на датчики с образцом импульсом магнитного поля, а также пики 5 и 6 $U(t)$ поля дефекта и пик 7 $U(t)$ поля фона. Из рис. 1 следует, что найдены условия, при выполнении которых ДДМП оставляет отпечатки остаточной намагниченности на сплошном МН в момент воздействия импульсом магнитного поля.

Наличие сигналов этих отпечатков позволяет повысить точность измерений и точность контроля геометрических параметров и физических свойств металлических объектов, в том числе величины σ .

Для выделения полезного сигнала из полного сигнала нашли зависимость $U(t)$ поля фона (рис. 2) для указанного плоского индуктора на эталонном бездефектном образце. Синхронизацию зависимостей при проведении алгебраических операций осуществляли при совпадении сигналов временных отметок 2 (1,72 мс) на рис. 1 и рис. 2.

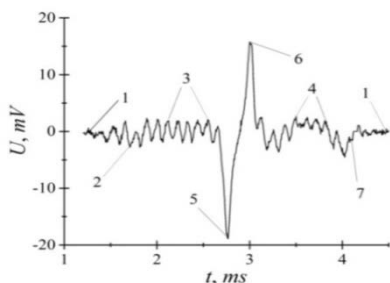


Рис. 3. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия:

- 1 – разностная зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта;
- 2 – сигнал временной отметки;
- 3, 4 – сигналы отпечатков ДДМП;
- 5, 6 – пики $U(t)$ поля дефекта;
- 7 – участок, соответствующий пику $U(t)$ поля фона

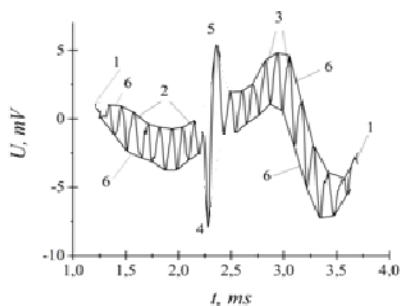


Рис. 4. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия:

- 1 – зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта;
- 2, 3 – сигналы отпечатков ДДМП;
- 4, 5 – пики $U(t)$ поля дефекта;
- 6 – огибающие сигналов отпечатков ДДМП

В результате вычитания зависимости $U(t)$ поля фона, показанной на рис. 2, из зависимости $U(t)$ полного сигнала, изображенной на рис. 1, получили разностную зависимость $U(t)$ (рис. 3) полезного сигнала, вклю-

чающую $U(t)$ поля дефекта 5, 6 и $U(t)$ отпечатков ДДМП 3, 4. При этом пик 7 на рис. 1 полностью скомпенсирован уровнем фона 7 на рис. 2 и соответствующая точка на рис. 3 (3,005 мс) имеет нулевой уровень сигнала. Из графика на рис. 3 определяем координаты пиков сигналов поля дефекта: пик 5 (2,765 мс, -18,906 мВ), пик 6 (3,005 мс, 15,313 мВ).

Отсюда находим отрезок времени между пиками сигнала $3,005 - 2,765 = 0,24$ мс, что соответствует диаметру дефекта 2,5 мм. Определяем амплитуды сигналов отпечатков ДДМП, находим величину напряженности магнитного поля на поверхности объекта, корректируем амплитуду воздействующего импульса и выводим преобразователь магнитного поля на участок его характеристики с максимальной чувствительностью.

Как видно из рис. 3, амплитуда сигнала отпечатков ДДМП изменяется в пределах от 0,5 мВ до 3 мВ. Соответствующая напряженность магнитного поля может быть определена с учетом параметров гистерезисных ветвей остаточного намагничивания магнитного носителя.

Ниже представлены результаты исследований точности и чувствительности разработанного метода при контроле образца с существенно меньшими размерами подповерхностного дефекта. На рис. 4 показаны зависимости $U(t)$ для образца из алюминия толщиной 0,07 мм, составленного из пластин алюминиевой фольги толщиной 0,01 мм (ближняя пластина к источнику магнитного поля и МН) и пластины толщиной 0,06 мм с дефектом

в виде отверстия диаметром около 0,8 мм.

На рис. 4 изображена зависимость 1 $U(t)$, полученная на сплошном МН вне дефекта и вне сигналов отпечатков ДДМП, а также показаны выделенные сигналы 2 и 3 отпечатков ДДМП на сплошном МН и выделенные пики 4 и 5 с огибающими линиями 6 сигналов отпечатков ДДМП.

В результате вычитания сигнала фона из общего сигнала вместо графика, изображенного на рис. 4 получаем график на рис. 5, где показана разностная (без сигналов

поля фона) зависимость 1 $U(t)$ на сплошном МН вне дефекта и вне сигналов отпечатков ДДМП, а также выделенные сигналы отпечатков ДДМП на сплошном МН 2 и 3 и выделенные пики $U(t)$ сигналов поля дефекта 4 и 5.

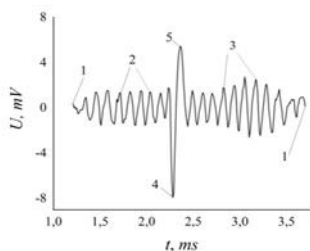


Рис. 5. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия с внутренним дефектом: 1 – разностная зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта; 2, 3 – выделенные сигналы отпечатков ДДМП; 4, 5 – выделенные пики $U(t)$ поля дефекта

Из графика на рис. 5 определяем координаты пиков сигналов поля дефекта: пик 4 (2,28 мс, $-7,9375$ мВ), пик 5 (2,36 мс, $5,4375$ мВ). Отсюда находим отрезок времени между пиками сигнала $2,36 - 2,28 = 0,8$ мс, что соответствует диаметру дефекта $0,8$ мм.

Амплитуда сигнала отпечатков ДДМП составляет около 3 мВ. Величина напряженности магнитного поля на поверхности указанного образца из алюминия может быть определена с учетом параметров гистерезисных ветвей остаточного намагничивания магнитного носителя.

Таким образом, определено влияние дискретного датчика магнитного поля при записи полей дефектов в металлических образцах на сплошной датчик магнитного поля, изготовленный из МН. Полученные результаты исследования использованы для определения оптимальных параметров импульсных магнитных полей при одновременной записи локальных полей дефектов на дискретный и сплошной магнитный носитель. Показано, что величина напряженности магнитного поля на поверхности объекта может быть определена по амплитуде отпечатков ДДМП на сплошном МН.

Литература

1. Павлюченко, В. В. Расчет распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2015. – № 1. – С. 11–20.
2. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54. – no. 1. – P. 70–76.
3. Ферстер, Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявления поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины. / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. – 1984. – № 12. – С. 13–18.
4. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
5. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.
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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – Vol. 52. – no. 3. – P. 166–174.

7. 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.

8. Грузинцев, А. А. Самосогласованный расчет магнитного поля для задач магнитной дефектоскопии. I. Исходная модель для расчета поля магнитной ленты, намагниченной от проводника с током / А. А. Грузинцев, С. П. Михайлов // Дефектоскопия. – 2011. – № 2. – С. 22–30.

9. Garcia-Martin J. Comparative Evaluation of Coil and Hall Probes in Hole Detection and Thickness Measurement on Aluminum Plates Using Eddy Current Testing / J. Garcia-Martin, I. Gomez-Gilb // Journal of Nondestructive Testing. – 2013. – Vol. 49. – no. 8. – С. 482–491.

УДК 620.130

Распределения отраженных и прошедших через металл импульсных магнитных полей локального источника

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены зависимости $U(t)$ электрического напряжения от времени t на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей, прошедших через пластины из алюминия толщиной от 0,18 мм до 0,28 мм. На МН воздействовали четырьмя импульсами магнитного поля линейного индуктора. Получена гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля в прошедшей волне, позволяющая повысить точность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.

Авторами проводятся теоретические и экспериментальные работы по контролю толщины, удельной электропроводности, магнитной проницаемости металлических объектов, а также дефектов сплошности в них с применением пленочных и точечных преобразователей магнитного поля [1, 2, 4, 5, 7]. Такими преобразователями являются магнитные носители, магнитооптические пленки и пленочные флюкс-детекторы, а также преобразователи Холла.

Для повышения точности контроля указанных свойств объектов используется полученное авторами явление гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля. Теоретические расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции описаны в [1, 2] для случая перекрывающихся во времени импульсов магнитного по-

ля первичного источника, а также при перемещении линейного индуктора над поверхностью исследуемого металлического образца с прижатым к нему магнитным носителем.

При проведении настоящего исследования учтены также результаты работ по магнитной интроскопии, например, [3], где использована решетка датчиков магнитного поля. Заметим, что такая решетка может быть изготовлена из преобразователей Холла или из других точечных преобразователей и использована в методах, разрабатываемых авторами.

Теоретические расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля представлены в [4, 5]. Для определения толщины металлических покрытий может быть применен также магнитодинамический метод контроля [6].

Использование пленочного флюкс-детектора для определения физических свойств электропроводящих объектов описано в [7]. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии, при применении которой воздействие на объекты осуществляется переменными и импульсными магнитными полями, как и в разрабатываемых авторами методах контроля, рассмотрены в [8].

Целью настоящей работы является повышение 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 сквозь объект волне.

Как показали наши исследования, использование гистерезисной интерференции при контроле свойств объектов из электропроводящих материалов в отраженном от поверхности металла импульсном магнитном поле повышает точность определения свойств объектов в несколько раз.

Однако в определенных случаях требуется использовать преимущества контроля с использованием гистерезисной интерференции в прошедшей электромагнитной волне, а именно, определить оптимальные параметры импульсов магнитного поля для выявления дефектов в прошедшей волне, устранить влияние изображения индуктора и осуществить открытый доступ к поверхности МН (магнитооптической пленки, флюкс-детектора и матриц других преобразователей).

