

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра «Гидротехническое, энергетическое строительство,
водный транспорт и гидравлика»**

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В
ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Материалы студенческой научно-технической
конференции**

**в рамках 19-й Международной научно-практической
конференции «Наука - образованию, производству, экономике»**

13-14 декабря 2021 года

**Минск
БНТУ
2022 г.**

Редколегия:

Ивашечкин В. В., Качанов И. В., Богославчик П. М., Казьмирук И. Ч.,
Повкалас К. Э., Линкевич Н. Н., Власов В. В.

Составители:

Качанов И.В., Власов В.В.

В сборнике представлены материалы студенческой научно-технической конференции «Современные направления в проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных и энергетических объектов», посвященные анализу современных подходов к проблемам развития гидротехнического и энергетического строительства, водного транспорта и гидравлики, путях повышения эффективности образования, науки и производства, привлечение молодежи к научной и практической деятельности. Сборник ориентирован на студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей средних и высших учебных заведений, научных сотрудников и специалистов, занимающихся вопросами и проблемами развития гидротехнического и энергетического строительства, водного транспорта и гидравлики, поиском повышения эффективности технического образования, науки, производства и эксплуатации.

© Белорусский национальный
технический университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

- Качанов И. В., Шаталов И. М., Хвитько К. В., Шкрабкова Н.В., 6
Мосейко Д., Ермакова А. «Технология сепарации пульпы в
нагнетательной линии грунтового насоса земснаряда при
проведении дноуглубительных работ на водотоках Республики
Беларусь»;
- Качанов И. В.; Ключников В. А., Рапинчук Д.В., Андреев В.О., 8
Кишкевич А. «Компьютерное моделирование и
экспериментальные исследования 3D-моделей корпусов
мелкосидящих буксирных теплохода (МБТ) в гидродинамическом
лотке»;
- Качанов И. В., Шаталов И. М., Денисов В.А., Чайчиц И.В., 11
Капуза М.А. «Теоретические и экспериментальные исследования
инновационной технологии реверсивно-струйной очистки судовых
поверхностей от коррозии»;
- Шаталов И. М.; Щербакова М. К., Смагин И.А., Лыш А., 15
Пришивалко В. «Разработка методики определения размеров зон
вредного влияния земснаряда при проведении дноуглубительных
работ на водотоках (реках и каналах) Республики Беларусь»;
- Качанов И. В., Щербакова М. К., Абрамович И., Климович В., 19
Комзолова Д. «Развитие внутреннего водного транспорта в
Республики Беларусь»;
- Качанов И.В., Шаталов И.М., Ковалевич В. С. «Инновационная 22
технология реверсивно-струйной очистки лопастей гребных
винтов»;
- Качанов И.В., Быков К.Ю., Шаталов И.М., Ленкевич С.А., 23
Рапинчук Д.В., Андреев В.О. «Перспективы изготовления
дорожных резцов методом скоростного, горячего выдавливания»;
- Черняк С.Н., Юрчик Е.В. «Очистка сточных вод на 25
предприятиях молочной промышленности»;
- Развенкова А.Ю., Горох Е.С. «Инновационные метода 29
обработки и использования осадка бытовых сточных вод»;
- Качанов И.В., Власов В.В., Лаппо С.А. «Оптимизация силового 33
режима при скоростном ударном выдавливании биметаллических
стержневых изделий»;
- Кочергин А.Ю., Левицкий А.А., Ивашечкин В.В. «Применение 35
взрывной камеры с воздушным колпаком для повышения
эффективности газоимпульсно-реагентной обработки фильтров»;
- Н.Н. Линкевич, С.С. Копаченя «Мероприятия по 38
экологическому обустройству территории объектов реконструкции
мелиоративных систем»;
- Медведева Ю.А., Сацута Е.С. «Перспектива сооружения 42
скважины в санатории Политехник для хозяйственно-бытовых
нужд»;

Курчевский С. М., Стафинцов А.А., Турко Р.И. «Основные причины деформации зданий и сооружений на насыпных грунтах»	46
Браим Д. Н., Качанов И.В. «Создание энерго-эффективного барже-буксирного состава на воздушной каверне для мелководных рек Республики Беларусь»;	49
Цветкова О.В, Ямшанов И.В. «Восстановление и развитие городских водных и приакваториальных объектов»;	52
Немеровец О.В., Барило А.К., Бышинский В.В. «Лабораторные исследования размыва грунтовой плотины при переливе через гребень»;	55
Немеровец О.В., Немченя Р. «Применение ГИС технологий для прогнозирования затопления территорий в нижнем бьефе гидроузла»;	58
Повкалас К.Э. «Способ виброизоляции промышленной установки внутри промздания»;	59
Казьмирук И.Ч., Левицкий А.А., Хрущик И. Д. «Роль фильтров дрен в системах сельскохозяйственного дренажа»;	63
Яковлев Е.А., Казьмирук И.Ч. «Конструкции береговых креплений земляных откосов магистральных каналов на мелиоративной сети»;	65
А.А. Левицкий, В. И. Селезнев «Расчет объема котлована по координатным точкам»;	68
Качанов И.В., Ленкевич С.А., Ковалёнок Н.А., Быков К.Ю., «Теоретическое исследование скоростного пластического течения металла в процессе изготовления дорожных резцов»;	71
Шаталов И.М., Щербакова М.К., Комзолова Д.С., Смагин И.А., «Теоретическое исследование неустановившегося движения потока при прорыве напорных гидротехнических сооружений в условиях высокогорья»;	75
Качанов И.В., Шаталов И.М., Денисов В.А., Ковалёнок Н. А, «Некоторые результаты промышленных испытаний образцов металлических поверхностей после реверсивно-струйной очистки их от коррозии»;	79
Качанов И.В., Ключников В.А., Рапинчук Д.В., Максимович А.В. «Экспериментальное исследование воздействия гидродинамических факторов на варианты конструктивных параметров корпуса несамоходного судна (НС)»;	83
Качанов И.В., Хвитько К.В., Шкрабкова Н.В., Калиновский И.В. «О сепарации пульпы в нагнетательной линии грунтового насоса земснаряда»;	86
Копаченя С.С., Линкевич Н.Н. «Необходимость в водоотводных и дренажных устройствах при строительстве дорог»;	88
Курчевский С.М., Симака А.А. «Заиление трубопроводов на мелиоративных насосных станциях: методы очистки и профилактики»;	93

Курчевский С.М., Симака А.А. «Применение структурообразователей почвы при реконструкции мелиоративных систем»;	97
Мосейко Д.В., Пришивалко В.А. «Методика лабораторных исследований по разрушению грунтовой однородной плотины»;	98
Казьмирук И.Ч., Ходас Н.А. «Пути решения проблемы энергетической безопасности Республики Беларусь»;	104
Казьмирук И.Ч., Яковлев Е.А. «Влияние инфильтрационных процессов на устойчивость откосов каналов»;	107
Митрахович А.И., Казьмирук И.Ч. «Принципы проектирования параметров выборочного дренажа»;	109
Яковлев Е.А., Казьмирук И.Ч. «Управление уровнями грунтовых вод с помощью увлажнительного шлюзования»;	114
Богославчик П.М., Амбражевич О.В., Леонов Д.А., «Фильтрационное давление при расчете устойчивости откосов грунтовых плотин»;	117
Качанов И.В., Власов В.В, Лаппо С.А., Ковалёнок Н.А., «Технология скоростного горячего выдавливания многоступенчатого биметаллического инструмента».	121

Н.В. Шкрабкова, Д.В. Мосейко, А.О. Ермакова
Научные руководители: И.В. Качанов, К.В. Хвилько
Белорусский национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЯ СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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 [1–3]. В организациях внутреннего водного транспорта Республики Беларусь эксплуатируется около 30 таких машин. Дополнительно указанные земснаряды выполняют работы по добыче песка со дна рек и озер для обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.

В связи с вышеизложенным на кафедр «ГЭСВТГ» БНТУ были выполнены НИР в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве № ГР 20091513 от 10.07.2009 в котором активное участие приняли студенты специальности 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство».

Объектом исследования являлась технология и устройство для сепарации пульпы при проведении дноуглубительных работ на речных фарватерах.

Цель работы – разработка инновационной технологии сепарации пульпы в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса земснаряда.

В результате проведенных компьютерных, лабораторных и натурных исследований была разработана инновационная технология сепарации пульпы (ТСП) в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса и определено оптимальное поперечное сечение, которым является овальное [4]. Использование овальных сечений на плавных поворотах трубы грунтового насоса приводит к существенному снижению (в 1,5 и более раз), гидравлического сопротивления этой трубы, что в свою очередь серьезно снижает энергозатраты на подачу пульпы (20–30% меньше) и повышает эффективность работы землесосного снаряда.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: применение овального сечения на поворотах нагнетательной трубы позволит реализовать ТСП в реальных (натурных) условиях при напоре $H = 27$ м; подаче

$Q = 0,38 \text{ м}^3/\text{с}$, при этом на реализацию ТСП необходима мощность $N = 175,7 \text{ кВт}$, а расход топлива для нормальной работы двигателя составит 27 л/час.

Результаты проведенных исследований были использованы в РУЭСП «Днепробугводпуть» при разработке новой конструкции нагнетательного трубопровода с сепаратором пульпы грунтового насоса, установленного на земснаряде при добыче речного песка в районе г. Пинска и г. Бобруйска.

Проведенный комплекс исследовательских работ позволил сделать следующие заключения:

1. В выполненной работе дан подробный анализ литературных и патентных источников по рассматриваемой теме;

2. Разработана конструкция лабораторного стенда и произведен его монтаж в составе 4-х камер переменного сечения (объемом 1 м^3) для измерения расхода;

3. Разработана методика регистрации осредненных местных скоростей в заданной точке напорного потока и проведены лабораторные исследования нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда [5–6];

4. Установлено влияние геометрических и гидродинамических параметров на характер изменения эпюры осредненных скоростей по сечению камеры различной конфигурации (круглой, овальной, каплевидной и трапецевидной);

5. Каплевидная и овальная формы сечения трубы рекомендованы как оптимальные для разработки делительной камеры устройства, предназначенного для осуществления технологии сепарации пульпы на земснарядах, занятых процессом дноуглубительных работ и попутной добычей песка для строительных нужд на реках Республики Беларусь;

6. На основании литературно-информационных, компьютерных, лабораторных и натурных исследований разработана, запатентована и внедрена инновационная технология сепарации пульпы и конструкция сепаратора для ее осуществления в РУЭСП «Днепробугводпуть»;

7. Анализ результатов, проведенных компьютерных, лабораторных и натурных исследований плавных поворотов различных поперечных сечений нагнетательной трубы грунтового насоса позволил определить оптимальное поперечное сечение, которым является – овальное.

8. Использование овальных сечений на плавных поворотах трубы грунтового насоса приводит к существенному снижению (в 1,5 и более раз), гидравлического сопротивления этой трубы, что в свою очередь серьезно снижает энергозатраты на подачу пульпы (на 20–30% и больше) и повышает эффективность работы землесосного снаряда.

9. Установлено, что применение овального поперечного сечения на поворотах нагнетательной трубы позволит реализовать технологию сепарации пульпы (ТСП) в реальных (натурных) условиях при напоре $H = 27$ м; подаче $Q = 0,38$ м³/с., при этом на реализацию ТСП необходима мощность насоса $N = 175,7$ кВт, а расход топлива для нормальной работы двигателя составит 27 л/час, что в 1,5 раза меньше чем на реализацию обычной схемы ТСП (с круглым поперечным сечением поворотного сепаратора пульпы).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жученко, В.А. Новая технология гидромеханизированной добычи и переработки грунтов / В.А. Жученко. – М.: «Стройиздат», 1973. – С. 206–215.
2. Карасик, В.М. Напорный гидротранспорт песчаных материалов / В.М. Карасик // Киев: Навукова Думка, 1966. – С.77–102.
3. Каталог продукции. ExportBY: Грунтовые насосы типа ГРАУ [Электронный ресурс] / Производитель ОАО «Бобруйскмашзавод», Бобруйск, 2016.
4. Способ и устройство для сепарации пульпы: пат. 21972 Республика Беларусь, МПК E 02F 3/88 / И.В. Качанов; А.А. Кособуцкий; А.П. Афанасьев; И.М. Шаталов; заявитель Белорусский национальный технический университет. – а 20160012; заявл. 13.01.2016.; опубл. 30.18.2017.
5. Силин, Н.А. Построение профиля осредненной продольной скорости во взвешенном потоке / Н.А. Силин // Гидротранспорт. – Киев «Навукова думка», С. 124–126.
6. Прозоров, И.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учеб. пособие для строит. Вузов / И.В. Прозоров, Г.И. Николадзе, А.В. Минаев. – М.: Высш. школа, 1991. – 448 с.

УДК 629.55

Д.В. Рапинчук, В.О. Андреев, А.С. Кишкевич

Научные руководители: В.А. Ключников; С.А. Ленкевич

Белорусский национальный технический университет

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДА (МБТ) В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

Вода для корабля – родная стихия, но слишком вязкая. Суда могут иметь почти неограниченную грузоподъемность, несравнимую ни с каким другим

видом транспорта, но точно так же по скорости они практически всем видам уступают. Чтобы заставить судно двигаться быстрее, надо тратить много энергии, делать более прочный корпус.

При создании новых судов конструкторы всегда стремились обеспечить наибольшую экономичность хода, с целью меньшего потребления топлива, чем у судов предшественников [1].

Суда на воздушной каверне, скользящие на воздушной смазке, как раз и являются тем самым экономичным плавсредством [2].

Активное развитие судов на воздушной каверне началось относительно недавно, но успешные испытания в лабораторных условиях постепенно реализовались в концепцию воздушной каверны для создания полномасштабных речных судов [3].

Реализация явления воздушной каверны обусловлена определенной геометрией днища, выполненного в виде небольшого углубления. Благодаря системе подачи воздуха в углубление создается воздушная прослойка, которая выполняет роль воздушной смазки, снижая гидродинамическое сопротивление. Главным недостатком данного способа движения является то, что суда на воздушной каверне обладают невысокой мореходностью из-за тенденции к «смыванию» образовавшегося воздушного слоя [4]. Однако принцип воздушной каверны способен дать значительный экономический эффект при реализации его на речных судах различного назначения.

Воздушные каверны целесообразно применять для увеличения скорости полного хода при сохранении мощности двигателей. Кроме того, технология воздушной каверны позволяет не только увеличить скорость судна, но и снизить расход топлива как минимум на 15 процентов.

Необходимо подчеркнуть, что снижение потребной мощности главного двигателя при создании каверны обусловлено не только уменьшением гидродинамического сопротивления корпуса, но и повышением пропульсивного коэффициента за счет более высокого КПД винта (благодаря его меньшей нагрузке по упору) [5].

В перспективе идея уменьшения сопротивления способом применения воздушной каверны была бы особенно полезна для тихоходных грузовых судов, а также для буксирных теплоходов Белорусского речного флота, эксплуатация которых, особенно в летний период, характеризуется прохождением через многочисленные мелководные участки, формируемые на белорусских реках.

В связи с вышеизложенным на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ в рамках научно-исследовательского договора х/д 2241/18б была выполнена и внедрена в реальное производство и учебный процесс БНТУ работа по «Разработке

рекомендаций по повышению эффективности функционирования движительно-рулевых комплексов мелкосидящих буксирных теплоходов, эксплуатируемых на внутренних водных путях Республики Беларусь» с ОАО «Белсудопроект» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Объектом проведенных исследований являлись 3D модели корпуса буксирного теплохода с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища и без рецесса и подачи воздуха.

Предмет исследования – гидродинамические характеристики и силовое воздействие потока воды на 3D модели корпуса судна (буксирного теплохода) с рецессом и различной системой подачи воздуха в днище со скегами и без скег, и без рецесса и подачи воздуха.

Цель исследования – проанализировать, определить и сравнить основные гидродинамические характеристики и параметры силового воздействия потока воды на 3D модели корпуса судна с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища со скегами и без скег, и без рецесса и подачи воздуха.

При проведении исследований был разработан и сконструирован универсальный экспериментальный стенд на базе гидродинамического лотка кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ для экспериментальных исследований 3D моделей корпуса буксирного теплохода с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища со скегами и без них, и без рецесса и подачи воздуха; разработана универсальная методика проведения экспериментальных гидродинамических исследований и проведены лабораторные исследования в гидродинамическом лотке 3D моделей корпуса судна (буксирного теплохода) с различными конструктивными элементами (корпуса с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища со скегами и без них, без рецесса и подачи воздуха).

Полученные результаты были подвергнуты компьютерному сбору и обработке, анализу и сравнению [6–7].

В результате проведения исследований было установлено, что воздушная каверна под днищем корпуса судна позволяет стабильно снизить гидравлическое сопротивление на 10–15 % по сравнению с корпусом судна без каверны; при этом во избежание проскакивания воздуха по боковой поверхности судна необходима установка боковых скег, высота которых зависит от величины расхода Q и давления p , подаваемого в каверну воздуха; величина снижения гидравлического сопротивления зависит от характеристик Q – p подаваемого в каверну воздуха; оптимальной системой подачи воздуха является трубчато-перфораторная, а наиболее простой в изготовлении –

блочно-пакетная. При создании воздушной каверны под днищем судна возникает дополнительная выталкивающая сила, которая исключает «присасывание» или «прилипание» днища судна к дну водотока (реки) на отметках или участках с минимальной глубиной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбачев, Ю.Н. Как доступными средствами повысить энергоэффективность и экологическую безопасность речного флота / Ю.Н. Горбачев, А.С. Буянов, А.В. Сверчков. – Ж.: «Речной транспорт», № 6, 2014.
2. Пустошный, А.В. Экспериментальные исследования и проектные проработки по применению воздушных каверн на судах смешанного плавания / А.В. Пустошный, А.В. Сверчков, Ю.Н. Горбачев. – Труды «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», вып. 69 (353), 2012.
3. Технология воздушной каверны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://korabley.net/> (дата обращения – 15.10.19).
4. Басин, А.М. Управление пограничным слоем судна. / А.М. Басин, А.И. Короткин, Л.Ф. Козлов. – Л-д: «Судостроение», 1968.
5. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика: механика турбулентности. А.С. Монин, А.М. Яглов. – часть 1: М.: Наука, 1965. – 640 с.
6. Ferziger, J. Computational Methods for Fluid Dynamics. – Berlin: Springer, 2002. – 431 p.
7. Blazek, J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. – Elsevier, 2001. – 440 p.

УДК 669:620.197

В.А. Денисов, М.А. Капуза, И.В. Чайчиц

Научные руководители: И.В. Качанов, И.М. Шаталов
Белорусский национальный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

Одним из направлений повышения производительности и улучшения условий труда при очистке корпусов судов от коррозии на предприятиях водного транспорта РБ является использование метода гидроабразивной очистки (ГАО). Процесс очистки состоит в эрозионном воздействии высокоскоростной водяной струи и твердых абразивных частиц на обрабатываемый материал, требующий больших затрат энергии. Вода при

этом выполняет лишь функцию носителя. В основе гидроабразивного метода, широко используемого в последнее время, лежит комбинированный механизм очистки, хрупкого и усталостного разрушения и местного оплавления [1]. Обработка осуществляется за счет определенного количества отдельных «съемов» материала, вызываемых ударением в него твердых частиц. Скорость процесса эрозии зависит от кинетической энергии формы частиц, угла атаки потока, механических свойств очищаемого материала. Сущность метода состоит в том, что в рабочую зону очистки под большим давлением подают водно-песчаную смесь (пульпу). В аппаратах ГАО интенсивное смешивание песка с водой происходит в смесительном сопле. Для предотвращения интенсивного окисления очищаемой поверхности на завершающей стадии процесса в рабочую жидкость добавляют (до 2% по объему) антикоррозийный раствор. Производительность ГАО до чистого металла может составлять до 45–60 м²/час.

Однако, отрицательным моментом рассмотренной технологии следует считать неполное использование кинетической энергии струи жидкости, взаимодействующей с преградой. Растекающаяся в результате взаимодействия с преградой струя в ряде случаев может вызвать поражение обслуживающего персонала и за счет выноса из рабочей зоны продуктов коррозии и загрязнений оказывает негативное воздействие на окружающую среду [2].

Для устранения отмеченных недостатков, с одновременным повышением производительности труда предлагается при очистке, использовать реверсивно-струйное течение жидкости относительно обрабатываемой поверхности [3]. Для получения такого течения сопловый блок помещается в корпус, который позволяет произвести разворот струи на 180° и тем самым более полно использовать кинетическую энергию струи, увеличивая силовое воздействие на обрабатываемую поверхность ориентировочно на 70–80%. Кроме того, устройство, использующее реверсивную струю рабочей жидкости, позволяет решить вопросы по сбору жидкости после проведения очистки поверхности и отправить ее на регенерацию [4–6].