На рис. 1 изображена зависимость 1 величины электрического напряжения $U(t)$ от времени развертки t цифрового осциллографа, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей. Эти записи получены в результате прохождения четырех импульсов магнитного поля линейного индуктора через пластину из алюминия толщиной 0,22 мм. Время нарастания импульсов составляло $t_{\max 1} = 7,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 2} = 2,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 3} = 7,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 4} =$

$2,0 \cdot 10^{-6}$ с, а величина коэффициентов A в (1) этих импульсов была пропорциональна соответственно 10 В, -3,5 В, 4 В, -1,3 В.

Изображение получено для дискретного датчика магнитного поля (ДДМП) с шагом 1,2 мм. Здесь также показан пик напряжения 2, соответствующий проекции оси индуктора на МН. Этот пик соответствует величине электрического напряжения 6,5 мВ. Пики 3 на рис. 1, размах которых составляет порядка 2 мВ, показывают, что участок МН под осью индуктора подвергся перемагничиванию в направлении, обратном первоначальному.

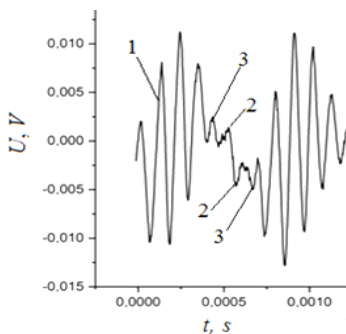


Рис. 1. Зависимость $U(t)$, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей, прошедших через пластину из алюминия толщиной 0,22 мм.

Таким образом, согласно обозначениям, принятым в работах авторов, максимум 2 является центральным максимумом второго порядка. Одной миллисекунде развертки осциллографа соответствует отрезок магнитного носителя длиной 1,1 см.

Измерения проведены на алюминиевой станине. Толщина этой станины была на порядок больше длины волны импульсного магнитного поля с максимальным временем нарастания, распространяющегося в алюминиевой пластине. Гистерезисная интерференция может быть получена как с использованием металлической

станины, так и без нее. В данном случае наличие такой станины позволило уменьшить амплитуды воздействующих полей.

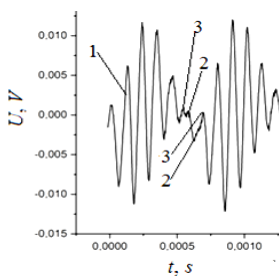


Рис. 2. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,24 мм

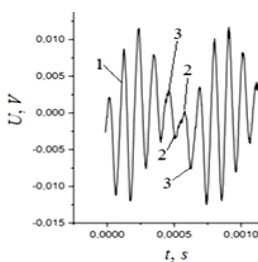


Рис. 3. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,28 мм

На рис. 2, рис. 3 и рис. 4 изображены зависимости 1 величины электрического напряжения $U(t)$ от времени развертки t цифрового осциллографа, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей, прошедших через пластины из алюминия толщиной соответственно 0,24 мм, 0,28 мм и 0,18 мм. Здесь также показаны пики напряжения 2, аналогичные изображенным на рис. 1 пикам и соответствующие положению проекции линейного индуктора на МН. Этим пикам соответствуют размахи сигнала 3,5 мВ, 3,0 мВ и 15 мВ. Пики 3 и 4 позволяют определить порядок центральных максимумов сигнала. Так, максимумы 2 являются центральными максимумами второго порядка для пластин толщиной 0,18 мм, 0,22 мм и 0,24 мм. Максимум 2 для пластины толщиной 0,28 мм является центральным максимумом первого порядка, так как участок МН под осью индуктора не был перемагничен в направлении, обратном первоначальному. Таким образом, максимум 2 для пластины толщиной 0,28 мм имеет отрицательный знак, а разность максимумов при увеличении толщины пластин с 0,24 мм до 0,28 мм составляет 6,5 мВ. Тогда с учетом порядка максимумов, а, значит, с учетом направления намагничивания, реальные значения центральных максимумов, позволяющих определять толщину пластин, составляют 15 мВ (0,18 мм), 6,5 мВ (0,22 мм), 3,5 мВ (0,24 мм) и $-3,0$ мВ (0,28 мм). Чувствительность измерения составляет около 180 мВ/мм.

В случае определения толщины металлических объектов и их физических свойств в отраженной волне основными параметрами импульсов магнитного поля являются их амплитуда, время нарастания и форма переднего фронта волны.

При измерениях в прошедшей через металл волне гистерезисная интерференция определяется не только амплитудой падающей волны, но и амплитудой волн, дошедших до точек интерференции. Поэтому авторами предложено, в частности, использовать разные формы импульсов магнитного поля с одинаковыми формами переднего и заднего фронтов.

Как показали исследования, для получения гистерезисной интерференции в прошедшей волне может быть использован синусоидальный импульс. В этом случае при разрыве электрической цепи возникают выбросы обратной полярности в момент времени, равный половине периода, продолжающие воздействие на металлический образец с приложенным магнитным носителем.

В отраженной волне мы используем этот факт для проведения точных измерений, рассчитывая оптимальные величины амплитуды и времени нарастания выброса, а также форму его переднего фронта. Как показали

исследования, чувствительность измерений без использования явления гистерезисной интерференции составляла порядка 70 мВ/мм.

Таким образом, разработанный метод позволяет повысить чувствительность измерений в 2 с лишним раза. При этом погрешности измерений уменьшились более чем в пять раз, в том числе за счет увеличения отношения измеряемой амплитуды электрического сигнала к диапазону измерений.

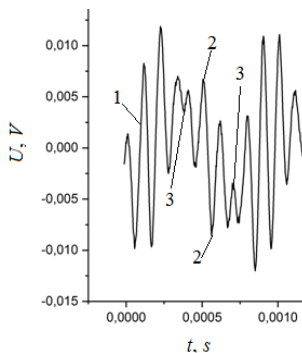


Рис. 4. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,18 мм

Этот метод позволяет также найти оптимальную величину напряженности магнитного поля, прошедшего через объект, вблизи его поверхности, дальней от источника импульсного магнитного поля для вывода магнитного носителя на участок характеристики с максимальной чувствительностью и повысить точность определения толщины объекта, удельной электропроводности его материала и параметров дефектов сплошности в объекте.

Контроль в прошедшей электромагнитной волне позволяет устранить влияние изображения индуктора и осуществить открытый доступ к

поверхности контролируемого объекта и приложенного к нему магнитного носителя или других преобразователей магнитного поля (магнитооптической пленки, флюкс-детектора и матриц других преобразователей) на обратной от источника магнитного поля стороне объекта.

Запись распределений магнитных полей в пространстве на магнитный носитель и другие пленочные детекторы осуществляется без электромагнитных наводок и позволяет получать мгновенные распределения информационных импульсных магнитных полей на значительных площадях поверхности объекта (десятки квадратных сантиметров и более) одновременно.

Литература

1. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция перекрывающихся во времени импульсов магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2019. – № 12. – С. 56–63.

2. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

3. Суханов, Д. Я. Магнитная интроскопия с использованием решетки датчиков магнитного поля / Д. Я. Суханов, Е. С. Берзина // Известия высших учебных заведений: Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2. – С. 23–26.

4. Павлюченко, В. В. Расчет распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2015. – № 1. – С. 11–20.

5. 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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – vol. 52. – no. 3. – P. 166–174.

6. Лухвич, А. А. Толщинометрия покрытий на деталях сложной геометрии / А. А. Лухвич, А. Л. Лукьянов, Я. И. Шукевич, А. К. Шукевич, М. Н. Полякова, В. В. Мосякин // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 13–17.

7. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – vol. 54. – no. 1. – P. 70–76.

8. Шубочкин, А. Е. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии / А. Е. Шубочкин, А. Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2014. – № 3. – С. 68–73.

**Лингводидактическое обеспечение
технического образования**

**Роля вучэбнага тэксту па замежнай мове ў фарміраванні экалагічнага
мыслення будучага спецыяліста
(з пазіцыі маўленнезнаўчага падыходу)**

Мартысюк Н. П.

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
Мінск, Рэспубліка Беларусь

*Усведамленне пагрозы тэхнагеннай катастрофы, а адсюль – і
неабходнасці змяніць сацыяльны і эканамічны лад жыцця грамадства ёсць
галоўнай тэмай вучэбных тэкстаў не толькі па спецыяльнасці, але і па
замежнай мове ў тэхнічнай ВНУ. Сучасны вучэбны тэкст па замежнай
мове – гэта сціслы прадстаўнік мноства тэкстаў па экалагічнай
праблематыцы, адлюстроўваючых аднародныя фрагменты экалагічнай
рэчаіснасці, якія абслугоўваюць аднародныя экалагічныя сітуацыі.*

Зыходнай канцэпцыяй навучання замежнай мове на сучасным этапе
выступае авалоданне ёй як сродкам міжкультурнай – міжасобаснай і
прафесійнай – камунікацыі. Гэта азначае, што сучасная методыка
выкладання замежных моў, цалкам арыентаваная на прагматычны аспект
камунікацыі, прадугледжвае набыццё навучэнцамі не толькі вербальнага,
але і невербальнага досведу. Набыццё вербальнага досведу азначае
фарміраванне (1) моўнай кампетэцыі [1, с. 9], т. б. ідэальных граматычных
ведаў, і (2) камунікатыўнай кампетэнцыі [2, р. 75], т. б. слухнага
валодання мовай ў прымяненні да маўленчай сітуацыі. Набыццё
невербальнага досведу прадугледжвае авалоданне той інфармацыяй, якая
раскрывае механізм узаемадзеяння мовы з аб'ектыўнай рэальнасцю і
адлюстраванне апошняй у чалавечай свядомасці. Агульнай крыніцай і
вербальнага, і невербальнага досведу ёсць тэкст як моўна-маўленчая
адзінка.