Однако объем современных теоретических и экспериментальных исследований, связанных с таким методом воздействия струи на преграду, является крайне недостаточным. Отсутствуют теоретические зависимости, позволяющие прогнозировать силовое воздействие струи на преграду с учетом кинематических параметров потока жидкости и механических свойств разрушаемых коррозионных отложений. Отсутствуют рекомендации по разработке конструкции соплового устройства, предназначенного для

осуществления технологии инновационной реверсивно-струйной очистки поверхности от загрязнения.

Одним из основных направлений повышения энергоэффективности и производительности процесса реверсивно-струйной очистки судовых стальных поверхностей является оптимизация параметров очистки, заключающаяся в подборе ее основных параметров (расход жидкости, параметров сопел, соотношения диаметров струи и корпуса и т.д.). Для решения поставленной задачи были проведены теоретические и экспериментальные исследования инновационного процесса реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей, а также разработана методика расчета основных параметров, влияющих на процесс инновационной реверсивно-струйной очистки судовых стальных поверхностей.

В связи с вышеизложенным на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ в рамках студенческого гранта Министерства образования Республики Беларусь ГБ 12-12 №20120807 и договоров о научно-техническом сотрудничестве №02-07 от 04.07.2017 г. с СООО «Элизер», а также №37 от 09.07.2018 г. с ООО «Амкодор Можя» выполнялась работа по теме «Разработка технологии реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии», которая была внедрена в реальное производство на предприятиях водного транспорта, Министерства транспорта и коммуникации РБ и учебный процесс БНТУ.

В этой работе объектом исследования являлась новая технология реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии, а предметом исследования – энергоэффективное устройство для формирования реверсивной струи, воздействующей на преграду.

Цель работы – разработать современную отечественную инновационную технологию реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии; провести теоретические и экспериментальные исследования по определению величины давления от воздействия реверсивной струи рабочей жидкости на плоскую металлическую поверхность.

В результате выполненных исследований разработана конструкция нового струеформирующего устройства, обеспечивающая повышение силового воздействия на обрабатываемую поверхность за счет реверсивного разворота струи рабочей жидкости; получены патенты Республики Беларусь на изобретение [4–6]; проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению величины давления рабочей жидкости на обрабатываемую поверхность при реверсивно-струйной очистке (РСО).

Проведены промышленные испытания установки инновационной реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей на

производственной базе «Элизер» (г. Минск) на лазерном комплексе Nurer Gear 510 (Япония).

При выполнении НИРС были получены следующие результаты:

1. Разработана новая конструкция струеформирующего устройства, обеспечивающая повышение силового воздействия на обрабатываемую поверхность за счет реверсивного разворота струи рабочей жидкости, что позволяет реализовать процесс РСО с пониженными энергозатратами при производстве очистных работ с одновременным повышением культуры производства [4–6];

2. Разработана математическая модель для расчета силового воздействия реверсивной струи на преграду, состоящую из слоя коррозионных отложений [2].

3. В результате проведенных экспериментальных исследований были получены результаты по нахождению минимального давления разрушения, которые хорошо согласуются с теоретической зависимостью для расчета давления в точке соударения реверсивной струи с преградой, которая учитывает механические свойства разрушаемого материала, а также кинематические параметры струи [3];

4. Анализ данных, полученных в результате теоретического и экспериментальных исследований, показывает, что минимальное значение давление разрушения слоя коррозии составляет $p = 9$ МПа при коэффициенте обжатия струи $\lambda = 0,063$;

5. На основании полученных результатов предложено принимать в качестве критерия коэффициент обжатия струи λ , что позволяет прогнозировать минимальное давление разрушения слоя коррозии и, установив для данного λ величину струйного давления $p_{\text{стр}}$, корректно подбирать насосно-силовое оборудование для очистки металлических поверхностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кошелев, А.А. Технологии и оборудование для автоматизированной гидроабразивной обработки деталей / А.А. Кошелев, Л.А. Эйзнер // Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. – Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1981.

2. Качанов, И.В. Теоретические исследования процесса реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии / И.В. Качанов, А.Н. Жук, В.А. Ключников, А.А. Кособуцкий, И.М. Шаталов, В.С. Ковалевич, Е.В. Качанова // Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja – 2018», Volume 2 Przemysł: Nauka i studia. – 84 s.

3. Качанов, И.В. Результаты исследований процесса реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии / И.В. Качанов, А.Н. Жук, А.В. Филипчик, В.В. Пармон, Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Качанова Е.В. // Materials of the XIII International scientific and practical Conference «Fundamental and applied science – 2018»: Sheffield. Science and education LTD -116 p.

4. Устройство для очистки от коррозии плоских стальных поверхностей: пат. 16526 Республика Беларусь, МПК В 08В 3/00, В63В 59/08 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, И.М. Шаталов, В.Н. Шарий, С.О. Мяделец; опубл. 12.05.2010

5. Способ создания кавитирующей струи жидкости: пат. 13312 Республика Беларусь, МПК В 08В3/04 / И.В. Качанов, В.Н. Яглов, В.К. Недбальский, А.В. Филипчик. – № а 20081284, заявл. 14.10.2008; опубл. 26.03.2010 г.

6. Способ создания кавитирующей струи жидкости: пат. 14239 Республика Беларусь, МПК В 08В3/04 / И.В. Качанов, В.В. Недбальский, И.М. Шаталов, А.В. Филипчик (РБ). – № а 20090681, заявл. 12.05.2009; опубл. 30.12.2010.

УДК 627.8-1

И.И. Смагин, А.В. Лыш, В.А. Пришивалко

Научные руководители: И.М. Шаталов; М.К. Щербакова

Белорусский национальный технический университет

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗОН
ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ЗЕМСНАРЯДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ**

В Республике Беларусь на больших и средних водотоках (реках и каналах) постоянно проводятся дноуглубительные работы с целью организации бесперебойного движения водного транспорта и работы по добыче сыпучих строительных материалов (песка, гравия и т.д.). Вышеуказанные работы связаны с постоянной эксплуатацией землесосных снарядов (земснарядов). При работе земснарядов (особенно при их включении) происходит интенсивное взвешивание частиц грунта, слагающих русло водотока. Далее взвешенные частицы переносятся потоком воды вниз по течению водотока (реки или канала), оказывая вредное воздействие на объекты животного мира и (или) среду их обитания и создавая экологические чрезвычайные ситуации.

За гибель ихтиофауны, снижение ее численности и продуктивности (прироста) при утрате или нарушении среды обитания, вследствие проведения дноуглубительных работ (и работ по добыче сыпучих стройматериалов) на водных объектах, предусмотрены компенсационные выплаты в соответствии с «Положением о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении».

Размер компенсационных выплат зависит (в том числе) от размеров зон вредного влияния. Для определения размеров зон вредного влияния необходимо в первую очередь рассчитать расстояние, на котором будут выпадать на дно взвешенные частицы от места расположения земснаряда.

В связи с вышеизложенным на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ в рамках х/д №4532/18с от 31 октября 2018 г. с ОАО «Белсудопроект» силами студенческого ВНК «Гидротранспорт» №204с от 1 ноября 2018 г. выполнялась работа и была внедрена в реальное производство и учебный процесс БНТУ.

В этой работе объектом исследования являлся взвесенесущий речной поток, предмет исследования – транспортирующая способность взвесенесущего потока.

Цель исследования – на основе современных теоретических и эмпирических методов определения основных параметров взвесенесущего речного потока разработать методику определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на водотоках (реках и каналах) Республики Беларусь для создания оптимальной методики расчетов размеров зон вредного влияния земснаряда на окружающую водную среду.

В результате выполнения НИР были разработаны 3 (три) методики определения (расчета) расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на реках и каналах Республики Беларусь для создания оптимальных экологических экспериментов земснаряда без возникновения экологических чрезвычайных ситуаций.

Первая методика (№1) определения (расчета) расстояния выпадения на дно взвешенных частиц основана на использовании теории турбулентной диффузии и графоаналитическом решении системы уравнений турбулентной диффузии с конечной скоростью [1]. Эта методика является основной и обобщенной и позволяет определить среднее значение расстояний выпадения на дно взвешенных частиц с определенным процентным содержанием их в потоке воды и с определенной гидравлической крупностью взвешенных частиц. Применение этой методики ограничено возможностями

графоаналитического решения системы уравнений турбулентной диффузии с конечной скоростью.

Вторая методика (№2) определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц основана на использовании эмпирической теории движения наносов [2]. Эта методика позволяет определять расстояние, на котором произвольно взятая частица любых размеров и гидравлической крупности падает на дно. Однако эта методика не учитывает основные геометрические и гидродинамические параметры самого русла водотока и дает завышенные расстояния выпадения взвешенных частиц.

Третья методика (№3) определения (расчета) расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта основана на использовании теории расчета гравитационных отстойников. Это методика использует осредненные параметры взвесенесущего потока; она достаточно проста в использовании, даёт ориентировочные значения расстояний выпадения взвешенных частиц, которые неплохо коррелируют с данными расчета по методике №1. При невозможном использовании методики №1 методика №3 может быть взята за основную. В противном случае используется методика №2.

Результаты работы были использованы в расчетах размеров зон вредного влияния земснаряда на окружающую водную среду внедрены в учебном процессе БНТУ, а также на предприятиях водного транспорта Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь: ОАО «Белсудопроект» и РУП Днепро-Двинское ПВП «Белводпуть», а также на участках рек Березина, Сож, Неман и Днепр.

Результаты, полученные при выполнении НИР «Разработка методики определения (расчёта) расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ на водотоках (реках и каналах) Республики Беларусь» для создания оптимальных условий судоходства позволяют сделать следующее заключение:

1. На основе теории турбулентного массопереноса и турбулентной диффузии была разработана основная методика №1 по определению расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на водотоках РБ, позволяющая с достаточной точностью определить графоаналитическим методом искомые расстояния и размеры зоны вредного воздействия. Однако применение этого метода ограничено возможностями графоаналитического метода решения системы уравнений турбулентной диффузии с конечной скоростью [1]. Эта методика дает достоверные данные по значениям

расстояний выпадения взвешенных частиц при относительной гидравлической крупности $w_r = 0,1 \div 5$.

2. Эмпирическая теория движения наносов [2] позволила разработать вспомогательную методику №2 определения расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на водотоках РБ, которая учитывает основные параметры взвешивающего паточка такие, как мутность потока по его глубине, средняя скорость движения взвесенесущего потока, размеры и количество наносов и т.д. Однако применение этого метода в основном связано с определением расстояния, на котором любая произвольно взятая частица падает на дно. Методика №2 не учитывает влияние самого русла (его геометрических и гидродинамических характеристик) на взвесенесущий поток и дает значительное завышение расстояний выпадения на дно взвешенных частиц.

3. Анализ теории расчета гравитационных отстойников [3] дал возможность разработать сокращенную методику №3 определения (расчёта) расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта. В основу этой методики положено использование осредненных параметров взвесенесущего потока (средней глубины и скорости движения потока, его мутности и гидравлической крупности частиц, слагающих русло водотока). Метод №3 применим при отсутствии детальных (подробных) данных о водотоке, хорошо коррелируется с методикой №1 и может использоваться в инженерных расчетах после методики №1 (в случае ее неприменимости).

Следует отметить, что все три разработанных метода были использованы при расчете размеров зоны вредного воздействия. Очередность использования методик: методика №1, методика №3, методика №2. Очередность использования методик должна быть обязательно увязана (согласована) с типом водотока, его основными геометрическими и гидродинамическими параметрами, с гранулометрическим составом взвеси и его гидравлической крупностью, и климатическими факторами (например, температурой воды, ветровым воздействием и т.д.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учеб. пособие / А.Д. Гиргидов – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2007. – 545с.
2. Богомолов, А.И. Гидравлика: учеб. пособие / А.И. Богомолов; К.А. Михайлов. – Москва: Стройиздат, 1972. – 648с.

3. Железняков, Г.В. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Г.В. Железняков, Ю.А. Ибад-Ззаде; под ред. В.П. Недриги. – Москва: Стройиздат, 1983. – 544с.

УДК 656.621/.626

И.В. Абрамович, В.А. Климович, Д.С. Комзолова
Научные руководители: И.В. Качанов, М.К. Щербакова
Белорусский национальный технический университет
**РАЗВИТИЕ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Современный транспорт представляет собой единую транспортную систему, включая мощную сеть железнодорожных, речных, автомобильных, воздушных, трубопроводных городских и промышленных коммуникации.

Неотъемлемым элементом транспортной отрасли Республики Беларусь выступает речной (внутренний водный) транспорт – вид транспорта, на котором перевозки пассажиров, грузов и багажа выполняются по внутренним водным путям с использованием судов внутреннего плавания, судов смешанного (река – море) плавания и маломерных судов. Данный вид транспорта обеспечивает перевозки грузов в районах, непосредственно тяготеющих к внутренним водным путям, а также смешанные перевозки внешнеторговых грузов.

В Республике Беларусь около 2 тысяч километров водных путей. Перевозки осуществляются по таким рекам, как Днепр, Припять, Березина, Западная Двина, Сож, Неман, а также Днепро-Бугский канал. Внутренние водные пути расположены в трех обособленных речных бассейнах рек: Днепр, Западная Двина, Неман. Вся длина путей на данный момент составляет приблизительно 2 тыс. км.

В их состав входит также Днепро-Бугский канал протяженностью 243,2 км, который соединяет реки Мухавец и Припять.

Место и роль водного транспорта в единой транспортной системе страны во многом определяется его технико-экономическими особенностями. К важнейшим из них относятся:

- большая провозная способность транспортных средств;
- большая пропускная способность водных путей;
- сравнительно небольшие капитальные вложения на организацию судоходства по водным путям;
- относительно низкая себестоимость движущей операции.

Помимо положительных, существуют и отрицательные особенности данного вида транспорта:

- более длительный путь движения;
- невысокая скорость движения;
- маршрут движения может не совпадать с конечным пунктом доставки груза (поэтому речной транспорт часто используется с другими видами).

Однако в целом, данные особенности характеризуют речной транспорт как одного из наиболее выгодных и перспективных для перевозки грузов.

Развитие этого вида транспорта в настоящее время является приоритетным направлением для государства, о чем свидетельствует утвержденная Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 гг. (далее – Программа), целью которой является удовлетворение потребностей экономики Республики Беларусь и населения в перевозках внутренним водным транспортом, обеспечение его устойчивого развития и повышение конкурентоспособности. Одной из важнейших задач по достижению поставленной цели является повышение результативности деятельности субъектов хозяйствования речного транспорта.

Цель научно-исследовательской работы – рассмотреть структуру водного транспорта Республики Беларусь, изучить основные социально-экономические показатели работы водного транспорта Республики Беларусь, определить пути развития водного транспорта.

Внутренний водный транспорт сегодня заметно уступает автомобильному и железнодорожному транспорту и по скорости доставки, и по возможности оперировать малыми объемами грузов, и по использованию гибких схем логистики, а также из-за сезонных ограничений. К тому же при поставке товара по воде, как правило, возникают дополнительные звенья по его перегрузке, что повышает себестоимость доставки.

Перевозить по реке можно весьма ограниченную номенклатуру грузов, – в основном насыпные, наливные и проектные. В Беларуси лишь для считанных предприятий перевозки по водным путям могут иметь экономический смысл. Это, в частности, ОАО «Беларуськалий», Мозырский НПЗ, «Гранит» (производит щебень).

Огромный потенциал водный транспорт имеет в международных перевозках для экспорта в Украину и страны Дунайского бассейна калийных удобрений, поваренной соли, металлопродукции, лесоматериалов и минерально-строительных материалов, изделий из торфа. Перспективным направлением развития перевозок водным видом транспорта, как для

Беларуси, так и для создания водного соединения между Черным и Балтийским морями, является возобновление перевозок с использованием мощностей Днепро-Бугского канала.

Стоит отметить, что в 2015–2016 годах на водных путях Республики Беларусь были отмечены аномальные гидрологические условия, повлекшие за собой невозможность осуществления перевозок по ряду участков рек и снижения объемов перевозимых грузов. Отсутствие судоходных глубин оказало влияние на выполнение сводного целевого показателя «грузооборот водного транспорта», который составил 100,4 % при задании 102,6 %.

Снижение объемов перевозок внутренним водным транспортом также связано:

- а) с недофинансированием путевых работ;
- б) с переориентацией грузопотоков на железнодорожный транспорт, тарифы на перевозку которым массовых минерально-строительных грузов значительно меньше их себестоимости.

Навигация 2017 года прошла удачней – удалось нарастить величину грузооборота.

В 2018 году на баланс принят судоходный шлюз на реке Западная Двина, построенный при возведении Витебской ГЭС. Подходит к завершению реконструкция судоходного шлюза «Рагодоц» на Днепро-Бугском канале, а также строительство причалов минерально-строительных грузов речного порта за пределами г. Бреста «Ямно».

К настоящему времени построено 4 водопропускных плотины Днепро-Бугского канала для пропуска паводковых вод на западном склоне канала. Реконструированы 4 судоходных шлюза в соответствии с европейским стандартом, что позволит значительно улучшить судоходные условия и, в перспективе, будет способствовать включению водных путей Беларуси в общеевропейскую воднотранспортную систему. Строительство шлюзов продолжается.

В Государственном судовом реестре Республики Беларусь в 2019 г. зарегистрировано 835 судов, в том числе 28 пассажирских. За 2019 год водным транспортом перевезено 200 тыс. пассажиров, а также около 2,24 млн тонн грузов.

На протяжении последних 20 лет в РБ ведется подготовка нормативно-правовой базы, регулирующей морские перевозки грузов.

Республика Беларусь является членом Международной морской организации, что в перспективе позволит реализовать имеющийся потенциал в области морского транспорта.

Ковалевич В.С.

Научные руководители: И.В. Качанов Шаталов И.М
Белорусский национальный технический университет

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ЛОПАСТЕЙ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

В настоящее время речной флот Республики Беларусь имеет на балансе десятки самоходных судов. Основным типом движителя судов технического флота и пассажирских теплоходов является гребной винт, выполненный из стали.

На разрушение гребных винтов оказывают влияние такие факторы, как коррозия, эрозия, кавитация, усталость, механические повреждения и другие факторы. Эти виды разрушения гребных винтов приводят к потере хода судна, а иногда и к аварийным последствиям. Самым распространенным и опасным разрушительным действием обладает коррозия. Коррозии обычно подвергаются гребные винты из углеродистой стали. Срок службы таких винтов незначителен и, по истечении 1,5-2,5 лет они подлежат ремонту либо замене, что приводит к значительным убыткам. Подобное влияние коррозии сказывается и на винты из чугуна. Коррозионно-эрозионные разрушения гребных винтов происходят довольно быстро на начальных этапах с мелких разъеданий лопастей как на нагнетающей, так и на засасывающей поверхностях. Разрушения распространяются на значительную площадь лопасти, имели место случаи, когда поверхности лопастей превращались в "губчатую поверхность" и из-за потери прочности отваливались. Недостаточно эффективные способы очистки, а также отсутствие технологии профилактической обработки лопастей гребных винтов делают актуальным создание новой реверсивно-струйной технологии очистки и защиты от коррозии лопастей гребных винтов.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ показали, что весьма экономично можно удалять с металлических поверхностей, в том числе и лопастей гребных винтов, продукты коррозии, используя новую технологию реверсивно-струйной очистки (РСО) [1–5]. В основу технологии РСО положен физический принцип, заключающийся в том, что струя рабочей жидкости (пульпа на основе речного песка либо бентонитовой глины) при соударении с очищаемой поверхностью разворачивается на 180° , что приводит к усилению струйного воздействия на очищаемую поверхность в 1,5-2 раза за счет возникновения реактивной составляющей [2]. Для обеспечения отмеченного разворота струи

была разработана оригинальная конструкция корпуса, отличающаяся патентной новизной [3, 4].

Технология реверсивно-струйной очистки позволяет поддерживать судходные качества гребного винта вследствие повышения эффективности его очистки, а также многократно продлить срок эксплуатации благодаря профилактической обработке лопастей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Способы очистки металлических поверхностей: пат. №21512, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/04 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, А.В. Филипчик, А.С. Исаенко; дата публ. 30.12.2017.

2. Состав рабочей жидкости для гидродинамической очистки металлических поверхностей от коррозии перед лазерной резкой: пат. №21455, Респ. Беларусь, МПК В08В 3/02; 13 08В 3/04 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, А.Н. Яглов, А.В. Филипчик; дата публ. 30.10.2017.

3. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности: пат. №16526, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/00; В 63В 59/08 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, В.Н. Шарий, Р.О. Мяделец; дата публ. 30.10.2012.

4. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности: пат №19543, Респ. Беларусь, МПК В 63В 59/08 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, И.М. Шаталов, В.Н. Шарий; дата публ. 30.10.2015.

5. Качанов, И.В. Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины / И.В. Качанов, А.В. Филипчик, В.Е. Бабич, А.Н. Жук, С.И. Ушев – Минск: БНТУ, 2016. – 168с.

УДК 531.781.2

Рапинчук Д.В., Андреев В.О. Быков К.Ю.,

Научные руководители: Качанов И.В., Шаталов И.М., Ленкевич С.А

Белорусский национальный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ МЕТОДОМ СКОРОСТНОГО, ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Дорожные резцы используются в автоматически управляемом процессе профилирования асфальтобетонного полотна путем восстановления заданного поперечного и продольного профиля, удаления бугров, выбоин, зон износа, а также других дефектов покрытия, и, в итоге, получения поверхности,

допускающей немедленное начало движения или укладку свежего покрытия [1].

Поэтому выбор резцов осуществляется, исходя из степени износостойкости и длительности рабочего ресурса. В странах СНГ, резцы для дорожной фрезы представлены оборудованием как зарубежного, так и отечественного производства. Усовершенствованная конструкция большинства современных резцов способна в разы повысить производительность фрезы и, при этом, способствовать снижению эксплуатационных затрат.

В этой связи, применение технологий основанных на высоких скоростях деформации, которые уже зарекомендовали себя в ряде исследований как высокоэффективные технологии получения точных заготовок под инструмент с повышенными механическими свойствами, для изготовления дорожных резцов, является весьма перспективным направлением исследований.

Процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания, создают эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве. В связи с тем, что высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она может быть использована как технологический процесс изготовления стержневых деталей штамповой оснастки, работающих в условиях повышенных нагрузок и износа [2].

Чтобы разработать технологический процесс изготовления биметаллического инструмента методом скоростного горячего выдавливания, необходимы информация о характере пластического течения, а также сведения об откликах системы «штамп – инструмент – деформируемый образец» на изменение технологических параметров. Для получения такой информации могут быть использованы методы экспериментального исследования и теоретического моделирования, а также их комбинация.[3]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ООО «ТурбоТехМастер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://turbotehsnab.ru/raznoe/freza-dorozhnaya-dorozhnaya-freza-klassifikaciya-osnovnyx-tipov-princip-raboty-texnicheskie-xarakteristiki.html>. – Дата доступа: 14.01.2021.
2. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание в режиме высокотемпературной механической обработки биметаллических стержневых деталей штампов = High-speed hot extrusion in high temperature mechanical

treatment mode of bimetallic rod parts of the stamps / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, В. В. Власов // *Литье и металлургия*. - 2016. – № 2 (83). - С. 93 - 98.

3. Качанов, И.В. Моделирование процесса скоростного выдавливания биметаллических резцов для дорожных машин в среде программы DEFORM-3D / И.М. Шаталов, А.А. Рубченя // *Наука и Техника*. 2018;17(3):189-203.

УДК 628.355

С.Н. Черняк, Е.В. Юрчик

Белорусский национальный технический университет

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Предприятия молочной промышленности представляют собой молокоприемные пункты и сепараторные отделения, городские молочные заводы, молочно-консервные заводы, изготавливающие сгущенное и сухое молоко, сыродельные и маслодельные заводы. На этих предприятиях образуются два вида производственных сточных вод: загрязненные и незагрязненные. Загрязненные сточные воды образуются при мойке оборудования, технологических трубопроводов, автомобильных цистерн, фляг, полов, панелей производственных помещений. Незагрязненные сточные воды образуются при охлаждении молока и молочных продуктов.

Уже на протяжении многих лет проводятся исследования по очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий различного профиля. На основании полученных данных, проведенных в опытно-промышленных условиях на реальных сточных водах, разработана безотходная технология очистки сточных вод и переработки осадка. К стадии очистки применен нетрадиционный подход: учитывая, наличие в сточных водах высоких концентраций органических загрязнений естественного происхождения, они рассматриваются как субстрат для культивирования микроорганизмов с целью накопления биомассы (осадка). Исследования показали, что образующаяся в процессе культивирования биомасса одноклеточных микроорганизмов содержит ферменты, микро и макроэлементы и может являться сырьем для получения кормовой добавки.

В качестве основного сооружения для биологической очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий обычно используют дисковые биофильтры. На базе дисковых биофильтров разработаны новые малоэнергоёмкие комбинированные сооружения: дисковые биофильтры-

отстойники; дисковые биофильтр-циркуляционные каналы; пульсационные биореакторы. Применение комбинированных сооружений позволило разработать системы очистки сточных вод для пищевых и перерабатывающих предприятий республики в зависимости от профиля, а также от требований к показателям очищенных сточных вод на выпуске.

Предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности также являются потребителями большого количества чистой воды. Сточные воды этих предприятий существенно загрязнены не только нормативными потерями сырья, но и отходами. Кроме нормативных потерь и отходов в сточные воды также частично попадают и промежуточные продукты.

Промежуточные продукты, нормативные потери и отходы также относятся к вторичным материальным ресурсам.

Современные водоохраные технологии позволяют извлекать из сточных вод и, утилизировать ценные вещества, тем самым повысить эффективность производства и исключить загрязнения окружающей среды.

При промышленной переработке молока, мяса, зерна, овощей и фруктов происходят естественные технологические потери сухих веществ и отдельных компонентов, которые строго нормируются. Их можно существенно снизить или исключить полностью путем совершенствования способов переработки сырья или их принципиального изменения. Однако в настоящее время с этими потерями приходится считаться. Рассматривая проблему безотходной и малоотходной технологии применительно к нормативным потерям, единственно правильным способом является извлечением их с последующим использованием в виде кормовых средств и технических препаратов.

Сама система водоотведения на предприятиях представляет комплекс инженерных сооружений, предназначенный для отведения сточных вод трёх основных категорий, к которым относятся бытовые, производственные и дождевые сточные воды.

Если все три категории сточных вод отводятся совместно по общей сети трубопроводов на очистные сооружения или в коммунальные системы водоотведения, то такая система называется общесплавной.

В том случае, когда бытовые сточные воды вместе с загрязнёнными производственными отводятся по отдельной сети, дождевые воды только или вместе с условно чистыми производственными по другой сети, то такая система называется полной раздельной.

Если в системе отсутствует организованный по трубопроводам отвод дождевых вод, то её называют неполной раздельной.

В отдельных случаях система водоотведения может быть комбинированной. Это характерно для предприятий, где выполнена реконструкция сплавной системы.

В связи с повышением требований к очистке дождевых сточных вод, отводимых с территории предприятий, в последние годы проектируется полная раздельная система водоотведения с учётом аккумуляирования и предварительной механической очистки дождевых сточных вод. На основе принятой системы водоотведения предприятия разрабатывается схема водоотведения. Схема является конкретным технически и экономически обоснованным решением по выбору и размещению комплекса инженерных сооружений для приёма, транспортирования и очистки сточных вод, выпуска их в водоёмы, коммунальные системы водоотведения населённых мест или на цели орошения сельскохозяйственных культур.

При разработке схемы водоотведения следует предусматривать максимально возможное использование сточных вод, как собственных производственных, так и бытовых и дождевых. Незагрязнённые сточные воды после соответствующей обработки можно направлять на пополнение оборотных систем или на их повторное использование.

На пищевых и перерабатывающих предприятиях, как правило, образуются несколько категорий производственных сточных вод, отличающихся видом загрязнений и их концентрацией. Целесообразность объединения или разделения отдельных потоков сточных вод является наиболее важным вопросом, от правильности решения которого зависит выбор системы и решение схемы водоотведения, сметная стоимость строительства, затраты на эксплуатацию очистных сооружений, рентабельность основного производства.

Сточные воды предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности в основном относятся к высококонцентрированным по органическим веществам. Эти сточные воды плохо фильтруются, быстро закисают, загнивают, выделяя сильные неприятные запахи, повышенная их концентрация вызывает загрязнение окружающей среды и угрожает здоровью людей. Кроме того, при сбросе в водоемы неочищенные сточные воды значительно ухудшают свойства воды, снижая содержание в ней кислорода, придавая ей неприятный запах и вкус. При определенных концентрациях сброс неочищенных сточных вод может привести к гибели рыб и планктона. Проблема обостряется еще и тем, что большинство предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности расположено на территории городов и населенных пунктов, поэтому их сточные воды попадают в коммунальные системы.

В большинстве случаев коммунальные очистные сооружения населенных пунктов в Республике Беларусь работают на предельных мощностях, некоторые нуждаются в реконструкции и переоснащении. Поэтому на эффективность работы этих сооружений большое влияние оказывают сточные воды предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности. В работе показана степень влияния сброса производственных сточных вод предприятий молочной промышленности на работу городских очистных сооружений. Например, как показывает опыт эксплуатации городских очистных сооружений г. Березы залповых сбросах местного сырдельного комбината происходит сбой в работе очистных сооружений: активный ил не справляется с высококонцентрированными сточными водами и гибнет. Вследствие чего происходят «прорывы» неочищенных сточных вод в водоем с повышенными концентрациями органических веществ. При сбросе 1 м³ неочищенных сточных вод молочного завода в водоем загрязняется 40-60 м³ природной воды.

Большую роль при совместной очистке производственных и бытовых сточных вод играет соотношение расходов. Во многих поселках и городах с небольшим количеством жителей, а, следовательно, и с небольшим суточным расходом бытовых сточных вод - это соотношение бывает меньше 1 : 10. При таком соотношении расходов невозможна удовлетворительная работа, как сооружений искусственной биологической очистки, так и полей фильтрации, которые до сих пор используется в ряде населенных пунктов. При этом возникает угроза загрязнения, как водоемов, так и грунтовых вод. Исходя из соображений экологической безопасности, возникает необходимость устройства локальных очистных сооружений на пищевых и перерабатывающих предприятиях. Состав локальных очистных сооружений предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности необходимо подбирать в зависимости от состава коммунальных очистных сооружений, соотношения производственных и бытовых сточных вод, условий выпуска в водоприемник.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яромский, В. Н. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности / В. Н. Яромский. - Брест : Академия, 2004. - С. 71.
2. Комарова Л.Ф. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности/ Издательство АлтГТУ, 2010. – 174 с.
3. Соколов М.П. Очистка сточных вод/ Набережные Челны: КамПИ, 2005, 213 с. , ил. – 73, табл. – 32, библиограф. с-18.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Одной из наиболее сложных проблем, связанных с функционированием очистных сооружений, является управление образующимися осадками, которые являются одним из видов крупнотоннажных отходов. Источниками образования отходов, получаемых при очистке сточных вод, являются сооружения механической и биологической очистки.

При функционировании сооружений механической очистки на решетках, ситах и сетках задерживаются и удаляются отбросы различного состава, из песколовков удаляют примеси, состоящие преимущественно из песка, в первичных отстойниках образуется осадок, состоящий из органических примесей, осаждаемых из сточных вод.

Отбросы с решеток представляют собой крупноразмерные примеси, которые задерживаются при процеживании сточных вод через решетки, сетки, сита и подобные сооружения. Обработка таких отходов заключается в их удалении из решеток, временном хранении на территории очистных сооружений с последующим удалением на захоронение. Для снижения объема отбросов и влажности перед выгрузкой в контейнеры производится их отжим на прессах, а также отмывка.

Еще одно направление в обработке отбросов, поступающих на очистные сооружения, основано на их измельчении с использованием различного типа дробилок и измельчителей.

Песок из песколовков представляет собой осадок, состоящий преимущественно из минеральных примесей с включениями органических веществ.

Обезвоживание задержанного песка производится после его удаления из песколовков на песковых площадках или в других специальных сооружениях. Учитывая, что песок, выгружаемый из песколовков, представляет собой смесь, включающую органические примеси, то для очистки песка могут использоваться специальные устройства для его отмывки, классификации, обезвоживания.

В ряде случаев как отдельный вид отходов выделяют всплывающие вещества из песколовков и первичных отстойников, которые по большей части представляют собой жировые примеси.

Основным видом отходов на сооружениях биологической очистки является избыточный активный ил [1].

Современная технологическая схема в обработки осадков включает следующие процессы: уплотнение, стабилизация органической части осадков, обезвоживание, сушка, сжигание.

Уплотнение осадка предназначено для предварительного снижения его влажности перед стабилизацией или обезвоживанием. В практике применяются гравитационные и динамические (механические) илоуплотнители.

Стабилизация осадков используется для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества, что предотвращает загнивание осадков при длительном хранении на открытом воздухе. Стабилизация осадка может проводиться с использованием биологических, физико-химических методов, а также их комбинацией.

После стабилизации осадок сточных вод характеризуется высокой влажностью – 95-98 %, что затрудняет его последующее использование из-за значительных объемов. Для снижения объема осадка применяется его обезвоживание. Одним из простейших сооружений для обезвоживания осадка сточных вод являются иловые площадки [4].

Механическое обезвоживание – процесс, направленный на увеличение содержания сухого вещества в осадке с помощью различного оборудования, фильтр-прессов, камерных прессов, центрифуг, шнековых прессов, гидравлических прессов и т.д.

Необходимым условием эффективного обезвоживания осадка является дозирование флокулянтов.

Дальнейшее снижение влажности осадка после обезвоживания может производиться путем его сушки. Процесс термической сушки осадка подразделяются на две основные группы – прямой нагрев (конвективная сушка) и косвенный нагрев (контактная сушка) [5].

Сжигание осадка может рассматриваться как метод максимально возможного снижения его объема и массы с получением энергии из его органической части [3].

В настоящее время рассматриваются 4 альтернативных метода обработки и использования осадка в г. Минске.

Первый метод представляет собой метод сушки и сжигания осадка с использованием и/или реализацией тепловой и электрической энергии. Этот метод предполагает сжигание осадка и ила в печи «с кипящим слоем» с предварительным обезвоживанием и сушкой и включает следующие технологические процессы: подача кека (обезвоженная смесь сырого осадка и ила) с остаточной влажностью около 80 % из существующего цеха механического обезвоживания в бункер для промежуточного хранения;

подача кека из бункера промежуточного хранения в сушилку барабанного типа, где происходит испарение влаги до степени, достаточной для последующего сжигания; подача высушенного кека посредством системы винтовых конвейеров в печь «с кипящим слоем»; сжигание высушенного кека в печи с утилизацией образующегося тепла паровой турбиной и его подачей в сушилку; очистка дымовых газов; сбор золы.

Второй рассматриваемый метод – метод сбраживания, обезвоживания, сушки и сжигания осадка с использованием и/или реализацией тепловой и электрической энергии. Этот метод предполагает сбраживание сырого осадка с получением биогаза и дальнейшим его использованием для производства тепловой и электрической энергии, обезвоживание сброженного осадка в смеси с илом и сжигание в печи «с кипящим слоем» с предварительной сушкой. Способ включает следующие технологические процессы: сбраживание сырого осадка сооружений механической очистки в метантенках при температуре +55°C с функцией получения биогаза; комплексная система биогаза с хранением в газгольдерах и обработкой биогаза; выработка электрической и тепловой энергии при сжигании биогаза в газопоршневых установках блочных ТЭЦ; обезвоживание смеси сброженного осадка и ила в существующем цехе мехобезвоживания; подача кека влажностью 80% из существующего цеха мехобезвоживания в бункер для промежуточного хранения; подача кека из бункера в сушилку барабанного типа, где происходит испарение влаги до степени, необходимой для сжигания; подача высушенного шлама посредством системы винтовых конвейеров в печь «с кипящим слоем»; утилизация тепла от сжигания осадка и биогаза при помощи паровой турбины и подача его в сушилку; очистка дымовых газов; очистка сточной воды, поступающей из блока скрубберов; сбор золы.

Третий метод – это метод сушки и гранулирования осадка для последующего размещения на объектах захоронения твердых коммунальных отходов либо реализации на объекты цементной промышленности в качестве альтернативного топлива. Этот метод предполагает сушку обезвоженного осадка и ила с получением гранул, которые используются в качестве топлива на цементном заводе либо вывозятся на полигон твердых коммунальных отходов (ТКО) для захоронения, включает следующие технологические процессы: подача кека (обезвоженная смесь сырого осадка и ила) влажностью 80% из существующего цеха мехобезвоживания в бункер для промежуточного хранения; подача кека из бункера в сушилку, где происходит испарение влаги до степени, необходимой для сжигания, и обеззараживание; подача высушенного осадка на установку грануляции; дезодорирование газов, отходящих от сушилки; подача тепловой энергии от котлов сжигания (котлов-

утилизаторов) высушенного осадка в сушилку; очистка дымовых газов от котлов-утилизаторов; очистка сточной воды от скрубберов; сбор золы; отгрузка излишка высушенного осадка на цементный завод для использования в качестве топлива либо вывоз на полигон ТКО для захоронения.

Четвертый метод представляет собой метод сушки осадка природным газом с последующим гранулированием и реализацией гранул на объекты цементной промышленности в качестве альтернативного топлива (или размещение на полигоне). Этот метод предполагает сушку обезвоженного осадка и ила с получением гранул, которые потенциально могут использоваться в качестве топлива на цементном заводе. В отличие от предыдущего способа, в данном случае источником тепловой энергии для сушки осадка выступает природный газ [2].

При выборе метода очистки и обработки осадка сточных вод необходимо в первую очередь выявлять возможность и целесообразность использования осадка. Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ануфриев В.Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В.Н. Ануфриев // Экология и технология. – 2017. – № 5(71). – С. 84-95.
2. Дополнительная оценка воздействия на окружающую среду и социальную сферу : отчет о ОВОСС (заключит.) / УП «Минскводоканал» ; – Минск, 2018. – 14-16с.
3. Новикова О.К. Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.
4. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
5. Туровский, И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И.С. Туровский. – Москва : ДеЛипринт, 2008. – 375 с.

Лаппо С.А.

Научные руководители: Качанов И.В., Власов В.В.

*Белорусский национальный технический университет***ОПТИМИЗАЦИЯ СИЛОВОГО РЕЖИМА ПРИ СКОРОСТНОМ
УДАРНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Для реализации высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение готовой продукции с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами можно отнести процесс скоростного горячего выдавливания (СГВ), создающий эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в различных отраслях промышленности, тяжелое машиностроение, включая инструментальное производство. Эффективность СГВ дополнительно возрастает при изготовлении би- и триметаллического стержневого инструмента (толкателей, пуансонов, и т. д.) в режиме высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) [1, 2].

Однако для промышленного внедрения таких техпроцессов нужны сведения об оптимальных силовых режимах формоизменения, пиковых нагрузках, действующих на инструмент, что необходимо для расчета оптимальной энергии удара и подбора оборудования, способного развить данную энергию.

Рассмотрев известные решения, применительно к процессам как стационарного [3], так и нестационарного [4] скоростного прессования полосы, через клиновую матрицу, приведенных в работах [3,4], установлена возможность провести расчет осесимметричной деформации (ОД). Для реализации перехода к ОД авторы этих работ рассматривали осесимметричную деформацию как суперпозицию двух переходов плоской деформации, реализуемых по схеме «круг-эллипс» и «эллипс-круг» в первом и втором переходах соответственно.

При этом считалось, что на первом переходе из цилиндрической заготовки диаметром $D=2R$ (R -радиус заготовки) выдавливается стержень эллиптического сечения с параметрами осей $D=2R$ (большая ось) и $d=2r$ (малая ось) (рис. 1а). На втором переходе эллиптическая заготовка деформируется через круглое отверстие и превращается в цилиндрический пруток диаметром $d=2r$ (рис. 1б).

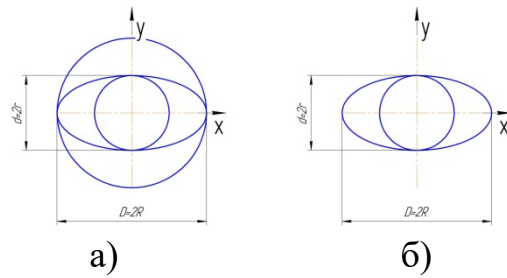


Рис. 1. Два перехода плоской деформации, реализуемые по схеме «круг-эллипс» (а) и «эллипс-круг» (б) для моделирования формообразования в условиях ОД

Однако расчет по указанной схеме является нерациональным, так как требует больших затрат времени на проведение конечных уравнений.