Мова, мысленне, кампетэнцыя. Згодна з тэорыяй лінгвістычнай
адноснасці, мова вызначае паводзіны – тэзіс, які ў наш час не аспрэчваецца
з-за дастатковай наяўнасці тэкстаў-доказаў з літаратурных, рэкламных,
юрыдычных і акадэмічных крыніц. Найбольш яркае ўяўленне аб
уздзеянні мовы на паводзіны можна знайсці ў працах савецкага класіка-
мовазнаўцы У. А. Звягінцава, які пісаў: «Калі мы ... улічым, што мысленне
чалавека пераважна працякае ў моўных формах, дык непазбежна павінны
будзем прыйсці да высновы, што мова можа ўздзейнічаць і сапраўды
ўздзейнічае на паводзіны чалавека, выкарыстоўваючы сродкі, якія маюцца
ў яе веданні. Гэта ані не раўназначна сцвярдзенню, што мова ўздзейнічае

на фарміраванне лагічных катэгорый, якія хаця і ёсць прадуктам псіхічных працэсаў (мыслёвай дзейнасці) – самі па сабе не ёсць псіхічнай прыроды. Гэта азначае тое, што існуючыя ў мовах спосабы і віды класіфікацыі змястоўных адзінак, узнікаючых таксама ў сувязі з мыслёвай дзейнасцю, уздзейнічаюць на паводзіны чалавека менавіта сваімі класіфікацыйнымі асаблівасцямі» (пераклад. – *наш*) [3, с. 74]. З такога агульнага вызначэння ўласцівасцяў мовы вынікае, што ў ёй адлюстроўваецца не толькі аб'ектыўная рэальнасць знешняга свету, але і яна сама праводзіць пэўную аналітычную працу, калі адрознівае адно рэчышча падзей ад іншага, а адсутнасць здольнасці мовы ўздзейнічаць на лагічныя катэгорыі, ані не перашкаджае ёй інспіраваць розныя паводзіны, маўленчыя або немаўленчыя.

Мова, такім чынам, наўпрост удзельнічае ў фарміраванні мыслення і ўздзейнічае на нашае разуменне і як свету падзей, якія адбываюцца вакол нас, і як свету сацыяльных стасункаў, у які мова ёсць непасрэдна ўключанай. Суб'екты камунікацыі, хаця й залежаць ад рэальных і сацыяльных абставінаў, усё ж такі маюць свабоду ажыццяўлення сваіх ідэй праз **здольнасць канструяваць маўленчыя паводзіны ў залежнасці ад сацыяльных варункаў**. 'Здольнасць канструяваць свае маўленчыя паводзіны ў залежнасці ад сацыяльных варункаў' як паняцце нарадзілася ў амерыканскай сацыялінгвістыцы ў працах Н. Хомскага і Д. Хаймса і замацавалася за словам *кампетэнцыя*. Гэтае слова пазней было пазычана лінгвадыдактычнай навукай і сферай адукацыі, таму што дапамогло удакладніць і сфармуляваць па-новаму мэты навучання¹, якія вынікаюць з патрэбы сучаснага грамадства ў асобе з высокім узроўнем інтэлектуальнага і маўленчага развіцця, а таксама з патрэбы далучэння асобы да агульначалавечых каштоўнасцяў. Далей на падставе гэтага тэрміна былі сфармуляваныя групы *базавых кампетэнцый*, якія датычаць развіцця самой асобы навучэнца, яе стасункаў у соцыюме і агульнай дзейнасці [4, с. 12]. Акрамя базавых кампетэнцый адмыслоўцы сталі

1 У 1996 годзе ў Берне на сімпозіуме рады па культурнай адукацыі ЮНЭСКО «Ключавыя кампетэнцыі для Еўропы» у мэтах глабалізацыі і інтэграцыі Еўрапейскай вышэйшай адукацыі былі вылучаныя 5 базавых кампетэнцый, якія засведчылі сусветную тэндэнцыю абнаўлення вынікальных (т. б. рэзультуючых) адзінак адукацыйнага працэсу. Першыя – палітыка-сацыяльныя кампетэнцыі; другія – кампетэнцыі, злучаныя са здольнасцю жыць у полікультурным свеце; трэція – кампетэнцыі, якія адносяцца да валодання больш, чым адной замежнай мовай; чацвёртыя – інфармацыйна-камунікатыўныя кампетэнцыі; пятая – здольнасць да навучання на працягу ўсяго жыцця (цыт. па: Зимняя, И.А. Компетентносный подход в образовании. – Режим доступа : // <https://www.pirao.ru/community-projects/text/kompetentnostnyy-podkhod-v-obrazovanii/> – Дата доступа : 31.01.2021).

вылучаць і *прадметныя* (альбо *асобныя*) *кампетэнцыі*, якія ўтвараюцца і разгортаюцца па асобных вучэбных прадметах. Так склаўся кампетэнтнасны падыход да навучання розным дысцыплінам, у тым ліку і замежнай мове.

Экалагічная кампетэнцыя, вучэбны тэкст. Тэхнагенная дзейнасць чалавека абумовіла вылучэнне ў шэраг прадметных кампетэнцый у тэхнічнай ВНУ кампетэнцыю экалагічную. Сутнасць яе раскрываецца разгорнутым адказам на пытанне: як зберагчы жыццё на нашай планеце, калі ўжо ёсць запушчанымі небяспечныя для ўсяго жывога неадваротныя тэхнагенныя працэсы? Адсюль вынікае, што навука і адукацыя сёння як ніколі павінны засяроджваць сваю ўвагу на вырашэнні праблем экалагічнай адукацыі шляхам фарміравання экалагічнага мыслення і экалагічных паводзінаў [5] на ўсіх узроўнях стасункаў суб'екта: міжсуб'ектным і масавым, а таксама самаўсведамленні. Таму задачы фарміравання экалагічнага мыслення і экалагічных паводзінаў на сённяшні дзень робяцца абавязковым мінімумам, прадметам першараднай неабходнасці ў працэсе падрыхтоўкі спецыяліста. Як жа ажыццяўляецца падобная адукацыйная палітыка па прадмеце «Замежная мова (англійская)»?

Пачнем з таго, што дысцыпліна «Замежная мова (англійская)» (ESP) – абавязковы кампанент прафесійнай падрыхтоўкі ў тэхнічнай ВНУ, спецыфіка якога вызначаецца зместам навучання (згодна з тыпавай вучэбнай праграмай). А змест навучання замежнай мове, як вядома, вызначаецца тэматыкай тэкставага матэрыялу ў адпаведнасці з абранай сферай прафесійнай дзейнасці навучэнцаў. У сваю чаргу, тэматыка вызначаецца апісаным вышэй экстралінгвістычным (знешнім) кантэкстам – адукацыйнай палітыкай на ніве фарміравання экалагічнага мыслення і экалагічных паводзінаў.

Такім чынам, тэкставы матэрыял, то бок вучэбны тэкст, як і ўсялякі тэкст, паўстае перад намі як цэласная складаная маўленчая адзінка, уключаная ў камунікатыўны працэс: у суб'ектную сітуацыю камунікавання, у сацыяльны кантэкст і міжкультурную камунікацыю. Як і ўсялякі тэкст, ён валодае ўсімі ўласцівасцямі тэксту – цэласнасцю, інфарматыўнасцю, сэнсавай закончанасцю, звязанасцю; уласцівасцяў, пры дапамозе якіх ажыццяўляецца сувязь паміж ім і аб'ектыўнай рэчаіснасцю, паміж ім і сітуацыяй. Відавочна, што вучэбны тэкст – гэта кагнітыўны канал, які транслюе веды чалавека і адлюстроўвае працэсы, што адбываюцца ў грамадскай і індывідуальнай свядомасці. Адсюль таксама вынікае, што *вучэбным тэкстам можна лічыць любы тэкст як*

інфармацыйна-насычаную адзінку, але прагматычна скіраваную ў бок фарміравання прадметных кампетэцый, карысных для засваення вучэбнай дысцыпліны.

Патлумачым, з чаго складаецца семантыка «карыснасці» на прыкладзе актуальнай на сённяшні дзень экалагічнай кампетэнцыі.

Па-першае, яна складаецца з агульна-адукацыйных (=рацыянальных) мэтаў. Вучэбны тэкст па замежнай мове ў тэхнічнай ВНУ ёсць скарбніцай навуковых і прафесійных ведаў: ён адлюстроўвае міждысцыплінарныя сувязі паміж гуманітарнымі, прыродазнаўчымі і тэхнічнымі дысцыплінамі, пашырае светапогляд навучэнцаў. Гэты складнік вучэбнага тэксту ёсць асновай фарміравання экалагічнай кампетэнцыі: экалагічнага мыслення як здольнасці чалавека ўспрымаць сябе як неад’емную частку прыроды, залежную ад знешняга свету, усведамляць уласную адказнасць і датычнасць да ўсіх прыродных працэсаў.

Па-другое, яна складаецца з выхаваўчых (=эмацыйных) мэтаў. Вучэбны тэкст па замежнай мове ў тэхнічнай ВНУ ёсць скарбніцай культурных ведаў. Як яшчэ адзін складнік вучэбнага тэксту ён пакліканы ўздзейнічаць на перажыванні навучэнцаў наконт стану прыроды і ўласнага стаўлення да яе, ён мусіць аказаць матывацыйнае ўздзеянне, спрыяючы развіццю іх крэатыўных якасцяў.

І першыя, і другія мэты ўтвараюць т.зв. глабальны знешні кантэкст, які ўплывае на змест вучэбнага тэксту. Але вучэбныя тэксты самі па сабе не ствараюцца. У іх таксама рэалізуюцца каштоўнасці ўстаноўкі аўтараў, устаноўкі, што ўтвараюць, унутраны знешні кантэкст. Атрымоўваецца, што вучэбнаму тэксту па замежнай мове ў тэхнічнай ВНУ можна прыпісаць яшчэ і ролю каардынатора навучальнага працэсу.

Адзначаная спецыфіка зместу вучэбнага тэксту падкрэслівае значнасць лінгвістычнай навукі як для адукацыйнага працэсу, так і для грамадства ўвогуле. Аб’ядноўваючы і трансліюючы сацыяльныя, палітычныя, культурныя, эканамічныя і тэхніка-тэхналагічныя веды, вучэбны тэкст па замежнай мове такім чынам дапамагае навучэнцам убачыць глыбіню камунікатыўнай спецыфікі адбываючыхся сацыяльна-эканамічных працэсаў, прапаноўвае іх апісанне, а разам з гэтым і тлумачэнне, і мадэляванне спецыфікі функцыянавання ведаў і стасункаў у грамадстве.