Поэтому для установления силового режима осесимметричной деформации предлагается использовать теорию процесса СГВ методом верхней оценки, применительно к получению плоскоступенчатой детали квадратного сечения, эквивалентного по площади круглому, со сторонами ступеней a_1, a_2, a_3 из исходной заготовки квадратного сечения со стороной квадрата A и длиной заготовки L_3 .

В результате усилие $P_{n,1}$, действующее на пуансон при выдавливании заготовки квадратного сечения из контейнера, через клиновую матрицу, можно определить по формуле:

$$P_{n,1} = \frac{A^2 \left\{ K \left[F_1(\lambda_1 \mu_1 \alpha) + 4\mu \left(\frac{L'_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n_1}}{A} - \frac{h_{n_1}}{A} \right) \right] + \rho V_{01}^2 [F_1(\lambda_1 \mu_1 \alpha)] \right\} M}{M + \rho A^3 \left[F_3(\lambda_1 \mu_1 \alpha) + \frac{L'_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n_1}}{A} - \frac{h_{n_1}}{A} \right]} \quad (1)$$

Разделив левую и правую части полученного выражения на площадь заготовки с квадратным сечением ($S_3=A_2$) получим выражение для расчета удельного усилия, действующего на пуансон при формоизменении заготовки в $ОД_1$

$$p_{n,1} = \frac{K \left[F_1(\lambda_1 \mu_1 \alpha) + 4\mu \left(\frac{L'_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n_1}}{A} - \frac{h_{n_1}}{A} \right) \right] + \rho V_{01}^2 [F_2(\lambda_1 \mu_1 \alpha)]}{\left\{ 1 + \rho A^3 \left[F_3(\lambda_1 \mu_1 \alpha) + \frac{L'_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n_1}}{A} - \frac{h_{n_1}}{A} \right] \right\} * M^{-1}} \quad (2)$$

Из анализа выражений (2 и 3) видно, что на величину усилия $P_{n,1}$ и удельного усилия $p_{n,1}$ влияют силы внутреннего сопротивления на поверхностях разрыва трения, динамические напряжения на поверхностях разрыва скорости, а также действие сил инерции движения масс заготовки. Из выражения (3) видно, что с ростом массы стержневой части на выходе из $ОД_1$ происходит снижение нагрузки, действующей на пуансон.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича - Минск: Технопринт, 2002 - 327 с.
2. Качанов, И. В. Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, В. В. Власов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 1. – С. 3–9.
3. Томленов А.Д. Теория пластинчатого деформирования металлов / А.Д. Томленов.- М: Металлургия, 1972. 408с.
4. Качанов И.В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И.В. Качанов, - Мн: УП "Технопринт" , 2002. 327с.

Кочергин А.Ю., Левицкий А.А.

Научный руководитель: Ивашечкин В.В.,

Белорусский национальный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВНОЙ КАМЕРЫ С ВОЗДУШНЫМ КОЛПАКОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОИМПУЛЬНО-РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬТРОВ

В процессе эксплуатации водозаборных скважин, опытным путем установлено, что их производительность и дренирующая способность со временем снижаются. Это вызвано зарастанием отверстий водоприемной части фильтра и пор прифильтровой зоны различными химическими соединениями. Для восстановления их проницаемости применяются различные методы, основанные на гидравлическом, импульсном, вибрационном, химическом воздействии. Однако, наиболее эффективным является совместное применение этих методов с последующей или одновременной реагентной обработкой.

Процессы растворения отложений (кольматанта), снижающих проницаемость прифильтровой зоны и водоприемной части фильтра, можно рассматривать как химические гетерогенные реакции [1, 2, 3], протекающие в несколько стадий. Суммарная скорость всего процесса растворения зависит от скорости отдельных стадий и определяющей является та, которая протекает медленнее остальных. Растворения кольматанта происходит в диффузионной области [2, 3]. Скорость при этом пропорциональна недостатку насыщения растворителя солями данного состава, величине удельной поверхности, на которой происходит химическая реакция растворения, температуре, типу реагента и факторам, зависящим от гидродинамических условий.

Таким образом при увеличении скорости движения реагента, импульсного воздействия на кольматант, позволяющего увеличить удельную поверхность цементированных отложений, повышается эффективность растворения.

Ряд методов в совокупности с реагентной обработкой не позволяет достичь высокой степени очистки, а в случае проведения пневмовзрывов, кислород воздуха, проникающий в прифильтровую зону, усиливает процессы образования отложений [4].

Обработка фильтров скважин газовым взрывом в реагенте вызывает импульсное воздействие, приводящее к разрушению кольматанта, а также знакопеременные фильтрационные потоки, вызванные пульсацией паровой полости. Это позволяет более эффективно разрушать, растворять и удалять накопленные отложения.

Оборудование для реализации данного способа включает в себя погружную взрывную камеру со свечей поджига и отражателем, воздушный колпак, пакеры, лебедку для перемещения камеры в фильтре скважины, емкость с реагентом и шланги, для его доставки в обрабатываемую зону, пульта управления и электролизера. Для ускорения цикла работы газоимпульсно-реагентной установки предложено оснащать ее выносным (поверхностным) электролизером, вместо менее производительного погружного.

Воздушный колпак, устанавливаемый над взрывной камерой, в совокупности с пакерами, которые устраиваются в кольцевых зазорах призваны направить поток реагента не в вышележащую область скважины, а в сторону воздушного колпака через гравийную обсыпку. Это позволяет снизить инерционные потери, увеличить скорость движения, и интенсифицировать растворение кольматирующих отложений за счет прямого фильтрационного потока реагента через обсыпку.

На первом этапе, проходящий фильтрационный поток сначала будет двигаться в сторону воздушного колпака через прифильтровую область, за счет расширения парового пузыря, образованного в процессе взрыва водородно-кислородной газовой смеси во взрывной камере. На втором этапе, за счет конденсации паров, пузырь схлопывается, и реагент движется в обратную сторону. Таким образом, движение фильтрационного потока будет знакопеременным, повышая эффективность растворения цементированных отложений.

Целью данной работы являлась разработка методики расчета параметров фильтрационного потока в гравийной обсыпке фильтра скважины при газоимпульсно-реагентной обработке.

На основании вышесказанного была составлена расчетная схема, изображенная на рисунке 1, и получено дифференциальное уравнение движения реагента в системе «взрывная камера – гравийная обсыпка – воздушный колпак» при подводном газовом взрыве, в открытой снизу взрывной камере.

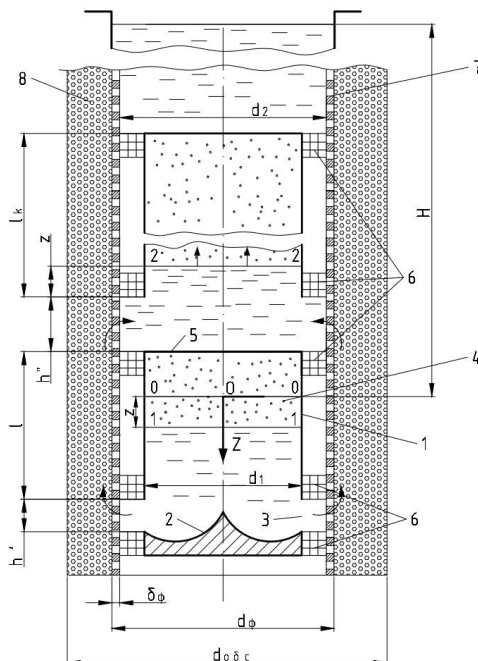


Рисунок 1 – Схема расчета кинематических параметров потока реагента:

- 1 – взрывная камера; 2 – отражатель; 3 – цилиндрическое отверстие;
 4 – парогазовый пузырь; 5 – верхняя крышка взрывной камеры;
 6 – пакеры; 7 – фильтр скважины; 8 – гравийная обсыпка.

Решение уравнения получено с помощью численного метода (Рунге – Кутта), с составлением программы на ЭВМ, в виде кривых изменения скорости функции по времени: во взрывной камере $v = f(t)$, фильтре $v_{\phi} = f(t)$, и гравийной обсыпке $v_{обс} = f(t)$. Также, с учетом ряда допущений получено аналитическое выражение для расчета максимальной скорости v_{1max} реагента во взрывной камере и гравийной обсыпке при различных параметрах взрыва и геометрических размерах скважины и скважинного устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксельруд, Г. А. Растворение твердых веществ / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. – М.: Химия, 1977. – 272 с.
2. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1985. – 334 с.

3. Тугай, А. М. Продуктивность водозаборных скважин в условиях кольматажа / А. М. Тугай, О. Я. Олейник, Я. А. Тугай : моногр. – Харьков: ХНАМГ, 2004. – 240 с.

4. Щеголев, Е. Ю. Регенерация водозаборных скважин импульсными методами: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Е. Ю. Щеголев. – М. : 1987. – 140 с.

УДК 631.95

Линкевич Н.Н., Копаченя С.С.

Белорусский национальный технический университет

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ОБУСТРОЙСТВУ
ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ
МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

Стабильность агроландшафтов и выполнение ими ресурсовоспроизводящих и средоформирующих функций предполагает увязку хозяйственной деятельности с природными особенностями территории. Эта задача требует организации контроля эффективности мероприятий, ориентированных на увеличение плодородия сельскохозяйственных земель, и происходящих при этом изменений экологической устойчивости сельскохозяйственных земель.

Проектирование экологических мероприятий осуществляется в тех случаях, когда использование мелиорированных земель в современном состоянии, а также восстановление и реконструкция мелиоративных систем экономически неэффективно.

Экологическое обустройство мелиорированных агроландшафтов направлено на получение социального, рекреационного, эстетического и природоохранного эффекта от использования мелиорированных территорий.

Исходными данными для подбора участков и разработки планов экологического обустройства мелиорированных ландшафтов являются результаты оценки плодородия и мелиоративного состояния объектов реконструкции.

Границы участка, подлежащего экологическому обустройству, устанавливаются на основании изучения фондовых картографических материалов, сведений о виде и эффективности сельскохозяйственного использования, а также рекогносцировочного обследования с использованием результатов оценки плодородия почв и мелиоративного состояния и наносятся на топографические карты, планы по землеустройству либо на почвенные

карты.

Планируемые мероприятия по экологическому обустройству территории объектов реконструкции должны быть привязаны к конкретным условиям рельефа, гидрологическим и почвенным условиям [1].

Учет требований охраны окружающей среды осуществляется путем выполнения дополнительных эколого-ориентированных мероприятий:

- строительство отстойников в устьях водоприемников и проводящей сети;
- выделение новых охраняемых территорий;
- строительство водооборотных систем;
- организация на малопродуктивных землях разделительных полос, буферных полос, водопоев;
- вывод из сельскохозяйственного оборота трудно осушаемых участков и экологически неустойчивых земель, изменение их функционального назначения;
- организация экологических зон.

Экологические зоны – восстановленные или искусственно устроенные по основным признакам природных аналогов экосистемы среди мелиорированных и прилегающих к ним земель, предназначенные для восстановления, сохранения, увеличения многообразия объектов и полезных качеств компонентов окружающей природной среды.

Условиями устройства экологических зон при реконструкции мелиоративных систем являются [2]:

- продолжительное или постоянное переувлажнение почвы при грунтовом или грунтово-напорном водном питании, застой поверхностных вод;
 - наличие кустарниковой и сорной растительности;
 - трудность или высокая стоимость реконструкции мелиоративной системы;
 - низкое плодородие почв (менее 20 баллов);
 - регулярные высокие локальные потери урожаев;
 - нерегулярность сельскохозяйственного использования (распахиваются реже 1 раза в 4 года);
 - примыкание к лесным или болотным массивам, водоохранным зонам, дорогам;
 - крутые склоны;
 - близость (в некоторых случаях удаленность от) населенных пунктов.
- Экологические зоны на мелиорированных землях подразделяются на:

лесные; кустарниковые, в том числе, хозяйственно-экологические; луговые; болотные; водные и рекреационные.

К водным экологическим мероприятиям на мелиоративных объектах, подлежащих реконструкции, относятся: создание пруд-копаней различного назначения (противопожарного, технического, хозяйственного, рыбохозяйственного, водопоя для животных) и водоемов различного назначения (рыбохозяйственного, водопоя для животных, местообитания водоплавающих птиц и земноводных, мест отдыха, охоты и любительского рыболовства) на землях, имеющих застой поверхностных и выклинивание почвенно-грунтовых вод; создание водохранилища для отдыха, разведения рыбы, любительского рыболовства путем расширения и углубления естественного водоема аккумуляции поверхностных вод; создание полевого резервуара очистки стоков для накопления и очистки сточных вод животноводческих комплексов; создание отстойников на каналах для защиты водоприемника от заиления и загрязнения при наличии в дренажных водах взвешенных частиц и загрязнителей.

К лесным экологическим мероприятиям относятся: посадка отдельно стоящего дерева или группы деревьев ценных пород (дуб, ясень, клен и др.) для сохранения биоразнообразия и живописности ландшафта; создание защитных лесополос для защиты почв от эрозии, гнездовья птиц, местообитания мелких животных, их миграции; создание на землях, сложных для применения мелиоративных мероприятий или с низкой эффективностью их применения, лесонасаждений как примыкающих к мелиоративному объекту, так и расположенных в его пределах, для сохранения естественной лесной растительности и местообитания животных и птиц; создание миграционных коридоров для обеспечения перехода животных; лесопосадки на землях с низким плодородием почв для восстановления естественной лесной растительности.

К кустарниковым экологическим мероприятиям относятся: создание на землях сложных для применения мелиоративных мероприятий или с низкой эффективностью их применения кустарниковых насаждений в пределах мелиоративного объекта для сохранения естественной кустарниковой растительности и местообитания животных и птиц, а также вторичное заболачивание таких земель с целью восстановления естественной кустарниковой и лугово-болотной растительности и местообитания животных и птиц.

К луговым экологическим мероприятиям относится посев влаголюбивых трав для расширения кормовой базы, подавления сорной растительности на землях с низкой эффективностью применения

мелиоративных мероприятий.

На мелиорированных торфяных почвах с признаками деградации возможно устройство временных экологических зон, которые создаются сроком до 10 лет с целью консервации неиспользуемых территорий и недопущения необратимых естественных сукцессий до принятия решения о целевом назначении таких территорий.

Перевод пахотных мелиорированных земель в иные земли, а также изъятие мелиорированных земель из мелиоративного фонда осуществляется в соответствии с земельным законодательством Республики Беларусь на основании заключения комиссий, создаваемых органами местной исполнительной власти [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования : ТКП 45-3.04-8-2005. – Введ. 01.07.2006. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2006. – 130 с.

2. Линкевич, Н. Н. Природоохранные мероприятия при реконструкции мелиоративных систем / Н. Н. Линкевич, В. И. Селезнев // Материалы Одиннадцатой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» в 4 томах, том 1. – Мн.: БНТУ, 2013. – С. 126.

3. О мелиорации земель: Закон Республики Беларусь, 23 июля 2008 г., № 423-З (в ред. Законов Республики Беларусь от 01.07.2010 № 154-З, от 15.07.2010 № 169-З, от 14.07.2011 № 293-З, от 04.01.2014 № 130-З) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2008. № 1/84 – 2/1520.

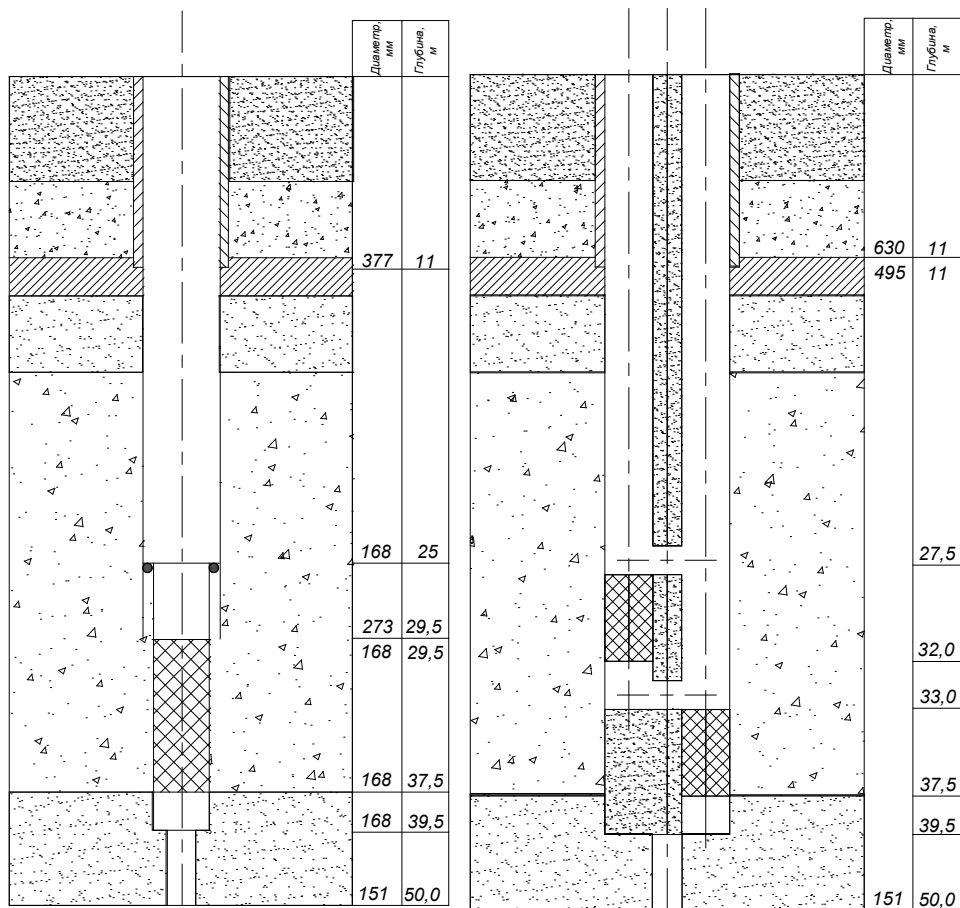
**ПЕРСПЕКТИВА СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИНЫ В САНАТОРИИ
«ПОЛИТЕХНИК» ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ НУЖД**

Водозаборные скважины являются наиболее распространенным типом водоприемных сооружений во всем мире.

В БНТУ разработана конструкция двухколонной двухфилтровой водозаборной скважины повышенной надежности [1]. В отличие от известных двухколонных скважин, предлагаемая скважина имеет два фильтра и способна совмещать в себе одновременно рабочую и резервную скважины, находящиеся в одном буровом стволе, что повышает ее надежность, долговечность и бесперебойность подачи воды потребителю. Применение конструкции двуствольной скважины позволяет:

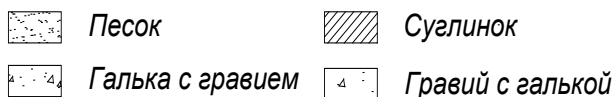
- увеличить срок службы рабочей и резервной скважин за счёт эффективной регенерации их фильтров, размещенных в одном буровом стволе вместе с циркуляционными трубками, которые служат для обеспечения циркуляционно-реагентной обработки;
- осуществлять бесперебойную подачу воды потребителю, имея в каждом стволе отдельный электронасосный агрегат;
- уменьшить площади отчуждаемых под строительство земель, так как рабочая и резервная скважины сооружаются в одной санитарной зоне.

Запроектируем двухколонную скважину в санатории-профилактории БНТУ, который находится на берегу Заславского водохранилища, в 10 км от г. Минска, вблизи д. Приморье Минского района. Здесь с 1966 года эксплуатируется одиночная типовая водозаборная скважина № 13642/66 производительностью $Q=6 \text{ м}^3/\text{ч}$, которая значительно снизила свой удельный дебит, что привело к росту затрат электроэнергии на подъем и подачу воды. Это вызвало необходимость обследования водозаборной скважины санатория-профилактория, с целью оценки ее технического состояния. Перспективным планом развития санатория-профилактория предусмотрено строительство бассейна и второго жилого корпуса, что потребует увеличения производительности скважины и модернизации системы водоснабжения санатория. Производительность проектируемой скважины принимаем $Q_c = 15 \text{ м}^3/\text{ч} = 360 \text{ м}^3/\text{сут}$. Конструкции существующей и проектируемой буровых скважин представлены на рисунке 1.



а)

б)



Геолого-литологические разрезы буровых скважин: а) существующей №13642/66; б) проектируемой.

Рисунок 1 – Конструкции существующей и проектируемой буровых скважин

Глубина существующей скважины 39,5 метра. Скважина каптирует воду из верхних четвертичных отложений, представленных днепровско-сожским водно-ледниковым комплексом, который распространен от глубин 12 м до 39.5 м. Отложения перекрыты двухметровым слоем суглинка красного с валунами в интервале 10 - 12м. Водовмещающие породы представлены песком разнозернистым с гравием и галькой (12-16) м, гравием с галькой и валунами (16-38) м, песками мелкозернистыми (38 - 39,5)м. Водоносный горизонт напорный, статический уровень расположен выше кровли водоносного горизонта на отметке 10 м.

Результаты обследования существующей скважины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обследования существующей скважины

Год строительства - 1966 г.			
Тип фильтра - сетчатый, с гравийной обсыпкой, на трубчатом перфорированном каркасе			
Рабочий интервал фильтра, согласно паспорта = 29.5 - 37.5 м., длина фильтра $L_{\phi} = 8$ м.			
Диаметр фильтра - 168 мм.			
Диаметр эксплуатационной колонны - 273 мм.			
№ п/п	Параметры	Паспортные данные	Результаты обследования
1	Глубина скважины, м.	39.5	39.5
2	Статический уровень, м.	10	10
3	Динамический уровень, м.	12	23
4	Дебит, м ³ /ч	20	6
5	Понижение уровня, м.	2	13
6	Удельный дебит, м ³ /ч/м	$q_0=10$	$q_1=10$
7	Изменение удельного дебита, раз		
8	Тип насоса	Эрлифт	ЭЦВ 6-6.5-55
9	Загрузка насоса, м.	25	24.май
10	Диаметр водоподъёмных труб, мм.	114	64
11	Состояние станции управления насосом	-	Удовлетворительное

Продолжительность работы скважины составляет 54 года, что более чем в два раза превышает нормативный срок эксплуатации подобных сооружений (25лет). За этот период удельный дебит скважины снизился с $q_0=10$ до $q_1=0.46$ м²/ч, т.е. в 21.7 раза. Произошло значительное снижение динамического уровня воды в стволе скважины. Что привело к росту затрат электроэнергии на подъем воды. Это произошло вследствие того, что на скважине не проводились работы по восстановлению ее производительности. Фильтр находится в аварийном состоянии в результате коррозии латунного сетчатого полотна, находящегося на трубчатом дырчатом каркасе. Можно также констатировать, что проведение работ по восстановлению производительности скважины в настоящее время нецелесообразно, т.к. связано с риском разрушения сетчатого фильтра из-за его естественной коррозии за время эксплуатации. Дальнейшая эксплуатация скважины связана с еще большим снижением ее производительности из-за прогрессирующей кольматации фильтра, высокой вероятностью его разрушения и выходом

скважины из строя. Скважина полностью выработала свой ресурс и подлежит перебурированию.

Расчет понижения уровня воды в скважине. Определяем понижение в скважине по известному удельному дебиту опорной скважины. Удельный дебит принимаем равным паспортному удельному дебиту скважины № 13642/66, $q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Статический уровень H_{cm} согласно акту обследования находится на глубине 10м.

Расчетное рабочее понижение при проектном дебите $Q_c = 15 \text{ м}^3/\text{час}$ составит [2]:

$$S_0 = \frac{Q_c}{q} = \frac{15}{10} = 1.5 \text{ м} \quad (1)$$

Начальный динамический уровень при этом будет находиться на глубине

$$H_{\text{дин.нач.}} = H_{cm} + S_0 = 10 + 1.5 = 11.5 \text{ м} \quad (2)$$

Коэффициент фильтрации водовмещающих пород $K = 30 \text{ м}/\text{сут}$ [2, табл. III.3]. Проектная мощность песков в расчетах принята $m=26 \text{ м}$. Коэффициент упругой водоотдачи $\mu=4 \cdot 10^{-3}$ принимаем для гравелистых песков [2, табл. III.2]. Расчет произведен для напорного водоносного горизонта $km = 30 \cdot 26 = 780 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент пьезопроводности $a = km/\mu = 780/(4 \cdot 10^{-3}) = 19,5 \times 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$, радиус скважины принимаем $r_o = 0,09 \text{ м}$, время эксплуатации $t = 25 \text{ лет} \approx 10^4 \text{ сут}$, производительность $Q_c = 15 \text{ м}^3/\text{ч} = 360 \text{ м}^3/\text{сут}$. Поправка на несовершенство скважины по степени вскрытия пласта равна $\zeta_1 = 7,5$ при $l_\phi/m = 9/26 = 0,35$; $m/r_o = 26/0,09 = 288$ [2, рис.IV.10].

Тогда дополнительное понижение уровня S_{0t} в проектируемой скважине на заданный срок эксплуатации ($t=25 \text{ лет}$) составит:

$$S_{0t} = \frac{Q_c (R_{c0} + \zeta_1)}{4\pi \cdot K \cdot m} = \frac{360(2 \ln \frac{1.5 \sqrt{19.5 \cdot 10^8}}{0.09} + 7.5)}{4 \cdot 3.14 \cdot 30 \cdot 26} = 1.25 \text{ м} \quad (3)$$

Таким образом, конечный динамический уровень в конце расчетного срока эксплуатации проектируемой скважины составит:

$$H_{\text{дин.кон.}} = H_{\text{дин.нач.}} + S_{0t} = 11.5 + 1.25 = 12.75 \text{ м} \quad (4)$$

Так как верх фильтра находится на отметке 27,5м, а динамический уровень через 25 лет снизится до отметки 12,75 м, работа скважины будет обеспечена в напорных условиях с затопленным фильтром.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Медведева, Ю.А. Двухуровневая скважина для забора подземных вод / Ю.А. Медведева, В.В. Ивашечкин, Е.С. Сацута // Вода. Газ. Тепло 2020: материалы международной научно-технической конференции, посвященной

100-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» / редкол.: С.В. Харитончик [и др.]; БНТУ. – Минск, 2020. – С. 188-192.

2. Арцев, А.И Проектирование водозаборов подземных вод / А.И. Арцев, Ф.М. Бочевер, Н.Н. Лапшин и др. под ред. Ф.М. Бочевера. М., Стройиздат, 1976, 292с.

УДК 624.153.51

А.А. Стафинцов, Р.И. Турко

Научный руководитель: С. М. Курчевский

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА НАСЫПНЫХ ГРУНТАХ

Детальное изучение причин недопустимых деформаций зданий и сооружений, возведенных на насыпных грунтах, а также анализ опыта проектирования и строительства показывают, что деформации в зданиях и сооружениях наблюдаются, как правило, в случаях недостаточно полного учета специфических особенностей насыпных грунтов как неравномерно-сжимаемых оснований.

Инженерно-геологические изыскания являются, начальным и одним из основных этапов проектирования оснований и фундаментов подземных, земляных сооружений. От того, насколько правильно и целенаправленно будут выполнены изыскания, от полноты, достоверности результатов изысканий в значительной степени зависят надежность, качество проектных решений и эффективность строительства в целом. Тем не менее основными причинами деформаций зданий и сооружений часто являются недостаточно полная изученность инженерно-геологических условий участков строительства, специфических особенностей и характеристик грунтов. Обычно это связано с проходкой недостаточного количества разведочных и технических выработок, ограниченной их глубиной, недостаточным изучением специфических особенностей насыпных грунтов, неполным выполнением требований действующих нормативных документов и т.п. В результате часто занижается фактическое изменение толщины слоя насыпных грунтов на застраиваемом участке, неправильно выявляются сжимаемость насыпных грунтов и степень возможного ее изменения в пределах

здания, не представляется возможным учесть при проектировании дополнительные осадки насыпных грунтов и т.п.

При проектировании оснований, фундаментов и самих зданий часто недооцениваются сложности и особенности инженерно-геологических условий застраиваемых участков, неправильно определяются возможные величины осадок фундаментов от их нагрузок, а также дополнительных осадок от самоуплотнения грунта, неверно трактуются и используются отдельные положения действующих нормативных документов. Таким образом, основными причинами недопустимых деформаций зданий и сооружений на насыпных грунтах часто являются:

- переменная толщина слоя насыпного грунта в основании фундаментов, что особенно неблагоприятно проявляется при большой разнице в сжимаемости насыпных и подстилающих грунтов природного сложения;

- неравномерная сжимаемость насыпных грунтов как в плане, так и по глубине, которая приводит к особо неблагоприятным последствиям особенно в случаях различных нагрузок на фундаменты и тем самым разных их размеров;

- неучет при проектировании дополнительных осадок от самоуплотнения насыпного грунта под влиянием собственного веса, динамических нагрузок от оборудования и транспорта, дополнительных нагрузок на полы, изменения влажности, разложения органических включений и т.п.;

- недостаточная глубина, а иногда и ширина уплотнения или толщина грунтовой (песчаной и т.п.) подушки и недооценка возможной неравномерной сжимаемости ниже залегающих насыпных грунтов;

- неполная прорезка насыпных и подстилающих их слабых грунтов сваями, вследствие чего возможные величины осадок грунтов ниже свай с учетом дополнительных нагрузок могут оказаться больше предельно допустимых для зданий и сооружений;

- завышение несущей способности свай вследствие неучета возможного повышения консистенции глинистых грунтов при увеличении их влажности, недостаточной глубине погружения свай, использование статических, динамических испытаний свай данных зондирования при природной влажности грунтов;

- неучет дополнительных нагрузок на сваи от сил нагружающего трения при возможных дополнительных осадок от самоуплотнения насыпных и подстилающих их слабых грунтов;

- неучет при устройстве планировочных насыпей, подсыпок высотой более 2 ... 3 м, дополнительных нагрузок от их веса, под влиянием которых существенно возрастают осадки подстилающих грунтов;
- назначение конструктивных мероприятий без расчета конструкций зданий и сооружений на возможные неравномерные деформации грунтов в основании и др.

При строительстве зданий и сооружений на насыпных грунтах особое внимание необходимо обращать на качество подготовки и устройства основания, фундаментов, выполнения предусмотренных проектом конструктивных мероприятий, что также часто является одной из основных причин деформаций зданий. В наибольшей степени это проявляется при уплотнении грунтов, устройстве свайных фундаментов.

При уплотнении насыпных грунтов различными методами необходимо учитывать, что максимальная эффективность по глубине и степени уплотнения, требования проекта и нормативных документов достигаются при влажности грунтов, близкой к оптимальной. Так как уплотнение часто выполняется при природной повышенной или пониженной влажности, в процессе уплотнения допускается пересушивание или переувлажнение грунта, то эффективность уплотнения как по степени плотности, так и достигаемой глубине резко снижается. В результате не обеспечивается предусмотренное проектом снижение сжимаемости насыпных грунтов на необходимую глубину и до заданного значения.

Устройство свайных фундаментов в насыпных грунтах иногда сопряжено с наличием в них крупных прочных включений, таких, как козлы в шлаках, металлические, бетонные, каменные остатки от разрушенных зданий и т.п. В подобных случаях должны предусматриваться специальные мероприятия по погружению забивных и набивных свай на заданную глубину.

Таким образом, причины деформаций зданий и сооружений весьма разнообразны и обычно связаны с ошибками, допущенными в процессе проведения инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособие / С. Б. Ухов [и др.]; под ред. С. Б. Ухова. - 2-е изд., стер. - М.: АСВ, 2005. - 528с.
2. Веселов, В.А. Проектирование оснований и фундаментов / В. А. Веселов. – М. : Стройиздат, 1990. – 304 с

Браим Д. Н.

Научный руководитель: Качанов И.В.

Белорусский Национальный Технический Университет

**СОЗДАНИЕ ЭНЕРГО-ЭФФЕКТИВНОГО БАРЖЕ-БУКСИРНОГО
СОСТАВА НА ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНЕ ДЛЯ МЕЛКОВОДНЫХ РЕК
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Речной транспорт играет заметную роль во внутренних перевозках страны. Стоимость перевозок грузов по рекам ниже, чем по железным дорогам и автомобильным транспортом, а производительность труда значительно выше, у этого вида транспорта большая грузоподъемность, а затраты на амортизацию минимальны. Так же не малую роль играет и экология, водный транспорт считается менее вредным для окружающей среды.

Но в последние годы в Республике Беларусь происходит обмеление рек, что негативно сказывается на грузоперевозки. Постоянное дноуглубление обходится дороже и занимает больше времени.

Чтобы решить проблему грузоперевозок в бюджет рассмотрен вариант барже-буксирного состава на воздушной каверной для перевозки навалочных грузов.

По результатам результата проведённых экспериментов с моделью буксира было установлено что сопротивление воды движению судна снижается на 50%. Также была выбрана конструкция воздушной каверны буксира. На основе данных экспериментов разрабатывается баржа на воздушной каверне. В качестве прототипа была выбрана баржа проекта 775. Как и в случае с буксиром была разработана воздушная каверна с трубопроводной системой. Для модернизации баржи-площадки проекта 775 предлагается схема для создания воздушных каверн под днищем судна, включающим систему кавернообразования, состоящую из следующих друг за другом по длине судна расположенных на днище поперечных силовых элементов и побортно установленных на днище продольных ограничительных скегов. Схемы также предусматривают источник принудительной подачи по трубопроводам воздуха под днище судна для создания и поддержания образованных каверн. Предварительно диаметр подводящего трубопровода составляет 32 мм. После проведённых расчётов было определено сопротивление воды движению баржи на различных скоростях. Расчёты показали, что при скоростях от 8 до 15 км/ч происходит быстрый рост сопротивления.

Для модернизации баржи-площадки проекта 775 предлагается схема для создания воздушных каверн под днищем судна, включающим систему кавернообразования, состоящую из следующих друг за другом по длине судна расположенных на днище поперечных силовых элементов и побортно установленных на днище продольных ограничительных скегов. Схемы также предусматривают источник принудительной подачи по трубопроводам воздуха под днище судна для создания и поддержания образованных каверн.

Для создания воздушной каверны под днищем баржи предлагается блочно-пакетная схема. Для ее реализации предлагается приварить побортно боковые стенки каверны, которые начинаются от кормы и повторяя обводы судна сходятся в носовой части. Далее изготавливается система трубопроводов для подачи сжатого воздуха от компрессора. Система подачи воздуха предусматривает встречное направление потоков центральной и боковых труб, что обеспечит равномерное давление в системе и расход воздуха по трем кавернам, которые отделены друг от друга поперечными силовыми элементами. После монтажа системы трубопровода силовые элементы привариваются к днищу баржи. Сборка каверны завершается установкой перфорированного листа и приваркой его по периметру боковых стенок каверны.

Создание воздушной каверны и её поддержание, особенно при значительных скоростях судна, требует от компрессора закачки в днищевую часть больших объёмов воздуха. Давление на днищевую часть судна со стороны жидкости, в виду малой осадки судна, незначительно, поэтому давление на выходе из компрессора выбирается исходя из общего сопротивления сети. Таким образом, при выборе компрессора, весомым его параметром является расход воздуха.

Расход воздуха для натурального объекта определялся путем пересчета расхода воздуха для модели. В качестве модели была выбрана модель буксира на которой проводились эксперименты. Корректность такого пересчета обусловлена выполнением геометрического подобия модели и натурального объекта, а также равенством основных критериев подобия. В качестве критериев подобия были выбраны: число Рейнольдса – для процесса закачки воздуха в днищевую часть судна и число Фруда – для оценки силы поддержания и влияния на неё воздушной каверны.

Для выбора типа состава были проведены расчёты: 1) расчёт сопротивления воды движению барже-буксирного состава в режиме буксировки; 2) расчёт сопротивления воды движению барже-буксирного состава в режиме толкания.

По результатам расчётов было определено, что барже-буксирный состав работающий в режиме толкания имеет меньше сопротивления воды движению состава. Поэтому использование судов на воздушной каверне в составе, работающем в режиме толкания, ещё сильнее уменьшает сопротивление движению судна, а, следовательно, и расход топлива, при движении на различных скоростях, отличных от скоростей движения составов без использования воздушной каверны. Использование воздушной каверны позволяет проходить мелководные участки не снижая скорости, что является неоспоримым преимуществом перед составами, не использующими воздушную каверну.

Так, как при использовании воздушной каверны снижается сопротивление, то можно увеличить число барж, входящих в состав на воздушной каверне, сохраняя при этом ту же скорость, что и с меньшим числом барж без использования каверны.

В результате работы была разработана трубопроводная система для подачи воздуха в воздушную каверну и по результатам предварительных расчётов – подобран компрессор мощностью 12 кВт. В результате сравнения характеристик поршневых и винтовых компрессоров был выбран винтовой компрессор. Этот тип компрессорных устройств является более высокотехнологическим оборудованием. Рабочее тело сжимается с помощью двух валов, противостоящих друг другу, характеризуется данный тип пониженным потреблением энергии (на 1/3 меньше, чем поршневой), работает винтовой компрессор почти бесшумно, имеет конструктивно компактное исполнение, не требует периодического отключения для проведения профилактических работ, на выходе обеспечивает более чистую рабочую среду (потребляет не так много смазки), легко ремонтируется и может быть оснащено полностью автоматизированной системой управления.

Следует учитывать, что у винтовых компрессоров работа непрерывная, что является необходимым условием стабильной и эффективной работы воздушной каверны. Чтобы обеспечить непрерывность и соответствующую производительность в работе поршневого компрессора, необходимо выбирать его с большим запасом по мощности или устанавливать рядом резервный. Если поршневой компрессор сжимает воздушную среду периодически и с пульсациями (что требует добавочного оборудования–ресивера), то у винтовых компрессоров сжатие происходит непрерывно и стабильно. Работа винтовых компрессоров практически не вызывает вибрации, в то время как среди рабочих характеристик в деятельности поршневых компрессоров высокие вибрации всегда оговариваются и требуется установка фундамента.

В дальнейшем после разработки состава на воздушной каверне, на баржу можно установить подруливающие устройства, а на буксир винто-рулевые колонки, для повышения манёвренности судов в условиях рек Республики Беларусь. В качестве винто-рулевых колонок рассматриваются варианты колонок с малыми диаметрами винтов (до 800 мм), с системой автоматического подъёма при приближении к мелководному участку реки, что позволит защитить колонку, и позволит проходить мелководные участки практически не теряя скорости.

УДК 628.4.02

Цветкова О.В, Ямшанов И.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ВОДНЫХ И ПРИАКВАТОРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: Одним из способов решения проблемы использования городских водных и приакваториальных зон является тщательное изучение наиболее важных факторов, влияющих на характер применения этих территорий, дальнейшее развитие и поддержание их состояния. При анализе экологической, социальной и рекреационной инфраструктур производственных площадей необходимо учесть область возможного их применения. Это позволит наиболее точно подобрать метод реновации для дальнейшего развития и использования потенциала подобных участков. К тому же, множество водных объектов не могут выполнять свои функции вследствие их загрязненности результатами человеческой деятельности, из-за постоянно возрастающего антропогенного воздействия.

Ключевые слова: водный объект, приакваториальная территория, экология, факторы развития, загрязненность, инженерно-экологическое обустройство.

Потенциал множества водных объектов и их приакваториальных территорий фактически не используется. По этой причине города теряют значительное количество площадок, имеющих возможность стать местами притяжения общественной деятельности и отдыха жителей. На водных объектах должно происходить развитие не только экологической составляющей, необходимо осуществлять процесс и в направлении культурных интересов жителей города, повышая комфортность их проживания и обеспечивая рекреационную значимость территорий.

В настоящее время на городских территориях нашей страны сохранилось мало водных объектов не затронутых хозяйственной

деятельностью человека. В частности, это происходит вследствие стремительно нарастающей антропогенной нагрузки на природную среду, а также в результате роста темпов строительства, в частности на приэкваториальных территориях. Многие из водных объектов не справляются с подобной нагрузкой по причине чрезмерного поступления загрязнителей. Возникает множество проблем с рациональным использованием водных объектов и приэкваториальных территорий. Особенно это касается малых водных объектов. Города теряют значительное количество зон, способных стать местами для отдыха и общественной деятельности жителей. Для этого необходимо не только сохранять целостность и равновесие, но и тщательно подбирать методы развития водных объектов и прибрежных пространств. Их биологическое разнообразие способствует определению их в качестве рекреационных зон.

В связи с поступлением загрязняющих веществ в водные объекты, происходит их загрязнение различными химическими элементами, а также их соединениями. Это, например, растворы и удобрения, попадающие через почву в пресные воды в результате выщелачивания, химикаты. Бытовой мусор, продукты промышленной деятельности, сточные воды производственных процессов и вспомогательных систем. Наиболее часто причиной загрязнения является сброс нефтепродуктов и тяжелых металлов. Это могут быть не только физические, химические или органические загрязнения, здесь присутствуют и тепловые загрязнения в результате спуска в водоемы воды от электростанций. Вследствие этого, существует огромное количество озер, превращающихся в зарастающие водоемы, заполненные водорослями и становящиеся непригодными по бактериальным и санитарным показателям.