Літаратура

1. Хомский, Н. Аспекты теории синтаксиса / Н. Хомский : пер с англ. В. А. Звегинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – Вып. 1. – 259 с.
2. Hymes, D. Foundations in Sociolinguistics: an Ethnographic Approach / D. Hymes. – Philadelphia: Univ. of Pennsylvania Press, 1974 – X, 246 p.

3. Звегинцев, В. А. Теоретическая и прикладная лингвистика / В. А. Звегинцев. – М. : Просвещение, 1967. – 335 с.

4. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования // Эксперимент и инновации в школе. – №2. – 2009. – С. 7–14.

УДК 37.013

Стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзеяння ўдзельнікаў інжынернага адукацыйнага працэсу

Мартысюк Н. П., Гаўрылава В. А.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
Мінск, Рэспубліка Беларусь

Педагагічныя ўмовы разглядаюцца ў якасці аднаго з найбольш значных фактараў, забяспечваючых эфектыўнасць стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзеяння ўдзельнікаў інжынернага адукацыйнага працэсу. Такія стратэгіі, як інтэграцыя тэхналагічнага і гуманітарнага складнікаў у змесце інжынернай адукацыі і арганізацыя прафесійна арыентаванага канструктыўнага ўзаемадзеяння суб'ектаў адукацыі, складаюць аснову неканфліктнага ўзаемадзеяння.

Сцвярдженне таго, што аснову кожнага дыскурсу як шэрагу камунікатыўных падзей, якія адбываюцца паміж камунікантамі ў пэўным кантэксце, складае канфліктнасць, ужо не патрабуе доказаў. Не патрабуе доказаў і сцвярдженне таго, што эфектыўнасць фармавання прафесійна-камунікатыўнай культуры будучага спецыяліста сродкамі адукацыйнага дыскурсу залежыць ад камунікатыўнай кампетэнтнасці выкладчыка і комплексу педагагічных умоў, спрыяючых паспяховай рэалізацыі педагагічнага працэсу. Сказанае азначае, што здольнасць педагога пазбягаць канфліктагенаў – вербальных і невербальных дзеянняў, якія ўтвараюць канфліктную сітуацыю, складае аснову ягонаў **прафесійнай камунікатыўнай кампетэнтнасці**. Веды аб сабе і аб Другіх, свядомае ўжыванне гэтых ведаў у варунках міжасобаснай камунікацыі, і перш за ўсё, у варунках дзейнасці ўніверсітэцкай суполкі – усё гэта ёсць **педагагічнымі ўмовамі**, неабходнымі для паспяховай арганізацыі і хады навучальнага працэсу. Аднак, як адзначаюць псіхолагі, паспяховасць педагагічнага працэсу як камунікатыўнага ўздзеяння заўжды ўключае ў сябе канфліктны складнік – дыхатамію патрэба/праблема [1, с. 7], вырашэнне якога надалей вызначае стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзеяння выкладчыка і студэнта, выкладчыка і адміністрацыі, а таксама паміж самімі выкладчыкамі. Супярэчнасці адукацыйнай прасторы

і есць такімі складнікамі, на паспяховае пераадоленне каторых месяца стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзяння. Пералічым выяўленыя намі супярэчнасці.

Супярэчнасць 1. Яна ўяўляе з сябе ўнутраны канфлікт, уласцівы самой сістэме вышэйшай адукацыі, і праяўляецца ў паступовым знікненні са складнікаў паняцця *ўніверсітэт* семы ‘ўніверсалізм’ як якасці, прыпісваемай гэтаму паняццю.

Агульнавядома, што асноўная частка XX стагоддзя прайшла пад знакам трыумфу прыродазнаўчых і тэхнічных навук, адкрыўшых, здавалася б, вывераны шлях да вырашэння задачай, пастаўленых перад чалавецтвам. У выніку сучасны свет стаўся выключна складаным, супярэчлівым і няўстойлівым; ён сутыкнуўся з праблемай выжывання чалавецтва.

Педантычнай калькай такога становішча стала сістэма вышэйшай адукацыі. Дэкларуючы свае вялікае прызначэнне быць сродкам трансляцыі ведаў з мэтай фармавання свабоднага, цэласнага і дынамічнага чалавека, яна, насамрэч, арыентуецца на вузкапрафесійную падрыхтоўку спецыяліста па крытэры «рыначнай карыснасці», аддаючы на водкуп саветам навучальных устаноў права выбару гуманітарных дысцыплін [2, с. 5–6].

Як жа знайсці выйсце са становішча, калі губляецца каштоўнасць гуманітарнага, чалавекацэнтрыйскага, складніку ў падрыхтоўцы спецыяліста? Тут варта звярнуцца да *інтэграцыі* – да выхаду за межы адной навукі, да ўяўлення аб шырокай універсітэцкай адукацыі, якая мусіць пайсці па шляху сцвярджэння гуманізму: да вяртання да Чалавека. Такім чынам, інтэграцыя тэхналагічнага і гуманітарнага складнікаў у змесце інжынернай адукацыі будзе спрыяць змяненню стаўлення да чалавека як да найвышэйшай сацыяльнай каштоўнасці, а таксама стаўлення самога чалавека да прыроды, грамадства і самога сябе.

Супярэчнасць 2. Яна складаецца з таго, што, з аднаго боку, няма нічога больш стабільнага за кантэкст каштоўнасцяў і традыцый ва ўзаемадзеянні паміж удзельнікамі адукацыйнага працэсу: паміж самімі выкладчыкамі, выкладчыкам і студэнтам, выкладчыкам і адміністрацыяй, а з другога боку, няма нічога больш зменлівага за прадмет камунікавання – навуковыя веда, яны застаюцца ў заўсёдным пошуку. Гэта азначае, што калі само паняцце *ўніверсітэт* студэнт разглядае як навучальную ўстанову, дзе ён будзе працягваць вучыцца пасля школы альбо ліцэя і толькі авалодваць спецыяльнасцю, дык сутыкненне з тэарэтычнымі прадметамі, з навукай, замест мяркуюмай практыкі, звычайна робіцца балючым для яго. Асноўная задача педагога ў такіх варунках, то бок стратэгія неканфліктнага ўзаемадзеяння, уяўляецца нам як *падрыхтоўка студэнта да ўсведамлення ўніверсітэта як сацыяльнага інстытуту* і

ягоных функцый, а значыць, і як падрыхтоўка да новай дзейнасці і новага ўзаемадзеяння, што прывядзе да раскрыцця ўласных патэнцыйных магчымасцяў студэнта і рэалізацыі ягонай ўнутрана дэтэрмінаванай актыўнасці.

Супярэчнасць 3. Стасункі паміж выкладчыкамі і студэнтамі заўжды прытрымліваюцца наладжаных традыцый, то бок вызначаюцца як акадэмічныя. Традыцыйныя ж стасункі падчас навучання – гэта ўзаемная павага да ўдзельнікаў адукацыйнага працэсу: выкладчыка і студэнта. З чаго складаецца такая павага? З аднаго боку, са статусна-арыентаванага характару ўдзельнікаў камунікацыі (выкладчыкаў, навукоўцаў як даследчыкаў і студэнтаў) [3, с. 297], якая іх дыстанцуе, напрыклад, зварот да выкладчыкаў па імя і імя па бацьку альбо па займаемай пасадзе (*Дэкан, рэктар*), зварот да студэнтаў па імя і прозвішчы, прозвішчы альбо па сітуацыйнай ролі (*студэнт*). З другога боку, з партнёрскіх стасункаў, якія назіраюцца падчас толькі даследчыцкай дзейнасці, накіраванай на сумесны пошук, што збліжае выкладчыка і студэнта. **Партнёрства**, як сведчыць патрабаванне сучаснай, гуманістычнай, педагогікі, павінна пераносіцца і на ўласна навучальны працэс у выглядзе прынцыпа арыентацыі на студэнта (*student-centered learning*) пры складанні вучэбных праграм, што здолее змяніць уяўленне аб традыцыйным акадэмізме і прыўнесці інтэрактыўнасць і супрацоўніцтва ў выкладанне спецыяльных дысцыплін.

Такім чынам, калі абагуліць, паспяховае вырашэнне пазначаных супярэчнасцяў адукацыйнай прасторы робіцца магчымым толькі калі прытрымлівацца такіх стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзеяння, як адзінства рэальнага і жадаемага, суб'ектыўнага і аб'ектыўнага. Такое адзінства рэгулюе педагагічны працэс і максімальна выкарыстоўвае ўсе магчымасці для ягонай аптымізацыі. А калі ўдакладніць, дык такія стратэгіі, як інтэграцыя тэхналагічнага і гуманітарнага складнікаў у змесце інжынернай адукацыі і арганізацыя прафесійна арыентаванага канструктыўнага ўзаемадзеяння суб'ектаў адукацыі і ёсць асновай неканфліктнага ўзаемадзеяння ўдзельнікаў інжынернага адукацыйнага працэсу. Больш за тое, пералічаныя стратэгіі вучэбнага дыскурсу забяспечваюць паспяховасць фармавання прафесійнай канфлікталагічнай кампетэнтнасці будучага інжынера-педагога, улічваючы той факт, што прафесійная камунікатыўная культура будучага педагога – гэта асноўны складнік, што ажыццяўляе паспяховасць навучальнага працэсу і гарантуе паспяховасць прафесійнай камунікацыі сваіх будучых навучэнцаў і спецыялістаў.

Літаратура

1. Лупьян, Я. А. Барьеры общения, конфликты, стресс... / Я. А. Лупьян. – 3-е изд. – Ростов н/Д : Кн. Изд-во, 1991. – 224 с.

2. Левяш, И. Я. Предисловие // Интегративные тенденции в современном социально-гуманитарном знании : материалы Междунар. науч. конф, Минск, 16–17 нояб. 1999 г. / Под ред. И. Я. Левяша [и др.]. – Минск : МГЛУ, 2000. – С. 5–7.