В первую очередь, для развития приэкваториальной территории необходимо решить проблему загрязненности водных объектов, при наличии таковой, и восстановить их экологический баланс. Одновременно с этим, нужно отметить, что чисто технический подход к решению этого вопроса будет малорезультативным. Помимо применения инженерных методов, следует бороться с причиной - внешней антропогенной нагрузкой. После инженерно-экологического обустройства необходимо проводить мониторинг водных объектов и следить за их изменениями.

Таким образом, восстановление водных объектов следует производить в несколько этапов. На первом – проверка их экологического состояния, то есть качества воды и биологического разнообразия, различных характеристик источников загрязнения, состояния водосборного бассейна, назначение водопользования. Второй этап – разработка и проведение инженерно-

экологических и инженерно-технических мероприятий. Он включает в себя устранение источников загрязнения – например, изоляция речного русла от потока загрязненных вод, очистка и реабилитация загрязненных вод, стимуляция процессов самоочищения, очистка водных объектов от донных отложений, восстановление прибрежных зон, повышение их привлекательности. Последний этап – мониторинг функционирования системы и действия произведенных работ для поддержания их состояния.

Помимо инженерных методов для решения проблемы нужно бороться с ее причиной, а именно с внешней нагрузкой. Необходимо снизить количество поступления загрязняющих веществ, в этом случае экосистема сможет сама отрегулировать количество растительности.

Для понимания акцентных точек и формирования более востребованного назначения территории выявлены наиболее важные факторы, влияющие на развитие и популярность приакваториальных пространств:

- Целевая аудитория и направленность пространства
- Продвижение и реклама пространства
- Дизайн и архитектурные решения
- Количество услуг и их функциональность, в том числе для МГН
- Инвестиции
- Экологический фактор
- Благосостояние района
- Инженерное благоустройство пространства, в том числе озеленение территории
- Транспортная доступность и инфраструктура
- Уникальность места
- Безопасность и санитарно-гигиенические характеристики территории
- Информационное сопровождение на территории

При этом необходимо помнить о том, что возможно возникновение отрицательного воздействия от туристического фактора. Во избежание этого необходимо продумать все возможные негативные последствия и предпринять меры по их предотвращению. С этой целью можно ограничить поток посетителей или выделить определённое время на пребывание, установить правила пользования объектом и организовать постоянное наблюдение.

Вывод:

В результате проведенного исследования была выявлена проблема загрязненности водных объектов и приакваториальных территорий и их нерационального использования. Из-за этого фактора города теряют множество площадок, имеющих возможность стать местами для отдыха и общественной деятельности жителей.

Выделен подход к решению этого вопроса для повышения его результативности. Выявлены этапы восстановления водных объектов и мероприятия, способствующие возобновлению их экологического равновесия.

Отмечено, что технического подхода для решения сформулированной проблемы недостаточно. Помимо инженерных методов для её решения нужно бороться с её причиной, а именно - с внешней нагрузкой. При этом важно помнить, что для большей эффективности, после инженерно-экологического обустройства, необходимо проводить мониторинг объектов, попавших под восстановление или реструктуризацию.

Выявлены наиболее важные факторы, влияющие на развитие и использование потенциала приакваториального пространства. Поставлен акцент на важность сохранения полной чистоты и жизнедеятельности водных объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Задворянка Т. И. Современные тенденции освоения акваторий и приакваториального пространства как импульс к переосмыслению идеологии градостроительства // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, строительство и архитектура. 2008. № 2 (10). С. 146–154.

- Безносков В.Н., Родионов В.Б., Суздалева А.А., Колесникова Е.Л. Оценка состояния малых городских водных объектов и пути их инженерно-экологического обустройства – Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. М.: Изд. ОАО «НИИЭС». 2007. Вып. 16. С.216-228.

- Суздалева А.А., Горюнова С.В. Возможные пути решения экологических проблем малых городских рек – Системная экология. Вып.5-6. Сб. научн. трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Изд-во РУДН. 2004. С.79-82.

УДК 627.824

Барило А.К., Бышинский В.В.

Научный руководитель: ассистент Немеровец О.В.

Белорусский национальный технический университет

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗМЫВА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ ПЕРЕЛИВЕ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ

Для изучения процесса размыва грунтовых плотин при переливе воды были проведены эксперименты. Опыты по размыву проводились на моделях в

лотке шириной 0,32 м (рисунок 1), высота моделей составляла 0,4 м. На стенку лотка нанесена координатная сетка с шагом 5 см. Для мониторинга уровней и скоростей в лотке при прохождении волны использовался многоканальный измерительный комплекс (рисунок 2).



Рисунок 1 – Лоток с размещённой моделью плотины

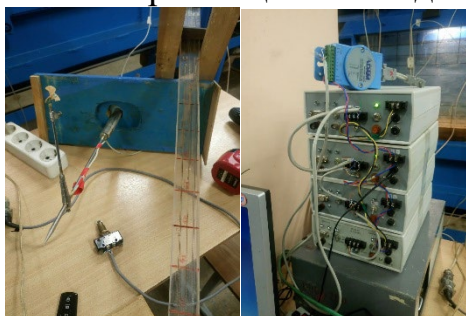


Рисунок 2 – Многоканальный измерительный комплекс для измерения уровней и скоростей в лотке при прохождении волны

Опыты проводились на песчаных моделях из среднезернистых песков со следующими размерами: высота 0,4 м, ширина по гребню 0,3 м, заложение верхового откоса 1:2,0, низового – 1:2,0. Расход воды, поступающий 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.

При исследовании процесса размыва главную роль играют силы тяжести. Поэтому главным критерием при моделировании является критерий Фруда Fr . Должно соблюдаться условие

$$Fr_m = Fr_n = v^2 / gh = i_{dem},$$

где Fr_m – критерий Фруда модели;

Fr_n – критерий Фруда натурного объекта.

По результатам проведенных опытов получена следующая картина размыва моделей плотин. С началом перелива, когда расход через размываемую плотину еще незначителен вследствие малого напора на гребне, уровень воды в верхнем бьефе продолжает подниматься. Момент времени, при котором достигается равенство расходов через размываемую плотину и приточности 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 падает.

Формирование водосливной поверхности размываемой плотины является результатом взаимодействия с ней переливающегося потока, в процессе которого одновременно с изменением очертания водослива изменяются и гидромеханические параметры потока. Размыв модели происходит в следующей последовательности. В первые секунды, когда толщина переливающегося слоя воды на низовом откосе очень мала и к тому же происходит интенсивное впитывание ее в тело плотины, размыв происходит путем постепенного переотложения вымытых частиц грунта по откосу и носит дискретный характер. С увеличением расходов и глубин эта картина достаточно быстро меняется. Профиль плотины со стороны низового откоса заметно деформируется, следуя профилю свободной поверхности потока. При этом откос размывается примерно равномерно по всей длине как бы параллельными слоями. Если принять условие предельного насыщения потока наносами в каждом сечении, то это может означать, что транспортирующая способность его вниз по откосу возрастает, достигая наибольшей величины в нижней части, вероятно, в сжатом сечении.

На гребне со стороны верхового откоса в этот период наблюдается лишь передвижение отдельных частиц грунта. Практически деформаций там нет, и отметка гребня на данной стадии постоянна.

После полного размыва низовой призмы на всю ширину гребня начинается интенсивное снижение его. Гидравлическая картина на данном этапе схожа с истечением через водослив практического профиля, как по форме кривой свободной поверхности, так и по очертаниям, постоянно трансформирующимся в процессе размыва. На рисунке 3 представлен процесс размыва в виде мгновенных профилей при расходе $Q_0=8,6$ л/с.



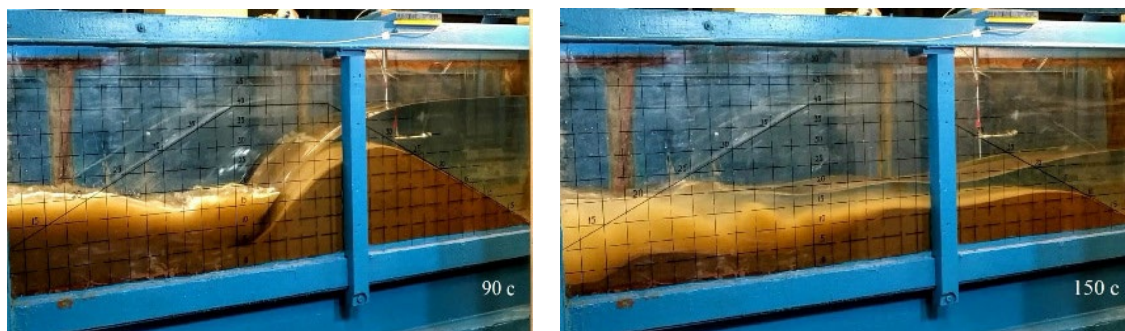


Рисунок 3 - Физическая картина размыва модели плотины при расходе $Q_0=8,6$ л/с

УДК 626

Немченя Р.А.

Научный руководитель - ассистент Немеровец О.В.

Белорусский национальный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОУЗЛА

В последние годы увеличивается количество чрезвычайных ситуаций, которые приводят к значительному ухудшению качества земель и ущербу населенным пунктам. Наводнения являются одним из часто повторяющихся стихийных бедствий, охватывающих большие территории и превосходящих по наносимому ущербу многие другие чрезвычайные ситуации. Среди основных причин, приводящих к большим ущербам от паводков, можно назвать отсутствие достоверных прогнозов опасности затопления территорий, отсутствие законодательно закрепленных правил хозяйственного использования земель, подверженных сезонным затоплениям.

Учитывая обширность речных пойм и быстроту протекающих на них процессов затопления, рекомендовано использовать методы дистанционного зондирования Земли из космоса. Важными преимуществами этих методов являются большая обзорность, возможность регулярного отслеживания состояния земной поверхности, высокая оперативность получения информации об интересующем районе, и интеграция в геоинформационные системы (ГИС). Существует методика моделирования затопления территории по космическим снимкам высокого пространственного разрешения в сочетании с данными об уровнях воды, определяемых на гидропостах. Методика состоит из трех последовательных этапов: I этап – формирование базы данных космических снимков территории, включающий анализ

развития половодий и водного режима рек, составление графиков максимальных уровней для гидропостов, расчет обеспеченности уровней воды, выявление периодов стояния высоких вод с целью заказа архивных космических снимков на даты максимального разлива вод, анализ архивов поставщиков данных дистанционного зондирования Земли, обработка космических снимков в специализированном программном обеспечении; II этап – создание геоинформационной базы данных зон затопления; III этап – моделирование затопления территории с составлением карты затопления территории при различных уровнях обеспеченности. Но геоинформационная база данных затопления территорий, полученная по космическим снимкам, имеет значительный недостаток – ограниченное число моделей затопления, которое зависит от наличия космических снимков территории при различных уровнях воды.

УДК 624.042.7; 624.01:550.34

Повколас К.Э.

Белорусский национальный технический университет

СПОСОБ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ВНУТРИ ПРОМЗДАНИЯ

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 свай может быть заполнено легко сжимаемым демпфирующим материалом. Нижний участок свай заглубляется в несущий слой грунта на глубину 1-2 м. Величина заглубления определяется требуемой несущей способностью фундамента.

На рисунках 1 и 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.

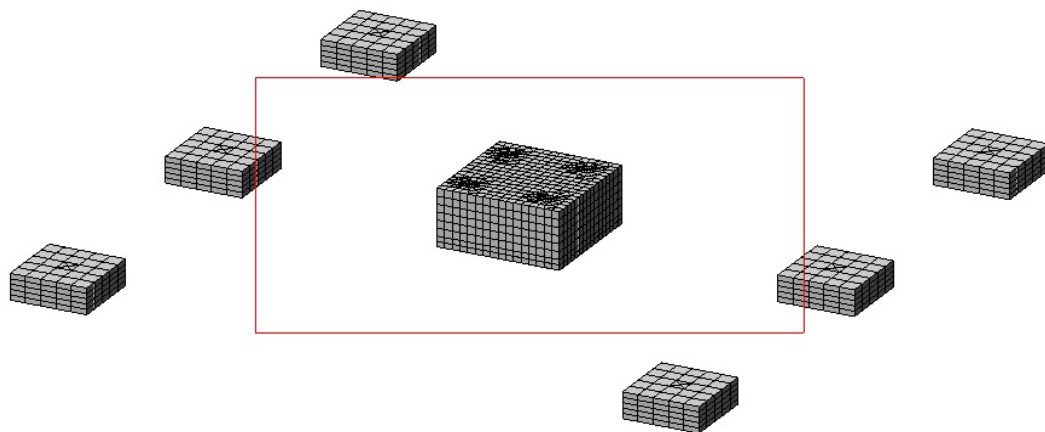


Рис. 1. Взаимное расположение фундамента под установку (в центре) и несущих столбчатых фундаментов здания

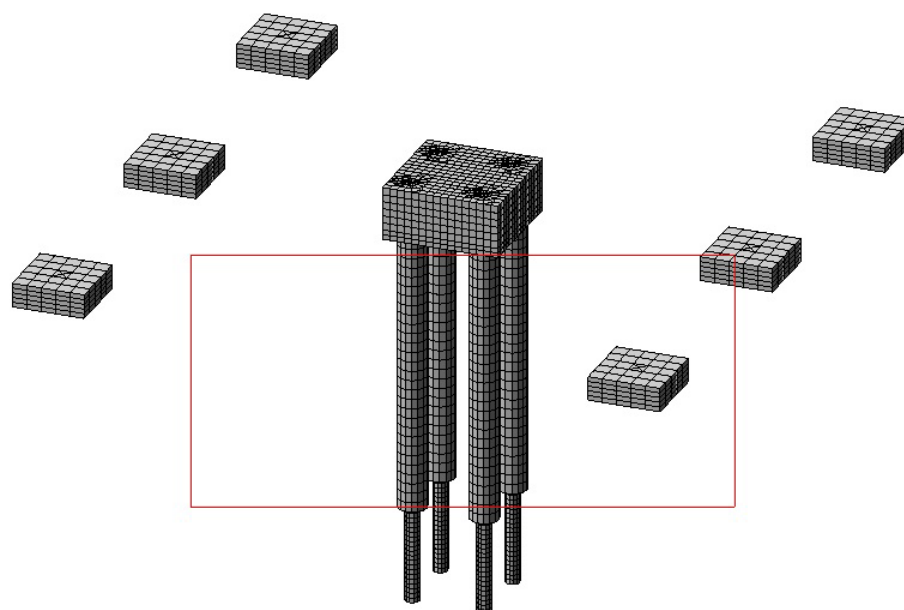


Рис. 2. Конечно-элементная схема виброизолированного фундамента.

Расчётная 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 $E=2000 \text{ т/м}^2$;
- коэффициент Пуассона $\nu=0,35$;
- удельная плотность $R_0=1,8 \text{ т/м}^3$.

Фундаменты расположены на грунтовой массе размерами в плане 40x40 м высотой 18 м.

Расчет производится в ПК «LIRA» с использованием расчетного комплекса «Динамика+». Расчетный период – 0,5с.

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 таблице 1.

Таблица 1. Амплитудные значения перемещений, скорости и ускорения по результатам расчета конструкции с вибродинамической установкой, выполненной на фундамента мелкого заложения без виброизоляции

Направление	Параметр колебаний	В точке приложения динамической нагрузки		На столбчатом фундаменте здания	
		Максимальная величина	Момент времени $t_A, \text{ с}$	Максимальная величина	Момент времени $t_A, \text{ с}$
Вертикально (по оси Z)	Перемещение $\Delta_z, \text{ мм}$	-0.305	0,030	-0,044	0,128
	Скорость $v_z, \text{ мм/с}$	-21,06	0,014	-1,969	0,104
	Ускорение $a_z, \text{ мм/с}^2$	-4323	0,012	-107,4	0,082

Сваи виброизолированного фундамента железобетонные круглого сечения диаметром $d=150 \text{ мм}$ глубиной 8 м. Каждая свая помещена в обсадную трубу из полиэтилена на глубину 6 м (см. рис. 2) и заглублена в грунт на 2 м. Расчетные параметры обсадной трубы:

- диаметр $d_I=600 \text{ мм}$;
- толщина оболочки $t_I=0,7 \text{ см}$;
- модуль продольной упругости $E=124000 \text{ т/м}^2$;

- коэффициент Пуассона $\nu=0,44$;
- удельная плотность $R_0=0,95\text{т/м}^3$.

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+». Результаты расчета представлены в Приложении 4, рисунки П4.1-П4.12. В таблице 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 $t_A, \text{с}$	Значение	Момент времени $t_A, \text{с}$
Вертикальное (по оси Z)	Перемещение $\Delta_z,$ 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 631.6:626.86

И.Ч. Казьмирук, А.А. Левицкий, И. Хрущик

Белорусский национальный технический университет

РОЛЬ ФИЛЬТРОВ ДРЕН В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ДРЕНАЖА

Для осушения сельскохозяйственных угодий закрытым дренажем применяют пластмассовые трубы, обернутые фильтром, препятствующим попаданию в полость частиц грунта, которые могут вызвать заиливание труб. Частицы, диаметр которых менее 0,03-0,05 мм, не вызывают заиливания дренажных труб, поскольку транспортирующая скорость воды в дренах и коллекторах выше скорости выпадения их в осадок. Транспортирующая скорость потока составляет 0,1-0,18 м/с для пылеватых частиц диаметром 0,005-0,05 мм и 0,25-0,35 м/с – для глинистых [1]. Поскольку грунт присыпки имеет разнородную структуру, то вынос мелких частиц должен способствовать осаждению на фильтре более крупных, образующих слой повышенной водопроницаемости. После вымывания мелких частиц соединительная структура крупных прилегает к фильтрующему материалу и образуется естественный фильтр, который последовательно уменьшает вымывание, вплоть до его полного прекращения. Дренажная система начинает работать по принципу «обратного фильтра» значительно увеличивая эффективный диаметр дрены, что увеличивает водопримную способность дрен. Понятие «эффективный диаметр» впервые предложено В.В. Ведерниковым [2]. Эффективность работы дренажа и срок его службы зависит от технологии закладки (траншейный, бестраншейный дренаж) [3] и от вида фильтра труб. Исходя из принципа пространственной неоднородности физических свойств почвогрунтов и протекающих процессов фильтрации при их осушении, предугадать, тем более способствовать формированию естественного фильтра по всей длине дренажной линии является трудоемкой задачей.

Несмотря на то, что применение фильтра на дренажной трубе приводит к увеличению ее стоимости, эффективность осушительного действия значительно повышается. Учитывая, что дренажные трубы оборачиваются фильтром на заводе-изготовителе машинным способом, применение пластмассовых труб позволяет максимально механизировать процесс строительства закрытого дренажа, минимизирует ручной труд, тем самым увеличивает производительность труда.

Пористая структура фильтра, которым обернуты дренажные трубы, предназначена, в том числе и для стабилизации физического состояния осушаемого грунта [4]; она исключает истечение грунтовой массы через перфорационные отверстия дренажной трубы в пылеватых и суффозионных грунтах. Наличие фильтра позволяет избежать сужения потока на входе в перфорационные отверстия дренажных труб, тем самым снизить градиенты напора в околдренной области и уменьшить скорость выноса частиц из осушаемого грунта. Фильтр является преградой между фильтрационным потоком, несущим взвешенные частицы грунта и полостью дренажной трубы. Уменьшая скорость заиливания дрен, фильтр увеличивает долговечность закрытой осушительной сети.

Для получения достоверных сведений о работе фильтров в различных грунтовых условиях, следует учитывать и ранее накопленный опыт. Е.Г. Сапожников [5] считает, что многолетний опыт строительства и эксплуатации закрытого дренажа показал, что для обеспечения его [дренажа] эффективной и надежной работы во многих грунтах обязательно применение защитных фильтров. А.И. Мурашко [6] отмечал, что применяя защитные фильтры можно значительно уменьшить площадь перфорационных отверстий в дренах без уменьшения осушительного эффекта. Так, при сплошной обертке полиэтиленовых дрен стеклохолстом в качестве фильтра, водоприемная способность труб с площадью перфораций 4-6 см²/м отверстий становится такой же, как и труб с площадью перфораций 20-24 см²/м, но без фильтра. Место, занимаемое дренажным фильтром в осушительных системах, настолько ответственно, что выход его из строя может свести на нет все усилия по осушению.