3. Куликова, Л. В. Коммуникативный стиль в межкультурной парадигме / Л. В. Куликова. – Красноярск : Краснояр. гос. пед. ун-т, 2006. – 392 с.

УДК 372.881.111.1

Особенности формирования иноязычного профессионального тезауруса студентов архитектурных специальностей

Крюкова Л. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из актуальных компетенций архитектора становится способность осуществлять успешную профессиональную и межличностную коммуникацию на иностранном языке. Формирование иноязычного профессионального тезауруса будущих архитекторов является обя-зательным условием для осуществления профессиональной деятельности. В условиях ограниченного количества учебного времени на изучение иностранного языка в неязыковом вузе следует оптимизировать объем, содержание, формы и методы преподавания иностранного языка.

В современных условиях постоянно меняющегося и развивающегося глобального мира происходят заметные изменения в науке, экономике и социальной сфере. Развитие и широкомасштабное внедрение информационных технологий во всех областях жизни и процессы глобализации требуют переосмысления и расширения набора востребованных компетенций, а также совершенствования подходов к формированию профессиональной компетентности специалистов всех специальностей.

В условиях расширения международных связей и возрастающей конкуренции на рынке труда одной из самых востребованных компетенций современного архитектора является владение как минимум одним иностранным языком на уровне, обеспечивающим успешное профессиональное и межличностное общение. Однако при постоянном уменьшении аудиторных часов, отводимых в учебных планах для изучения иностранного языка, методистам и практикующим преподавателям необходимо изменить и оптимизировать содержание и методы преподавания предмета, выявить наиболее актуальные темы и языковой материал.

Одной из важнейших задач является отбор лексики и способ ее презентации, нацеленный на формирование, совершенствование и активизацию иноязычного профессионального тезауруса. Тезаурус – междисциплинарный термин, широко используемый в гуманитарных науках. В лингвистической науке тезаурус определяется как особая разновидность словарей общей или специальной лексики, в которых указаны семантические отношения между лексическими единицами. Весомый вклад в выявление единых закономерностей в организации лексической системы на всех ее уровнях внес Ю. Н. Караулов, разработавший «теорию языковой личности», которая оказала огромное влияние на современные подходы к созданию электронных словарей и преподаванию иностранных языков. В его понимании «тезаурус – это всякий словарь, который в явном виде фиксирует семантические отношения между составляющими его единицами» [1, с. 156].

В современной лингводидактике тезаурусный подход к организации профессионального знания считается одним из эффективных способов формирования иноязычной лексической компетенции будущего специалиста [2, с. 129]. В учебном процессе словарь-тезаурус является средством формирования системной лексической основы профессиональной иноязычной информации, сферы и среды профессионального общения. Тезаурусный подход способствует формированию профессионального потенциала и языковой личности будущих архитекторов.

Однако изучение иностранного языка на архитектурных специальностях продолжается только два семестра на первом или первом и втором курсах. Таким образом, иноязычный профессиональный тезаурус будущих архитекторов и дизайнеров начинает формироваться раньше, чем собственно профессиональный. В данный момент иноязычный тезаурус ограничивается тематическими зонами, связанными с особенностями карьеры архитектора и историей архитектуры, хотя требования к профессиональным компетенциям архитектора охватывают более широкий диапазон знаний и навыков:

– в сфере архитектуры (эргономика, архитектурное графика и проектирование, интерьеры, ландшафтная архитектура, сохранение и реставрация зданий, компьютерная графика, нормативная документация, объемно-пространственное мышление и др.)

– в строительной сфере (основные строительные понятия, типы и конструкции зданий, части и структурные элементы сооружения; материаловедение; генплан и планировка территории; инженерные коммуникации; энергоэффективность и энергосбережение; расчеты теплотехники, инсоляции, коэффициента естественного освещения и др.)

– в профессиональной деятельности архитектора (установление контактов с зарубежными заказчиками, проведение презентаций проектов на международных выставках, обмен профессиональным опытом с зарубежными коллегами в различных форматах, осуществление профессиональной деятельности за пределами страны [3, с. 125].

Очевидно, что современные коммуникативные иноязычные потребности будущих архитекторов выходят далеко за рамки предлагаемых теоретических и описательных обзоров по истории архитектуры. Для формирования профессионального архитектурного тезауруса необходимо сначала определить наиболее релевантные коммуникативные ситуации, провести анализ тематических зон тезауруса, а также определить наиболее эффективные формы и методы обучения.

Практический опыт показывает, что введение факультатива «Иностранный язык (профессиональная лексика)» для студентов 5 курса архитектурного факультета может стать одним из эффективных способов формирования иноязычного профессионального тезауруса, поскольку студенты уже обладают достаточными знаниями и навыками для интенсивного и творческого обучения. В рамках факультативных занятий создаются и реализуются коммуникативные ситуации, в которых формируются актуальные лексические и речевые навыки. Актуальные коммуникативные ситуации для будущих архитекторов могут включать:

- поиск и анализ объявлений о приеме на работу;
- написание резюме и сопроводительного письма;
- интервью с потенциальным работодателем;
- создание аннотаций проектов для портфолио;
- презентация архитектурной компании;
- презентация собственного архитектурного проекта и др.

В условиях интенсивного развития всех сфер науки и потребностей общества не представляется возможным быстро реагировать на появление новых технологий и архитектурных направлений в рамках аудиторных занятий. Для формирования иноязычного тезауруса необходимо выработать и применять все доступные инновационные подходы и средства для организации внеаудиторной и самостоятельной работы студентов.

Например, ежегодный Конкурс студенческих научных презентаций на английском языке «My First Steps into Science» (в рамках проведения Международного молодежного форума «Креатив и инновации») дает возможность многим студентам познакомиться с новейшими достижениями в области архитектуры, расширив свой профессиональный тезаурус, а также совершенствовать навыки устных выступлений на английском языке.

Участие студентов архитектурных специальностей в научных лингвистических конференциях позволяет более глубоко изучить языковые осо-

бенности профессионального тезауруса. Например, на ежегодном Форуме молодых переводчиков (БГУ) студенты-архитекторы успешно представили свои исследования способов образования и перевода архитектурных неологизмов, безэквивалентных архитектурных реалий, метафор, архитектурных слоганов и интернациональных архитектурных терминов.

Использование платформы *Microsoft Teams* во время карантинных мероприятий показало, что она также может стать эффективным инструментом для организации дополнительной самостоятельной работы студентов по формированию профессионального тезауруса. Платформа дает возможность обмениваться полезными ссылками, обсудить проекты и архитектурные новости, познакомить студентов с интересными материалами в архитектурных журналах на английском языке (*Architectural Record*, *Dezeen*, *ArchDaily*), быстро составить и проверить тесты, индивидуальные задания, продемонстрировать презентации и др.

Таким образом, признавая актуальность задачи формирования иноязычного профессионального тезауруса будущих архитекторов, следует отметить определенные противоречия между постоянно возрастающими требованиями к коммуникативным компетенциям специалистов и сокращением количества аудиторных часов на изучение иностранного языка и их распределение в учебных планах. В таких условиях необходимо особенно тщательно подходить к выбору коммуникативных ситуаций профессионального общения и сфер приложения иноязычных знаний будущих специалистов, а также к отбору языкового материала. Использование инновационных технологий, форм и методов обучения повышает эффективность формирования определенных навыков, но не решает проблему в целом.

Литература

1. Караулов, Ю. Н. Лингвистическое конструирование и тезаурус литературного языка / Ю. Н. Караулов. – М. : Наука, 1981. – 366 с.
2. Шаталова, Л. С. Тезаурусный подход при создании учебного терминологического словаря / Л. С. Шаталова // Вестник РУДН. Сер. Вопросы образования: языки и специальность. – 2013. – № 1. – С. 129–134.
3. Корниенко, О. П., Петий, А. А. Тезаурус в структуре иноязычной проектно-технической компетенции будущих архитекторов-строителей / О. П. Корниенко, А. А. Петий // Известия ВГПУ. Сер. Педагогические науки. – 2012. – № 5 (69). – С. 125–127.

Национальная потребность в формировании экологического мировоззрения будущего специалиста на уроках иностранного языка

Пытко В. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описывается возможность формирования экологического мировоззрения студентов технического вуза на уроках английского языка благодаря введению экологического аспекта в курс данного предмета. Рассматриваются некоторые виды творческих заданий, обеспечивающих лично-ориентированный подход к воспитанию средствами иностранного языка.

Решение проблемы экологического кризиса возможно только при формировании новой культуры во взаимоотношениях людей как друг с другом, так и с природой, субъектом которой является человек. В основе такой культуры должно лежать экологическое воспитание в широком смысле, которое включает экологическое воспитание в узком смысле как привитие детям навыков следования экологическим нормам на практических примерах, экологическое просвещение и экологическое образование. Таким образом, экологическое воспитание предполагает включение вопросов экологического просвещения во все школьные и вузовские учебные программы, что гарантирует приобретение каждым человеком общих экологических знаний и осознание каждым педагогом важности межпредметных связей.

Экологическое образование играет существенную роль в практическом решении задач устойчивого развития общества, делает возможным формирование чувства бережного отношения человека к окружающей природной среде и тем самым совершенствует его внутренний мир. Комплекс экологического воспитания, просвещения и образования также, как и пласт обобщенных знаний об окружающем мире, о месте в нем человека и о возможных взаимосвязях, создает у человека экологическое мировоззрение, представленное системой обобщенных знаний о природной среде, состоящей из тесно взаимосвязанных как природной, так и техногенной метасистем.

Являясь высшим свойством личности и основой экологической культуры, экологическое мировоззрение должно стать неременной частью деятельности всей системы непрерывного экологического образования, в которой ведущая роль в формировании эколого-ориентированной личности

отводится учреждениям высшего образования, формирующим экологическую культуру на более высоком научно-обоснованном уровне [1–3].