Проводя исследования в различных по гранулометрическому составу грунтах, А.И. Мурашко [6] отмечал: в связных грунтах защитные фильтры на увеличение приточности воды к дренам влияют не в меньшей степени, чем в песчаных. Г.Е. Батурин и Е.Г. Климова считают, что одним из основных элементов закрытого горизонтального дренажа является фильтр. Назначение и роль его состоит в повышении водоприемной способности, предотвращении выноса частиц дренируемого грунта и заиливания дрен [7]. Бельгийские и голландские ученые [8, 9] считают, что фильтры из долговечных (искусственных) материалов допустимо применять только в песчаных грунтах, т.к. в пылеватых происходит их кольматация. Результаты их опытов показывают, что маты из синтетических волокнистых материалов с диаметром пор менее 0,2 мм в неустойчивых пылеватых грунтах и подвержены кольматации. При увеличении диаметра пор до 1 мм кольматации не происходит (в случае, если используется фильтр из смеси органических и

синтетических волокон, что обеспечивает увеличение пористости фильтра за счет разложения органической части). Бельгийские авторы рекомендуют применять фильтры толщиной не менее 5...10 мм.

Обоснована необходимость применения фильтров на дренах осушительной мелиоративной сети, подбор которых должен быть осуществлен с учетом всех требований, предъявляемых к материалу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Меламут, Д.Л. Гидромеханизация в мелиоративном и водохозяйственном строительстве. / Д.Л. Меламут, – М., 1981. – С. 89.
2. Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации дренажа / В. В. Ведерников. – М. : Стройиздат, 1939. – 172 с.
3. Зайдельман, Ф. Р. Оценка бестраншейного пластмассового и гончарного дренажа на серых оглеенных почвах / Ф. Р. Зайдельман, И. В. Ковалев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 4. – С. 31-32.
4. Истомина, В. С. Фильтрационная устойчивость грунтов / В. С. Истомина. – М. : Госстройиздат, 1957. – 296 с.
5. Сапожников, Е. Г. Техничко-экономическое обоснование конструкций дренажных фильтров / Е. Г. Сапожников // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 6. – С. 51-53.
6. Мурашко, А. И. Защита дренажа от заиления / А. И. Мурашко, Е. Г. Сапожников. – Минск : Ураджай, 1978. – 168 с.
7. Батурин, Г. Е. Потребность в фильтрующих материалах при развитии закрытого горизонтального дренажа в хлопкосеющих республиках. [Электронный ресурс] / Г. Е. Батурин, Е. Г. Климова. – 1981. – Режим доступа <http://www.cawater-info.net/pdf/baturin-klimova.pdf>. – Дата доступа: 21.09.2020.
8. Blair, J. C. Permeability testing of geotextiles / J. C. Blair, I. E. Bell, E. G. Hicks // Transportation Research Record. – 1981. – N 847. – P. 1-6.
Ritzema, H. P. Drainage principles and applications, ILRI Publication 16 / H.P. Ritzema // International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), P.O. – Netherlands : Wageningen, 1994. –Box 45– 1125 p.

УДК 624.137

Е.А. Яковлев

Белорусский национальный технический университет

КОНСТРУКЦИИ БЕРЕГОВЫХ КРЕПЛЕНИЙ ЗЕМЛЯНЫХ ОТКОСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ НА МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ

Научный руководитель – Казьмирук И.Ч., к.т.н., доцент,

Введение. На всех сельскохозяйственных землях Беларуси наблюдается превышение количества атмосферных осадков над испарением, что в свою очередь влияет на выбор мелиоративных мероприятий и преимущественно

проводится осушение земель. В качестве водоприемников осушительных мелиоративных систем используют водоемы и водотоки. Малые реки в естественном состоянии в большинстве случаев не могут служить водоприемниками, поскольку имеют низкую водопрпускную способность и не обеспечивают своевременный прием и отвод с осушаемых территорий избыточных вод. Поэтому в годы интенсивного мелиоративного освоения переувлажненных земель Беларуси практически все малые и средние реки, находящиеся в зоне влияния мелиоративных систем, подверглись в той или иной степени регулированию стока или русла с целью создания благоприятного уроченного режима, обеспечивающего работу мелиоративной системы.

Конструкции крепления откосов каналов. На территории республики малые реки практически повсеместно используются в качестве водоприемников и водоисточников мелиоративных систем и в большинстве случаев (85%) подверглись различным инженерным преобразованиям. К настоящему времени число частично или полностью канализированных (спрямленных) рек в республике составляет 1520, из которых 507 спрямлены по всей длине от истока до устья [1]. При проектировании и расчете каналов открытой регулирующей сети определяют их глубину, расстояние между осушителями, размеры поперечных сечений, уклоны и скорости течения. Глубина осушителей зависит от сельскохозяйственного использования земель и других факторов.

Глубокие каналы применимы при осушении пойменных земель. Они позволяют понизить уровень грунтовых вод значительно быстрее. Условия работы глубоких каналов отличаются от условий работы каналов низинных болот. При осушении пойм глубокие каналы должны сбрасывать в водоприемник поверхностные воды и понижать уровень грунтовых вод.

Большое значение имеет устойчивость и пропускная способность открытых каналов, на которых могут происходить эрозионно-аккумулирующие процессы. Проводящая сеть заиляется, уменьшается площадь живого сечения и не обеспечивается своевременный отвод воды.

В половодье наблюдается осаждение наносов в периоды подпора и размыв русла в периоды образования кривой спада. Установлено [2], что в течение 4...7 лет после углубления русло снова заиляется, возвращаясь практически в положение до углубления. Интенсивность этого процесса составляет: для рек-водоприемников - 10...15 см/год, для магистральных и водопроводящих каналов - 5...7 см/год.

Основными причинами переформирования проектных параметров русел мелиоративных каналов и рек-водоприемников является непостоянство

во времени руслового режима, вследствие изменчивости воздействий транзитных потоков и других факторов (промерзание и оттаивание грунта, интенсивность поступления наносов и др.). Наиболее распространены такие виды деформаций, как заиление и зарастание русел, размывы откосов и их оплывание [2].

Бровки русла и особенно подводная часть откосов в неустойчивых грунтах подвержены размыву русловым потоком на тех участках, где скорости превышают допустимые на размыв. Периодический процесс размыва и отложения наносов в несвязных грунтах идет в направлении увеличения ширины русла и уменьшения его глубины до тех пор, пока не наступает относительное равновесие между поступающей и уходящей частями баланса наносов на рассматриваемом участке.

Если по расчету откосы канала оказываются неустойчивым к размыву или фильтрационному давлению, то его крепят. При выборе способа и конструкции крепления исходят из характеристик и величины действующих на откос сил, грунтовых условий, гидрологического и гидравлического режима работы, а также из наличия материалов и средств механизации для производства работ.

Наибольшее распространение получили крепления из местных материалов: плетневые стенки, фашины (хворостяные канаты), одерновка, а также наброска (пригрузка) из камня, щебня и гравия. Бетонные крепления применяются в основном для крепления гидросооружений и на ответственных неустойчивых участках водотоков.

Долговечность каналов в большей степени зависит от крепления дна и откосов. Поэтому в Литовской ССР [3] крепят все каналы (за исключением каналов на польдерах) осушительных систем. Применяют дерн, хворост, камень, гравий, бетонные и железобетонные плиты, лотки.

Распространенный способ крепления – посев многолетних трав. Посев необходимо проводить сразу после устройства нового канала или после планировки откосов после подчистки канала. Неукрепленные откосы деформируются. Устранение деформаций требует финансовых затрат, которых можно избежать, своевременно укрепив откосы каналов.

Работы по устройству крепления трудоемки, но они окупаются надежной работой регулирующей и проводящей сети, увеличивают срок службы и межремонтные периоды.

Стоимость крепления откосов с применением местного материала (дерн, хворост, почвогрунт) отличается дешевизной по сравнению с применением бетонных и железобетонных плит. Наиболее широкое применение получили крепления в виде плит и каменной наброски.

Крепление откосов монолитными плитами позволяет полностью механизировать их устройство. Недостатком монолитного крепления является чувствительность к неравномерным осадкам, что приводит к образованию трещин.

На мелиоративных каналах могут применяться и легкие крепления. Их изготавливают из геосинтетических материалов. Они препятствуют разрушению берегового откоса путем создания дополнительных сопротивлений и гашения энергии волн.

Достоинством легких креплений является сравнительно небольшая трудоемкость (за счет незначительного веса), их невысокая стоимость.

Выводы. Приведенная краткая характеристика эрозионно-аккумуляционных процессов каналов и рек-водоприемников. Выполнен краткий обзор по способам крепления откосов земляных каналов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брилевский, м реки беларуси. Описание основных рек бассейна черного моря: родная прырода. – 2012. – №6. – с.25-43.
2. Карнаухов, в. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на открытой сети мелиоративных систем. / в. Н. Карнаухов. – мн., 2013. – 347 с.
3. Сакалаускас, а. И. Результаты исследований гидрологического действия больших дренажных систем / а. И. Сакалаускас // труды литовского нии гидротехники и мелиорации. – 1974. – т. 9. – с. 25-38

УДК 624.132

Левицкий А.А.

Научный руководитель Селезнев В. И., кандидат технических наук
Белорусский национальный технический университет,

РАСЧЕТ ОБЪЕМА КОТЛОВАНА ПО КООРДИНАТНЫМ ТОЧКАМ

Земляное сооружение представляет собой результат разработки грунта механизированным или ручным способом. Оно возводится на поверхности грунта или устраивается в грунтовом массиве [1].

Объем земляных работ определяет стоимость по их выполнению, выбор методов и средств производства работ, типы машин и механизмов. Точность расчета определяет соответствие рассчитанного объема действительному и указывает на качество разрабатываемого проекта. Объемы земляных работ на стадии проектирования можно определить по расчётным формулам и чертежам, а при производстве работ - по натуральным замерам.

Земляными сооружениями, имеющими наибольший объем являются котлован (при строительстве зданий и сооружений) и траншея (при строительстве коммуникаций), а так же объем по планировке площади, т.е. ее выравниванию, приданию в каждой точке единой геодезической отметки. На стадии составления проекта необходимо рассчитать объем котлована, от которого зависит состав работ по выемке, обратной засыпке и вывозу излишков грунта.

Геометрические размеры земляного сооружения на неспланированной территории в значительной степени зависят от рельефа местности. Котлован относится к временным сооружениям и при окончании работ нулевого цикла котлован засыпается.

Предложен способ расчета объема котлована по координатным точкам. Математический метод (автор Левицкий А.А.) Суть данного способа расчета заключается в определении площади сечений котлована, при нахождении его объема, используя координаты вершин в задаваемой декартовой системе координат.

На основании исходных данных выбирается сечение, представленное обычно в виде четырёхугольника (рисунок 1), площадь которого необходимо найти. Далее задается новая декартова система координат с центром в точке O (рисунок 1 сечение 2-2). При таком её расположении координаты точек C и D находятся, в соответствии с заданными параметрами котлована, по следующим зависимостям

$$y_D = y_C = -H_K, \quad (1)$$

$$x_C = \frac{B_K^H}{2}, \quad (2)$$

$$x_D = -\frac{B_K^H}{2}, \quad (3)$$

где: H_K – глубина котлована, м;
 B_K^H – ширина котлована по низу, м.

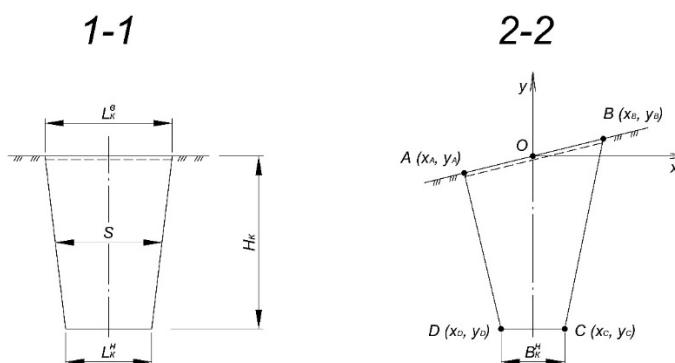


Рисунок 1. Схема котлована

Для определения координат точек A и B прямые AB , BC и AD представляются уравнениями прямых с угловым коэффициентом, имеющих следующий вид

$$y = kx + b. \quad (4)$$

Учитывая то, что прямая AB проходит через начало системы координат, то значение коэффициента b_{AB} будет равно нулю. Угловым коэффициентом этой прямой, k_{AB} , определяется на основании исходных данных и выбранного сечения, как отношение разности отметок между выбранными точками по линии сечения к расстоянию между этими точками, по следующей зависимости

$$k_{AB} = \frac{|H_1 - H_2|}{L_{1-2}}, \quad (5)$$

где: H_1 и H_2 – отметки поверхности земли соответственно первой и второй точек по линии сечения, м;

L_{1-2} – расстояние между выбранными точками по линии сечения, м.

Значение коэффициента k_{AB} будет положительно при наклоне линии AB вправо, и отрицательным при наклоне влево.

В соответствии с заданными условиями, угловые коэффициенты прямых AD и BC будут равны между собой по модулю и обратно пропорциональны коэффициенту заложения откосов котлована. С учетом их наклона к оси абсцисс, в соответствии с рисунком 1, угловые коэффициенты этих прямых будут равны

$$k_{BC} = \frac{1}{m}, \quad (6)$$

$$k_{AD} = -\frac{1}{m}, \quad (7)$$

где: m – коэффициент заложения откосов котлована.

Коэффициент b_{AD} прямой AD в таком случае будет равен коэффициенту b_{BC} прямой BC , который можно определить по формуле

$$b_{AD} = b_{BC} = -\left(H_k + \frac{B_k^H}{2m}\right). \quad (8)$$

Найдя все значения коэффициентов уравнений прямых линий AB , BC и AD , определим координаты точек их пересечения, x_A , y_A , x_B , y_B , решая следующие системы уравнений

$$\begin{cases} y_A = k_{AB} \cdot x_A \\ y_A = k_{AD} \cdot x_A + b_{AD} \end{cases}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} y_B = k_{AB} \cdot x_B \\ y_B = k_{BC} \cdot x_B + b_{BC} \end{cases} \quad (10)$$

На основании полученных результатов используя формулу Гаусса можно определить площадь сечения котлована

$$F = \frac{1}{2} |x_A y_B + x_B y_C + x_C y_D + x_D y_A - y_A x_B - y_B x_C - y_C x_D - y_D x_A|. \quad (11)$$

Для определения объема котлована полученную площадь поперечного сечения необходимо умножить на среднюю линию трапеции продольного сечения S (см. рис. 1), проходящего по горизонтали, которую можно определить по следующей зависимости

$$S = L_K^H + m \cdot H_K, \quad (12)$$

Таким образом объем котлована $V_{\text{кот}}$ можно найти по формуле

$$V_{\text{кот}} = F \cdot S. \quad (13)$$

Выводы

Математического метода (автор Левицкий А.А.) дает нулевую погрешность по сравнению с расчетом объема котлована по САПР AutoCAD. Следует отметить, что расчет по САПР AutoCAD основан на подсчете объема который равен реальному объему вынутаго грунта, поэтому предложенный метод расчета имеет высокую точность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Производство земляных работ при устройстве фундаментов / сост. Е.Г. Кремнева – Минск, 2008. – 172 с.

УДК 531.781.2

Ковалёнок Н.А., Быков, К.Ю

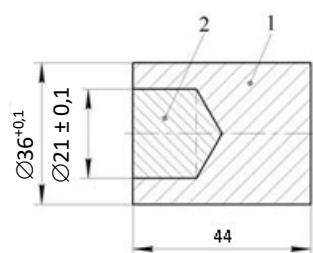
Научные руководители: Качанов И.В, Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ

Реализация процесса изготовления дорожных резцов заключается в скоростном деформировании предварительно нагретых составных заготовок (рис. 1), состоящих из корпуса резца и его рабочей части. Основой заготовки

(корпуса резца) может служить конструкционная легированная сталь 40X или 5XНМ, а в качестве рабочей части (наконечника) – быстро-режущие стали Р18, Р6М5, а также высоколегированные штамповые стали ДИ23, 5ХНМ, 3Х2В8Ф [2, 5]



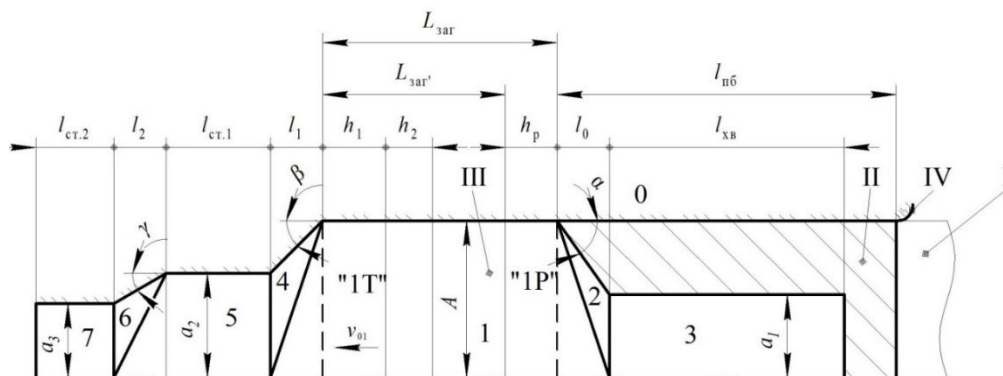
1 – корпус резца; 2 – рабочая часть

Рисунок 1 – Схема соединения заготовки

Для исследования скоростного пластического течения металла при формообразовании плоских биметаллических дорожных резцов была разработана модель динамического взаимодействия системы «пуансон – деформируемая заготовка».

В качестве основного метода исследований пластического формоизменения был выбран приближенный энергетический метод — метод верхней оценки.

Для расчета усилия P_n , воспринимаемого пуансоном в процессе выдавливания, было использовано кинематически возможное поле скоростей, преобразованное из действительного непрерывного поля линий скольжения (рисунок 1) путем линейной аппроксимации. Принятое поле скоростей состояло из недеформируемых блоков 0-7, в котором пластические области сосредоточены в треугольных зонах 2, 4, 6 и характеризуется постоянными значениями скорости и ускорения для всех точек указанных блоков, относительно неподвижной области [1–5].



I – пуансон; II – промежуточный боек; III – заготовка; IV – полуматрица [1]

Рисунок 1 – Кинематически возможное поле скоростей при скоростном выдавливании биметаллических дорожных резцов

Стоит отметить, что в ходе решения поставленной задачи процесс выдавливания разделялся на две стадии: стадию разгона ($P_{п.р.}$) и стадию торможения, состоящую из двух этапов ($P_{п1}$ и $P_{п2}$). Отличительной особенностью стадии разгона является то, что она позволяет провести анализ обратного выдавливания, в процессе которого металл течет в направлении противоположном ходу пуансона [1].

Для нахождения усилия $P_{п}$ воздействующего на пуансон на каждой стадии процесса, используя геометрические размеры пуансона $2A$, b ; коэффициенты вытяжки λ_1 , λ_2 , λ_3 ; параметры поля α , β , γ , были выражены границы блоков l_{rs} , определены массы блоков m_i и установлены соотношения между кинематическими параметрами точек деформируемой заготовки (v_{rs} , $(v_n)_{rs}$, ω_i , ω_i) и блока 1 (v_{01} , ω_{01}) [1, 2, 6].

Усилие, действующее на пуансон в процессе выдавливания, находилось из уравнения баланса мощностей внутренних и внешних сил [1, 2]:

$$W_{п} = W_{с.с} = W_{соб} + W_{дин} \pm W_{ин}, \quad (1)$$

где $W_{п}$ – мощность движущегося пуансона; $W_{с.с}$ – суммарная мощность сил сопротивления; $W_{соб}$ – мощность сил собственного сопротивления металла деформированию; $W_{дин}$ – мощность от действия динамических напряжений на поверхностях разрыва скоростей; $W_{ин}$ – мощность локальных сил инерции движущейся заготовки.

После определения, по известным зависимостям [2], всех составляющих мощности из уравнения (1), для каждой стадии процесса выдавливания, определялись оптимальные значения углов матричной полости α_{opt} , β_{opt} , γ_{opt} , при которых значения мощности сил собственного сопротивления имеют минимальные значения.