Задачи актуального на современном этапе экологического образования в системе высшего профессионального образования определяются видом получаемого образования. Профессиональное экологическое образование должно основываться на ряде образовательных программ экологического профиля, включающих ряд предметов, необходимых для подготовки квалифицированного специалиста, способного обеспечить устойчивое развитие общества. Для будущих специалистов любой другой отрасли, деятельность которых будет связана не с вопросами экологии, но с использованием природных ресурсов и воздействием на окружающую среду, экологическая образованность должна составлять основу общей культуры личности, обладающей экологическими знаниями, умениями и навыками их применения. Экологические знания, которые будут получены студентами в учреждениях высшего образования, должны помочь будущим специалистам выработать правила поведения по отношению к окружающей среде и правильно организовывать свою деятельность в условиях экологических противоречий (между количеством предприятий и объемами загрязнений, между производственной мощностью предприятия и потребляемыми ресурсами) [2].

Экология является междисциплинарной наукой, поэтому задача экологического образования должна решаться как посредством чтения отдельных специализированных курсов экологической направленности, так и через экологизацию всей системы образования с акцентом на практико-ориентированное обучение вопросам экологии. Таким образом, экологический аспект должен предполагать интеграцию экологической и специальной составляющих как социально-гуманитарных, так и естественнонаучных дисциплин высшего учебного заведения.

Комплексная экологизация содержания традиционных предметов предполагает включение аспектов экологического воспитания и образования в курс иностранного языка, который сам по себе является действенным фактором социально-экономического, научно-технического и общекультурного прогресса общества. Предполагая воздействие на эмоциональную и на рациональную сферу учащихся, английский язык также оказывает воздействие и на формирование экологических, духовно-нравственных ценностей и ориентиров, на развитие экологического сознания, мышления и культуры [3].

Введение экологического аспекта в курс английского языка обеспечивает включение в процессы обучения таких форм и методов, которые обуславливают приобретение учащимися уже первого курса опыта исследовательско-творческой деятельности, способствуя тем самым участию сту-

дентов в студенческих и научно-практических конференциях. Поскольку широкий спектр экологических проблем позволяет предлагать студентам задания по подготовке творческих проектов по окончании изучения практически каждой темы по английскому языку любой из специальностей технического вуза, экологическая направленность широко используется в проектной методике изучения английского языка. Эта технология обуславливает высокую степень самостоятельности, развитие творческих способностей, создание условий для развития социальных навыков учащихся в процессе групповых взаимодействий и тем самым обеспечивает лично-отно-ориентированный подход к воспитанию средствами английского языка.

Например, при составлении проекта «Low-energy houses» («Дома с низким энергопотреблением») для анализа опыта англоязычных стран студенты работают с текстами, написанными носителями языка, просматривают научные и научно-популярные фильмы, что способствует не только расширению словарного запаса по экологической тематике, но и расширению экологического мировоззрения учащихся. Используемые при подготовке экологического мини-проекта компьютерные презентации выступают отличным инструментом для развития мотивации при изучении английского языка.

Для активизации мыслительной деятельности и развития коммуникативных навыков, для формирования у учащихся чувства гармонии и духовного единства с природой на занятиях английского языка проводятся уроки-игры, где специально подобранные задания готовят студентов к решению реальных жизненных ситуаций и способствуют осознанию состояния природных объектов. В современной методике обучения иностранным языкам акцент делается на обучении диалогическому общению, поэтому темы экологической направленности способствуют созданию условных, реальных и проблемных речевых ситуаций как мотивов для порождения и стимулирования речи. Поскольку при подготовке совместного проекта студенты работают в малых группах, а организуемая альтернативная система вопросов и ответов помогает оценить глубину понимания экологических проблем, интерактивные методы обучения являются стержнем творческой учебной деятельности в формировании эко культуры [2; 4].

В целом, можно сказать, что интегрированный курс английского языка с экологической направленностью расширяет кругозор студентов, развивает познавательные способности, позволяет повысить уровень практического владения английским языком, а также он представляет широкие возможности для формирования у будущих специалистов экологического мировоззрения, экологической культуры и экологических знаний.

Литература

1. Азизова, Л. Р. Формирование экологических представлений у личности / Л. Р. Азизова // Модернизация системы непрерывного образования: матер. 2-ой междунар. н.-пр.конф. – Дербент, 2010. – С. 157–159.
2. Соколова, Н. И. Формирование экологической культуры у студентов педагогических вузов средствами изучения иностранного языка: Дис. ... канд. пед. наук : 13.00.01/ Н. И. Соколова. – М.: РГБ, 2003.
3. Хасиханов М. С. Формирование Экологического мировоззрения у научной интеллигенции: автореф. дис. ... канд. педагог. наук: 13.00.08 / М. С. Хасиханов. – Дагестан гос. пед. ун-т. – Махачкала, 2007. – 23 с.
4. Зеня, Л. Я. Воспитание экологической культуры школьников средствами иностранного языка / Л. Я. Зеня // Иностранные языки в школе. – 1990. – № 4. – С. 30.

УДК УДК 372.881.111.1

Формирование эколого-коммуникативной компетенции студентов технического вуза средствами иностранного языка

Муха О. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Эколого-коммуникативная компетенция студентов может быть сформирована с помощью применения интерактивных методов обучения на экологические темы, связанные с будущей профессией специалиста.

Экологические проблемы в наше время становятся все более актуальными. Говоря об эколого-коммуникативной компетенции, следует вспомнить, что в 2005 году Европейская экономическая комиссия ООН приняла Стратегию в области образования в интересах устойчивого развития. Образование для устойчивого развития предполагает экологизацию и гуманизацию образования. Такой подход предполагает переход от простой передачи знаний и навыков, которые необходимы для существования в современном обществе, к готовности действовать и жить в быстромеменяющихся условиях, участвовать в планировании социального развития, учиться предвидеть последствия предпринимаемых действий, в том числе и возможных последствий в сфере устойчивости природных экосистем и социальных структур. Под иноязычной эколого-коммуникативной компетентностью О. Л. Добрынина [1] и коллеги понимают готовность студентов использовать экологические и языковые знания и нравственно-

ценностные ориентиры в профессиональных экологонаправленных ситуациях общения на иностранном языке для обсуждения, принятия решений и выполнения действий, осознавая их экологические и социальные последствия как в локальных, так и в глобальных масштабах.

Для формирования экологической компетенции на занятиях по английскому языку могут применяться интерактивные методы обучения, способствующие формированию иноязычной коммуникативной компетенции и позволяющие имитировать процесс коммуникации в аудиторной среде. Также здесь может применяться проблемный подход, в основе которого лежит разрешение коммуникативной проблемы в процессе общения.

Таким образом, на всех этапах обучения с постепенным нарастанием уровня сложности могут применяться *дискуссия, ролевая/деловая игра, дебаты, круглые столы* [3].

Ценность *дискуссии* заключается в том, что участники общаются друг с другом, задают вопросы, обмениваются мнениями, соглашаются или не соглашаются, поднимают вопросы, которые, возможно, не были предусмотрены планом дискуссии. Преподаватель здесь не является центральным участником, отдавая инициативу студентам. В качестве свернутой дискуссии может использоваться *круглый стол*.

Деловая игра реализуется на имитационной модели как совместная деятельность по выработке решений учебных задач. Деловая игра как метод активного обучения становится особенно популярна, особенно в высших учебных заведениях. Деловую игру сегодня причисляют к методам контекстно-знакового обучения, в которой учащиеся выполняют квазипрофессиональную деятельность, включающую в себя как учебную составляющую, так и профессиональную.

Технология *дебатов* используется в учебной деятельности для развития критического мышления, для расширения сфер познавательных интересов, а также для развития умений общения.

Примером проблемной ситуации может служить обсуждение студентами первого курса факультета энергетического строительства специальности «Атомные электростанции» целесообразности сооружения в Беларуси атомной электростанции и его последствий для окружающей природной среды и населения как в локальном, так и в глобальном смысле.

На основе предлагаемых текстов, содержащих информацию о положительных и отрицательных аспектах использования атомной энергии, студенты решают проблемную ситуацию: проводят сравнения преимуществ и недостатков этого вида источника энергии с другими уже известными студентам (невозобновляемые – нефть, газ, уголь и возобновляемые – гидроэнергия, энергия ветра, солнечная энергия) и обосновывают свой выбор.

В таких условиях решаются сразу две задачи: и обучение иностранному языку и соответствующей лексике и формирование экологического восприятия окружающей среды. Студенты при этом определяют для себя нравственно-ценностные и экологические ориентиры, по которым они будут жить и работать в новом тысячелетии.

Литература

1. Добрынина, О. Л. Методическая система становления иноязычной эколого-коммуникативной компетенции студентов университета в контексте образования для устойчивого развития / О. Л. Добрынина // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова – 2008. – № 3. – С. 279–284.

2. Наумова, И. М. Становление экологической компетентности будущих инженеров в образовательном пространстве диалога культур: Дис. ... канд. пед. наук / И. М. Наумова – М., 2006. – 233 с.

3. Рябенко, Н. Л. Формирование иноязычной коммуникативной компетенции студентов международного профиля средствами интерактивных технологий: Дис. ... канд. пед. наук / Н. Л. Рябенко. – Москва, 2019. – 174 с.

УДК 378.14

Условия совершенствования экологической компетентности будущего специалиста средствами дисциплины «Иностранный язык»

Пятецкая О. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье представлены условия совершенствования экологической компетентности студентов неязыкового вуза средствами дисциплины «Иностранный язык». Рассматриваются некоторые формы работы в ходе иноязычной подготовки будущих архитекторов.

Процесс развития экологической культуры сегодня входит в международные стратегии устойчивого развития, образования на протяжении всей жизни человека, а также в решение задач «зеленого строительства». Так как в процессе глобализации владение иностранным языком имеет большое значение (является средством налаживания коммуникации, достижения взаимопонимания, установления и развития деловых контактов, обмена опытом, продвижения достижений на международной арене), возникает

необходимость выявления новых педагогических условий в сфере развития экологической компетентности на занятиях по иностранному языку.

Для того, чтобы уровень экологической компетентности будущего специалиста вуза повысился, педагогу необходимо сформировать у студента самостоятельность, инициативность, интерес, критическое мышление. Кроме того, степень сложности учебной деятельности студента должна постоянно увеличиваться (имеет место переход от простого к сложному). В связи с этим преподаватель организует специальное учебное пространство, моделирует проблемные ситуации, способствующие развитию вышеперечисленных качеств личности.

Необходимо отметить, что одним из условий формирования экологической компетентности у студентов-архитекторов является реализация профессионально ориентированного подхода на основе применения интерактивных методов обучения иностранному языку. Эффективное влияние профессиональных качеств в процессе обучения отражено в работах А. А. Вербицкого [4], Г. А. Китайгородской и С. С. Хромова. Практические занятия по данной дисциплине организуются с учетом интеллектуальной вовлеченности в процесс познания всех студентов учебной группы. Совместная деятельность предполагает индивидуальный вклад каждого участника, обмен знаниями, идеями, умениями и навыками. Педагог организует индивидуальную, парную и групповую работу (метод проектов, ролевые игры, мозговой штурм, учебные дискуссии, работа с разнообразными источниками информации). Интерактивные методы обучения основаны на принципах взаимодействия, активности, опоры на коллективный опыт, обязательной обратной связи. Благодаря данным методам создаются условия для формирования и закрепления профессиональных знаний, навыков и умений, обогащается опыт творчества, а также опыт эмоционально-ценностных отношений.

Исходя из задачи, состоящей в формировании экологической компетентности студентов Белорусского национального технического университета, на занятиях по иностранному языку со студентами архитектурного факультета мы применяем такие формы работы, с помощью которых создаются благоприятные условия для совершенствования экологической компетентности будущего специалиста. К ним относятся:

- 1) работа с аутентичными текстами, тематика которых соответствует интересам студентов, содержит профессиональную информацию, знакомит с социальными и экологическими проблемами, с работой экологических движений в странах изучаемого языка и родной стране, активизирует знания студентов (экологичные строительные материалы, современные технологии строительства, «зеленая архитектура», рациональное природопользование, устойчивое развитие и др.). Система упражнений, направ-

ленных на развитие коммуникативных умений мотивирует к оценке поступков и действий людей с точки зрения нравственности, побуждает интерпретировать свои собственные поступки;

2) работа со знаками, символами, датами. При знакомстве с многообразием зарубежных природоохранных мероприятий встречается много аббревиатур, специальных символов и знаков. В связи с этим необходимо, чтобы студенты научились правильно их расшифровывать и в дальнейшем не испытывали затруднений при работе с информацией данного типа. В течение учебного года мы обращаем внимание на знаменательные даты экологического календаря, на мероприятия и акции, посвященные защите окружающей среды (День Земли, День без автомобиля и пр.);

3) работа над междисциплинарными проектами. Для обучающихся работа над проектом – это сознательная деятельность, зона развития, социализации, сотрудничества и сотворчества. Студенты гармонично комбинируют коллективную и индивидуальную, теоретическую и практическую деятельность. Технология проектной работы всегда предполагает решение какой-либо проблемы, предусматривающей, с одной стороны, использование разнообразных методов, средств обучения, а с другой – интегрирование знаний, умений из различных областей науки, техники и творчества. Примером таких проектов является «Экскурсия по Минску» (в конце учебного года студенты составляют маршрут экскурсии и распределяют между собой объекты города, о которых хотели бы рассказать одногруппникам в ходе внеаудиторного занятия. Таким образом, каждый член коллектива является экспертом в своем вопросе (какие строительные материалы использовались в создании того или иного сооружения, чем был обусловлен этот выбор, какие технологии строительства были применены, благоприятна ли экологическая ситуация в месте расположения здания и т.д.). В то же время, имеет место взаимообучение в группе (студенты могут задавать вопросы эксперту и/или вместе находить ответы на них в ходе дискуссии (при необходимости));

4) работа с наглядным материалом предполагает описание изображений, фото, создание плакатов по экологической тематике с использованием изученного материала и своего жизненного опыта. Это способствует развитию коммуникативных навыков, расширению словарного запаса, закреплению грамматических навыков [2–4].

Таким образом, стоит отметить, что мировому сообществу необходимы специалисты, способные анализировать социально значимые (экологические) проблемы, осознавать последствия своих решений и готовые нести за них ответственность. Для совершенствования экологической компетентности будущих специалистов можно и нужно использовать практические занятия по иностранному языку, в ходе которых создаются благопри-

ятные условия для экологического развития и воспитания благодаря применению эффективных форм, методов и средств обучения.

Литература

1. Вербицкий, А. А. Личностный и компетентный подходы в образовании: проблемы интеграции / А. А. Вербицкий, О. Г. Ларионова. – М.: Логос, 2012. – 336 с.
2. Малюга, Е. Н. Основные характеристики профессионального языка / Е. Н. Малюга // Вестник СамГУ. – 2011. – № 1. – С. 8–12.
3. Ходырева, Е. А. Инновационные технологии профессионального образования: компетентность, самостоятельность, творчество / Е. А. Ходырева. – Киров: Изд-во ВятГГУ, 2011. – 107 с.
4. Шилова, В. С. Социально-экологическое образование студентов: сущность, содержание, диагностика (в контексте деятельностного подхода) / В. С. Шилова // Учебное пособие. Изд. 2-е, доп. Белгород: Издательство БГУ, 2011. – 247 с.

УДК 37:330.34

Education for Sustainability

Fomicheva T. P.
Belarus National Technical University
Minsk, Belarus

The article is devoted to the importance of higher education in sustainable development. Attention is paid to preparing the students for life increasing the awareness and knowledge, skills and values needed to create sustainable future in the lessons of English at the BNTU.

Education for Sustainability (EfS) is an educational approach that aims to develop students, schools and communities with the values and the motivation to take action for sustainability – in their personal lives, within their community and also at a global scale, now and in the future.

Education for Sustainability (EfS) aims to build awareness and knowledge of sustainability issues but also to develop students and schools that are able to think critically, innovate and provide solutions towards more sustainable patterns of living [1].

Education for sustainability is based on the following principles:

– *transformation and change*. Education for sustainability is not simply about providing information but involves equipping people with the skills, ca-

capacity and motivation to plan and manage change towards sustainability within an organization, industry or community;

- *education for all and lifelong learning*. Education for sustainability is driven by a broad understanding of education and learning that includes people of all ages and backgrounds and at all stages of life and takes place within all possible learning spaces, formal and informal, in schools, workplaces, homes and communities;

- *system thinking*. Education for sustainability aims to equip people to understand connections between environmental, economic, social and political systems;

- *envisioning a better future*. Education for sustainability engages people in developing a shared vision for a sustainable future;

- *critical thinking and reflection*. Education for sustainability values the capacity of individuals and groups to reflect on personal experiences and world views and to challenge accepted ways of interpreting and engaging with the world;

- *participation*. Education for sustainability recognizes participation as critical for engaging groups and individuals in sustainability;

- *partnerships for change*. Education for sustainability focuses on the use of genuine partnerships to build networks and relationships, and improve communication between different sectors of society [1].

In order to prepare graduates as active and responsible citizens, institutions of higher education must not only change for education for sustainability but also in their practice become models for sustainability themselves and in this respect, they have to change in many ways [2].

In the process of teaching English at the BNTU education for sustainability students' work should be based on active, participatory, process and solution-oriented educational methods. English assists students to develop the skills necessary to investigate, analyze and communicate ideas and information related to sustainability, and to advocate, generate and evaluate actions for sustainable futures.

In this learning area, students may interrogate a range of texts to shape their decision-making in relation to sustainability. They develop the understanding and skills necessary to act responsibly and create texts that inform and persuade others to take action for sustainable futures.

Besides the traditional ones, such methods as discussions, value clarification, scenarios, modelling, role-playing, information and communication technology, surveys, case studies, projects, good practice analyses, workplace experience should be used. The quality of the educational material at all levels is an important factor for promoting and facilitating the work with educational programs and modules for sustainable development.

Learning and teaching for EFS require access to various resources including textbooks, cases studies and good practices as well as media, web-resources. The priority of sustainability provides rich and engaging contexts for developing students' abilities in listening, speaking, reading, viewing and writing.

It is clear that sustainability issues should be integrated within the main functions of a university: education and research processes, different operational activities of the university and its community as well as the relations of the university with the external community.

Thus, a primary educational mission for sustainability should be to teach students to take responsibility for their actions and to influence public decisions where environmental issues are very important.

References

1. Houseman, S., Nelson, S. Getting started with Sustainability in Schools. [Electronic Recourse]. – Mode of access: <https://sustainabilityinschools.edu.au/what-is-efs>. – Date of access: 17.04.2021
2. Ciegis, R., Gineitiene, D. The Role of Universities in Promoting Sustainability // Engineering Economics. – 2006. – № 3 (48). – P. 56–61.

УДК 811.111:674

Формирование экологической компетенции будущих специалистов деревообрабатывающей промышленности средствами учебной дисциплины «Иностранный язык (английский)»

Янушкевич Л. М.¹, Трухан Е. В.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

В статье анализируются учебные пособия «Английский язык. Профессиональная коммуникация. Деревообработка (с электронным приложением)» и «Английский язык. Профессиональная коммуникация. Деревообработка. Практикум» (авторы Е. В. Трухан, Л. М. Янушкевич) как средства формирования экологической компетенции у студентов деревообрабатывающей промышленности.

В 2015 г. для развития международного сотрудничества Генеральной Ассамблеей ООН была принята Декларация, известная как «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [1], включающая 17 комплексных целей, обеспечивающих сбалансированность экономического, социального и экологического ком-

понентов устойчивого развития всех стран. Республика Беларусь взяла на себя обязательства участвовать в выполнении Повестки дня и утвердила Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития, обозначив главные ориентиры для достижения к 2030 г. В этот документ включены задачи устойчивого развития в экономике, экологии, инновациях, инвестициях. Среди основных направлений развития страны указываются создание возможностей для внедрения «зеленых» технологий и сохранения природных ресурсов и экологически безопасной жилой среды [2].

В процессе подготовки специалистов в сфере деревообработки особое внимание уделяется овладению обучающимися знаниями, навыками и умениями, необходимыми для осуществления этих целей и задач. В рамках приоритетного в образовании компетентного подхода такая совокупность знаний, навыков и умений известна как экологическая компетенция.

В формирование у студентов экологической компетенции наряду с профилирующими учебными дисциплинами вносит вклад «Иностранный язык (английский)».

Разработанные Е. В. Трухан и Л. М. Янушкевич учебное пособие [3] и практикум [4] по английскому языку для студентов специальностей деревообрабатывающей отрасли в полной мере учитывают необходимость подготовки специалиста, обладающего высоким уровнем не только коммуникативной, но и экологической компетентности.

Это отражается в выборе тематики пособий. Они состоят из следующих разделов: «Из истории использования древесины», «Общая информация о древесине», «Свойства древесины», «Древесина как источник энергии», «Лесозаготовка», «Продукты из древесины, подвергшиеся первичной обработке» и «Продукты из древесины, подвергшиеся дальнейшей обработке», а также «Плотничное и столярное дело». Основу каждого из них составляют оригинальные тексты, затрагивающие различные аспекты использования древесины, а также экологические риски деревообрабатывающей промышленности.

Разнообразные упражнения этих разделов нацелены на формирование эколого-коммуникативной компетентности в различных профессионально ориентированных видах речевой деятельности путем систематизации и совершенствования знаний и умений студентов, обогащения их словарного запаса по предлагаемой тематике, формирования навыков понимания, перевода и реферирования текстов по специальности и совершенствования навыков монологического высказывания и диалогической речи на основе письменного текста. В конце каждого раздела предусмотрены творческие задания на развитие устной речи, что способствует формированию у сту-

дентов навыков самостоятельной деятельности и ведения дискуссии на английском языке, в том числе на темы устойчивого развития и экологических рисков.

Литература

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций. – <http://docs.cntd.ru/document/420355765>.

2. Дорожная карта по реализации ЦУР в Республике Беларусь [Электронный ресурс] // Цели устойчивого развития в Беларуси. – https://sdgs.by/kcfinder/upload/files/FINAL_Дорожная_карта_ЦУР_RU_25_06.pdf.

3. Трухан, Е. В. Английский язык. Профессиональная коммуникация. Деревообработка / Е. В. Трухан, Л. М. Янушкевич: учеб. пособие. – Минск: РИВШ, 2020. – 142 с.

4. Трухан, Е. В. Английский язык. Профессиональная коммуникация. Деревообработка. Практикум / Е. В. Трухан, Л. М. Янушкевич. – Минск: РИВШ, 2020. – 92 с.

Содержание

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Хрусталеv Б. М., Пехога А. Н. Использование электрогидравлической обработки при подготовке к брикетированию коммунальных отходов решает проблемы переработки горючих отходов	4
Бракович И. С. Уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу Земли	8
Зафатаев В. А., Ланкович С. В. Оценка эффективности организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания в условиях загрязненного атмосферного воздуха крупных городов	13
Ливанский Д. Г., Чигилейчик И. М. Особенности современного проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий.....	18
Борухова Л. В., Летун Е. А., Шибeko А. С. Моделирование работы систем естественной вентиляции жилых зданий с установленными механическими кухонными вытяжками.....	23
Мешик К. О. Управление параметрами теплоносителя систем отопления на основе метеоданных	27
Романюк В. Н., Станецкая Ю. А., Литвинюк В. Использование электроэнергии в системах теплоснабжения	31
Сизов В. Д. Рекомендации по повышению энергоэффективности производства железобетонных изделий и цементобетона с использованием разогретых заполнителей	36
Лешкевич В. В., Черванёва Е. А., Якимович Д. Д. Некоторые особенности теплоассопереноса в современных самонесущих наружных стенах	41
Бубырь Т. В. Численное исследование сложного теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс	45

Костюкевич И. Г. Температурный режим грунтов с заложенными коллекторами тепловых насосов..... 50

Королёва Т. И., Пивоварова С. И. Исследование текстильных воздуховодов с целью применения в культовых зданиях 54

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Аmeliшко И. Е., Ивашечкин В. В. Поинтервальная реверсивно-реагентная обработка водозаборных скважин методом сваивирования... 62

Левкевич В. Е., Лосицкий В. А. Методические подходы по оптимизации сетей наблюдений за состоянием конструкций очистных сооружений..... 65

Левкевич В. Е., Саидов Ф. Н. Классификации поверхностных водохранилищных водозаборов Беларуси и Таджикистана..... 69

Михневич Э. И. Расчет водопроницаемой подпорной стенки для крепления фильтрующих откосов..... 75

Волкова Г. А., Ануфриев В. Н. Особенности методов обработки поверхностных вод озонированием и активированным углем 81

**Линкевич Н. Н., Ануфриев В. Н., Лемеш М. И.,
Линкевич А. Н.** Исследование технического состояния наружных систем водоснабжения здания СКТЬ БНТУ..... 86

Медведева Ю. А., Ивашечкин В. В., Шейко А. М. Определение КПД насоса-гидроэлеватора..... 91

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Качанов И. В., Шаталов И. М., Быков К. Ю., Ленкевич С. А. Экспериментальная оснастка для изготовления биметаллических дорожных резцов..... 98

Линкевич Н. Н. Технический уход за грунтовыми гидротехническими сооружениями	100
Качанов И. В., Шаталов И. М., Филипчик А. В., Недвецкий С. В., Ковалевич В. С. Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозии	104
Афанасьев А. П., Кособуцкий А. А., Ленкевич С. А. Об использовании конической насадки в водометных движителях речных судов	108
Ключников В. А., Ленкевич С. А., Афанасьев А. П., Кособуцкий А. А. Экспериментальные исследования 3D-моделей корпусов мелкосидящих судов гидродинамическом лотке.....	111
Курчевский С. М. Мониторинг водного режима сельскохозяйственных земель, примыкающих к осушительным системам	115
Артёмчик А. А., Гатилло С. П. Роль малой ГЭС в составе комплексной электростанции небольшой мощности	120
Богославчик П. М. Местные деформации в нижнем бьефе при работе резервного водосброса	124
Стриганова М. Ю., Шаталов И. М., Щербакова М. К., Бандолик Н. Н., Дмитриченко А. С. К вопросу об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося движения потока воды в открытом русле в условиях высокогорья	128
Стриганова М. Ю., Шаталов И. М., Щербакова М. К., Бандолик Н. Н., Дмитриченко А. С. Математическая модель неустановившегося движения потока воды при прорыве напорных гидротехнических сооружений	134
Афанасьев А. П., Хвилько К. В., Кособуцкий А. А. Технология сепарации пульпы с винтовой структуризацией потока в нагнетательной линии земснарядного грунтового насоса.....	139

Качанов И. В., Власов В. В., Ленкевич С. А. Инновационные технологии получения биметаллического инструмента..... 142

Немеровец О. В., Евдокимов В. А. Лабораторные исследования размыва грунтовой плотины при переливе через гребень..... 146

Повколас К. Э. Расчетное обоснование способа виброизоляции фундамента под машину с вертикальными динамическими нагрузками путем их передачи на глубоко расположенные несущие слои грунта 150

Немеровец О. В., Ивашечкин В. В., Веремеюк В. В. Определение границ затопления нижнего бьефа гидроузла при пропуске расходов половодья 154

Крицкая В. И., Ивашечкин В. В., Шейко А. М., Назаров И. И. Методика расчета снижения энергопотребления на водозаборах подземных вод в результате регенерации скважин и замены закольматированных трубопроводов 158

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А. Применение контура циркуляции для последовательно-параллельного преобразования оптической информации..... 164

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А. Оптическое запоминающее устройство циркуляционного типа 168

Savchuk G. K., Yurkevich N. P. Studies of the correlation between superconducting transition temperature and anion defectivity in thallium-based ceramics 172

Yurkevich N. P., Savchuk G. K., Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B. Studying the magnetic field of a multilayer solenoid in the laboratory physics workshop 176

Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B., Yurkevich N. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply 181

Попко С. В., Бибик А. И., Петренко С. И. Эффективность программированного контроля знаний студентов по физике с учетом инновационных технологий	185
Бибик А. И., Попко С. В. Определение наиболее эффективного метода измерения скорости распространения звуковых волн в твердых и газообразных телах для обучения студентов строительных специальностей	188
Кириленко А. И., Межинская А. С. Лазерное сканирование пространства и проблема сложения движений.....	192
Кириленко А. И. Актуальные экологические проблемы авиации	197
Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В. Разработка методов контроля свойств объектов в импульсных магнитных полях.....	202
Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В., Зыков Г. Л. Влияние параметров преобразователей магнитного поля на результаты контроля свойств объектов.....	207
Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В. Распределения отраженных и прошедших через металл импульсных магнитных полей локального источника.....	213

ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Мартысюк Н. П. Роля вучэбнага тэксту па замежнай мове ў фарміраванні экалагічнага мыслення будучага спецыяліста (з пазіцый маўленнезнаўчага падыходу).....	220
Мартысюк Н. П., Гаўрылава В. А. Стратэгіі неканфліктнага ўзаемадзеяння ўдзельнікаў інжынернага адукацыйнага працэсу	224
Крюкова Л. А. Особенности формирования иноязычного профессионального тезауруса студентов архитектурных специальностей.....	227

Пытко В. В. Национальная потребность в формировании экологического мировоззрения будущего специалиста на уроках иностранного языка.....	231
Муха О. Ю. Формирование эколого-коммуникативной компетенции студентов технического вуза средствами иностранного языка.....	234
Пятецкая О. Ю. Условия совершенствования экологической компетентности будущего специалиста средствами дисциплины «Иностранный язык»	236
Fomicheva T. P. Education for Sustainability.....	239
Янушкевич Л. М., Трухан Е. В. Формирование экологической компетенции будущих специалистов деревообрабатывающей промышленности средствами учебной дисциплины «Иностранный язык (английский)»	241