Полученные зависимости для определения оптимальных углов матричной полости α_{opt} , β_{opt} , γ_{opt} имеют вид [1]:

$$\alpha_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_1^2\mu + \lambda_1^2 - 2\lambda_1\mu - 2\lambda_1 + 1}{4\lambda_1^2\mu + 2\lambda_1^2 - 4\lambda_1\mu - \lambda_1 + 1}}. \quad (2)$$

$$\beta_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_2^2\mu + \lambda_2^2 - 2\lambda_2\mu - 2\lambda_2 + 1}{4\lambda_2^2\mu + 2\lambda_2^2 - 4\lambda_2\mu - \lambda_2 + 1}}. \quad (3)$$

$$\gamma_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_3^2\mu + \lambda_3^2 - 2\lambda_3\mu - 2\lambda_3 + 1}{4\lambda_3^2\mu + 2\lambda_3^2 - 4\lambda_3\mu - \lambda_3 + 1}}. \quad (4)$$

В выражениях (2)-(4) λ_1 , λ_2 , λ_3 – коэффициенты вытяжки, μ – коэффициент контактного трения.

Затем проведя ряд преобразований с использованием полученных уравнений (2)-(4) были определены зависимости для расчета минимальных

верхнеграницных усилий $P_{п.р., min}$, $P_{п1, min}$ и $P_{п2, min}$, воспринимаемых пуансоном на каждом этапе процесса [1]:

$$P_{п.р., min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[F_{1, opt}(\alpha, \lambda_1, \mu) + 2\mu h_p \frac{\lambda_1^2 + 1}{A} \right] + \rho v_0^2 F_{2, opt}(\alpha, \lambda_1) \right\}}{M - 2A^2 b \rho \left(F_{3, opt}(\alpha, \lambda_1) + h_p \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} \right)} \quad (5)$$

$$P_{п1, min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[F_{4, opt}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left(\frac{L_{зар'} - h_1}{A} + h_1 \frac{\lambda_2^2}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5, opt}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left(F_{6, opt}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1}{A} + h_1 \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} - \frac{h_p}{A} \right)} \quad (6)$$

$$P_{п2, min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[F_{4, opt}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left(\frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{A} + h_2 \frac{\lambda_2^2}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5, opt}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left(F_{6, opt}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{A} + h_2 \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} - \frac{h_p}{A} \right)} + \quad (7)$$

$$+ \frac{2AbM \left\{ k \left[F_{7, opt}(\gamma, \lambda_3, \mu) + 2\mu \left(h_2 \frac{\lambda_2^2 (\lambda_3^2 + 1)}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{8, opt}(\gamma, \lambda_2, \lambda_3) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left(F_{9, opt}(\gamma, \lambda_3) + h_2 \frac{\lambda_2^2 (\lambda_3^2 + 1)}{A} \right)}$$

Таким образом, полученные зависимости описывают силовой режим пластического течения металла при формообразовании плоских биметаллических дорожных резцов. Полученные уравнения являются в высокой степени корректными и могут быть использованы при разработке промышленной технологии скоростного, комбинированного, горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быков, К. Ю. Силовой режим скоростного комбинированного выдавливания плоских биметаллических дорожных резцов / К. Ю. Быков, И. В. Качанов, И. М. Шаталов // НАУКА и ТЕХНИКА. – 2021. – Т. 20, №4. – С. 287-295.
2. Здор, Г. Н. Технология высокоскоростного деформирования материалов / Г. Н. Здор, Л. А. Исаевич, И. В. Качанов. – Минск: БНТУ, 2010. 456 с.
3. Качанов, И. В. Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, В. В. Власов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 1. – С. 3–8.

4. Тутышкин, Н. Д. Соотношение на разрывах при динамической плоской деформации / Н. Д. Тутышкин // Технология машиностроения. – Тула, 1972. – Вып. 29 – С. 56–66.
5. Алюшин, Ю. А. Теория обработки металлов давлением / Ю. А. Алюшин – Ростов-н/Д: изд-во РИСХМА, 1972. – 85 с.
6. Качанов, И. В. Оптимизация режима нагружения при скоростном ударном выдавливании биметаллических плоскоступенчатых стержневых изделий / И. В. Качанов, В. В. Власов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. акад. навук. - 2018. - Т. 63, №1. - С. 43-52.

УДК 532.59

Комзолова Д.С., Смагин И.А.

Научные руководители: Шаталов И.М., Щербакова М.К.

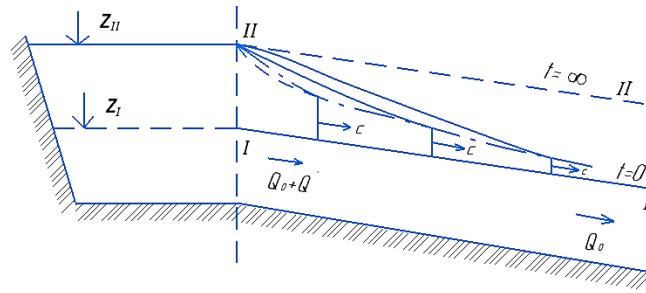
Белорусский национальный технический университет

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ
НАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОГОРЬЯ**

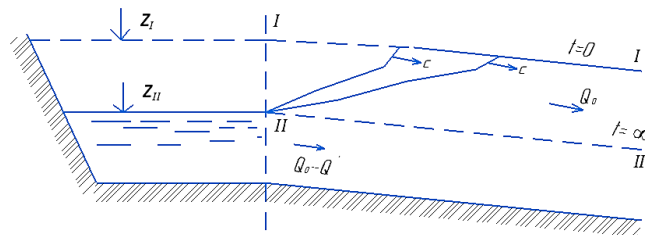
Неустановившееся движение потока воды в открытых руслах (реках и каналах) может возникать при прорыве плотин; в результате маневрирования затворами гидротехнических сооружений (шлюзов, водозаборов, гидроэлектростанций и т.д.); включения и выключения насосных станций. При этом неустановившееся движение в открытых руслах чаще всего принимает форму волны перемещения прямой или обратно, положительной или отрицательной [1].

Волны перемещения в этих случаях имеют строго направленное продольное движение (рис.1).

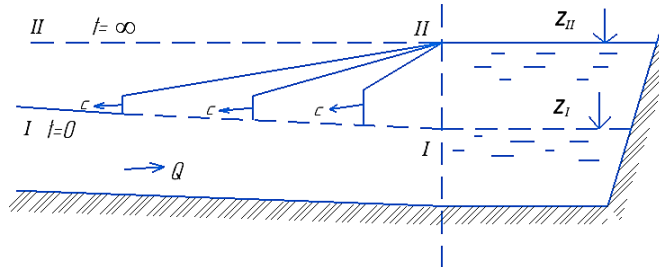
Для теоретического анализа и расчета такого движения обычно принимают плотность воды ρ (кг/м³) постоянной, а русло достаточно широким, т.е. $B \gg h$ (где B , м – ширина русла по урезу воды; h , м – глубина потока) и поперечное сечение русла близким к прямоугольной форме, а неустановившееся движение сравнивается с установившимся равномерным движением воды при котором силы трения и поверхность потока уравниваются проекцией силы тяжести, действие которой обусловлено продольным уклоном водотока.



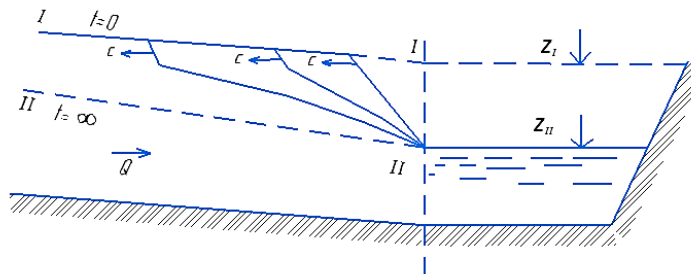
a – прямая положительная волна, или волна наполнения



б – прямая отрицательная волна, или волна отлива



в – обратная положительная волна, или волна подпора



г – обратная отрицательная волна, или волна излива

Рисунок 1 – Неустановившееся движение в открытом русле в виде волны перемещения

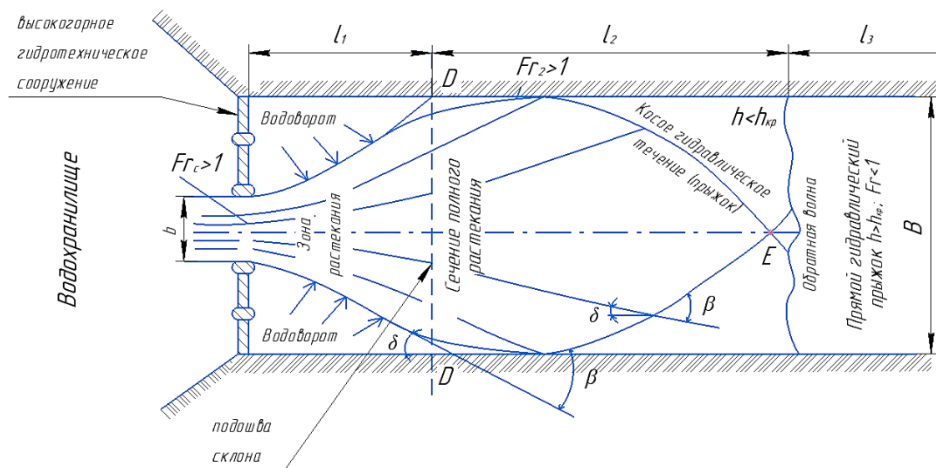
В реальных условиях (особенно в условиях возвышенностей или горного рельефа местности) разрушение напорного фронта гидротехнического сооружения (например, плотины) происходит с образованием трещины или прорана, через который происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается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

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

При этом на начальном, расширяющемся участке, волна является преломленной, а далее на последующих участках растекания потока волна становится отражённой (обратной) положительной с уменьшением расхода в конечном сечении (рис. 1, в), 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).



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)

Рисунок 2 – Схема растекания потока воды при условиях пространственно-изменяющегося неустановившегося движения

Рассмотрим более подробно движение преломленной волны на участке l_1 , которая представляет из себя прямую отрицательную волну неустановившегося движения, при котором глубины и расход жидкости будут постепенно или плавно увеличиваться вдоль по течению.

Рассматриваемое движение воды (рис. 2) может быть описано двумя дифференциальными уравнениями: уравнением баланса расхода (1) и уравнением динамического равновесия (2).

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

$$(i - AQ^2)g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (2)$$

Однако эти уравнения не учитывают пространственного изменения неустановившегося движения. Пространственное изменение неустановившегося движения сопровождается боковым притоком или оттоком жидкости (воды) по нормали или под некоторым углом к оси основного главного потока (рис. 2). Наличие такого притока или оттока вызывает изменение расхода на участке dl на величину dQ [1]. В этом случае количество движения, отнесенное к единице веса воды, протекающей в русле растекающегося потока, получает приращение, равное:

$$\frac{\alpha_0 \rho g v dQ}{g \rho g \omega dl} \quad (3)$$

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 (3) можно записать в частных производных:

$$\frac{\alpha_0 v^2}{g \omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} \quad (4)$$

Если в правую часть уравнения (2) добавить член, определенный выражением (4), то уравнение (2) переписывается в виде:

$$(i - AQ^2)g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v^2}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 v \frac{\partial v}{\partial l}$$

или

$$(i - AQ^2)g = \left(\frac{g}{B} + \alpha_0 \frac{v^2}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} + (\alpha + \alpha_0) v \frac{\partial v}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (5)$$

Выражение (5) 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по гидравлике / под ред. В.А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Высш. шк. Головное издательство, 1984. – 343 с.

2. Стриганова, М.Ю. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва и экспериментальные исследования потока в призматическом нижнем бьефе / М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – Т. 28, № 2. – С. 83–93.

3. Карпенчук, И.В. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва гидротехнических сооружений напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ін. героїв Чорнобиля, 2010. – С. 57–60.

УДК 669:620.197

Денисов В.А., Ковалёнок Н. А.

Научные руководители: Качанов И.В., Шаталов И.М

Белорусский национальный технический университет

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ИХ ОТ КОРРОЗИИ

Эффективность реализации целого ряда технологических процессов напрямую зависит от качества очистки поверхностей от коррозии [1–2]. Так, например, для подготовки стальных листов под лазерную резку (ЛР) (в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь насчитывается порядка 300 комплексов, на которых ежегодно разрезается более 80 тыс. тон листовой стали) необходимо после очистки от коррозии иметь высококачественную поверхность с шероховатостью $R_a = 0,4–1,0$ мкм с минимальным уровнем упрочнения (микротвердость H_{μ} после обработки по сравнению с исходным значением $H_{\mu 0}$ должна находиться в пределах $H_{\mu} = 1,5–1,6H_{\mu 0}$) и низкой отражательной способностью [3–5]. Обеспечение такого качества поверхности является экономически затратным.

Исследования, проведенные на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» («ГЭСВТГ») БНТУ показали, что весьма экономично и с гораздо меньшими затратами мощности можно подготовить листовые стальные материалы к последующей ЛР применяя для удаления продуктов коррозии реверсивно-струйную очистку (РСО), основанную на струйном воздействии рабочих жидкостей на обрабатываемую поверхность (рисунок 1). При этом в качестве рабочих жидкостей используются водные составы с добавками на начальном этапе очистки речного песка и бентонитовой глины – на завершающем этапе. При

такой последовательности обработки листовых материалов на очищенной поверхности формируется микронеровность R_a порядка 2–4 мкм, покрытая антикоррозионным защитным покрытием, которое имеет химсостав бентонитовой глины и характеризуется низкой отражательной способностью, что является актуальным при ЛР. Испытания на лазерных комплексах, относящиеся по типу к газовым лазерам, показали повышение скорости ЛР для образцов, обработанных по указанной технологии на 10–20 %, по сравнению, например, с материалами, очищенными с применением традиционных (дробеструйных, пескоструйных) технологий.

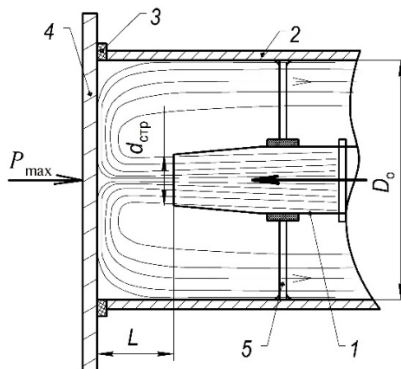


Рисунок 1 – принципиальная схема струйного устройства, предназначенного для реализации РСО

Экспериментальными исследованиями была установлена целесообразность проведения очистки в три этапа. При этом на первом этапе очистки для обеспечения повышенной производительности рабочая жидкость в струеформирующее сопло подавалась с высокой степенью абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность. В качестве такой рабочей жидкости, использовалась вода, содержащая речной песок с размером фракций 0,1–0,63 мм и полиакриламид. Концентрации речного песка $K_{р.п.}$ и полиакриламида $K_{п}$ в баке составляли соответственно 8–10 % и 10^{-6} – 10^{-2} % от общего объема рабочей жидкости. Предварительная подготовка речного песка по фракционному составу осуществлялось в устройстве гравитационного типа действия.

На втором этапе РСО использовалась чистая вода, подаваемая на обрабатываемую поверхность, с целью полной промывки ее от мелкодисперсных фракций речного песка, что необходимо для проведения третьего этапа очистки.

На третьем этапе осуществления РСО из рабочего бака по специальной трубе эжектировалась рабочая жидкость, содержащая воду, в которой были размешаны бентонитовая глина и кальцинированная сода с концентрациями соответственно $K_{б} = 5$ –20 % и $K_{к.с.} = 2$ –10 % от общего объема. Указанные концентрации после эжектирования в струйном сопле снижались в струе,

действующей на обрабатываемую поверхность, до значений $K_{б,с} = 2-5 \%$ и $K_{к.с.с} = 0,2-1,0 \%$. Указанные диапазоны были установлены как оптимальные при подготовке очищенной поверхности под ЛР.

При этом отличительным моментом реализации третьего этапа РСО является операция сушки образцов при комнатной температуре ($T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение 20–24 ч. Указанная операция позволяет сформировать на обработанной поверхности за счет заполнения впадин микронеровностей антикоррозионный защитный слой с толщиной δ , составляющий не менее 1,1–1,2 от максимальной высоты выступов микронеровностей $R_{a,max}$ ($\delta > 1,1-1,2 R_{a,max}$).

Апробация разработанной технологии РСО проводилась на опытном участке в ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат» на установке «КАМАТ К415А-Е45В» (ФРГ) (рисунок 2), способной развивать давления на входе в сопло $p_c = 63-120 \text{ МПа}$, что обеспечивало скорости струи на выходе из сопла $v_{стр} = 350-550 \text{ м/с}$.



Рисунок 2 – Установка «КАМАТ К415А-Е45В» (ФРГ), где проводилась апробация разработанной технологии РСО

В ходе проведенных промышленных испытаний установлены оптимальные режимы очистки: расстояние от сопла до очищаемой поверхности $L=15-60 \text{ мм}$, скорость струи $v_{стр}=150-200 \text{ м/с}$, давление $p_c = 18-23 \text{ МПа}$.

При обработке с указанными параметрами обеспечивается формирование шероховатости R_a на поверхности образцов из стали Ст3пс в диапазоне значений 2–4 мкм. Установлено, что после сушки образцов, обработанных рабочей жидкостью на основе воды с концентрациями бентонитовой глины и кальцинированной соды соответственно $K_{б,с}=2,0-5,0 \%$ и $K_{к.с.с} = 0,2-1 \%$, на всей очищенной поверхности образцов формируется защитное пленочное покрытие

со средней толщиной $\delta = 5\text{--}7$ мкм, которая в 1,5–2 раза превышает среднюю высоту выступов микронеровности R_a поверхности при очистке ее с использованием оптимальных параметров РСО.

Проведен анализ образовавшейся на поверхности очищенного образца, пленочного покрытия с установлением его химического состава и толщины. Установлено, что химическую основу пленочного покрытия составляют элементы, входящие в состав бентонитовой глины, являющейся основной компонентой рабочей жидкости на третьем этапе реализации технологии РСО.

В заключении следует отметить, что на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ Республика Беларусь (г. Минск) разработана современная энергоэффективная и ресурсосберегающая технология реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии перед лазерной резкой, позволяющая создавать высококачественную поверхность с шероховатостью $R_a = 2,0\text{--}4,0$ мкм с минимальным уровнем упрочнения и низкой отражающей способностью и обеспечивающая повышение скорости лазерной резки в среднем на 10–20%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Меркулов, В.Н. Перспективные процессы гидрообработки материалов в машиностроении / В.Н. Меркулов. – Киев: УкрНИИТИ, 1987. – 10 с.
2. Тихомиров, Г.А. Гидрорезание судостроительных материалов / Г.А. Тихомиров. – Л.: Судостроение, 1987. — 164 с.
3. Крайко, А.Н. Механика жидкости и газа. Избранное / Под общей ред. А.Н. Крайко. Ред.-сост. А.Н. Крайко, А.Б. Ватажий, Г.А. Любимов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 752 с.
4. Кудинов, В.А. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование / В.А. Кудинов, Г.В. Бобров. – М.: Металлургия, 1992. – 432 с.
5. Качанов, И. В. Теоретические и экспериментальные исследования по определению струйного давления рабочей жидкости на обрабатываемую плоскую поверхность / И.В. Качанов, А.В. Филипчик // Наука и техника. – 2012. – №1. – С. 79 – 85.
6. Памфилов, Е.А. Формирование качества поверхностей при лазерной обработке / Е.А. Памфилов, В.Д. Северин // Вестник машиностроения. – 1982. №4. – С. 46 – 48.
7. Устройство для очистки от коррозии плоских стальных поверхностей: пат. № 16526 Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/00, В63В 59/08 / Качанов И.В., Жук А.Н., Шаталов И.М., Шарий В.Н., Мяделец С.О.; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. - № а 20100719; заявл. 12.05.2012; опубл. 30.10.2012.

Рапинчук Д.В., Максимович А.В.

Научные руководители: Качанов И.В., Ключников В.А.

Белорусский национальный технический университет

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВАРИАНТЫ
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОРПУСА НЕСАМОХОДНОГО
СУДНА (НС)**

Речной транспорт является составной частью транспортной системы Республики Беларусь. Качество его работы оказывает влияние на состояние экономики страны и во многом определяется эффективностью организации перевозки грузов и организации работы флота [1].

В настоящее время деятельность речного транспорта Республики Беларусь в основном сосредоточена на добыче строительных материалов из русел рек и доставке их в порты назначения, а также на перевозке навалочных и наливных грузов (лесо- и пиломатериалы, кирпич, нефтепродукты и т. д.). Перевозка такого рода грузов осуществляется в РБ с помощью несамоходных судов или их составов в режиме буксировки или толкания. В последние годы широкое распространение для перевозки подобного рода грузов получило украинское направление по линии Мозырь-Херсон.

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что связано в свою очередь с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна, которая зависит от большого количества факторов, к основным из которых относятся геометрия обводов носовой и кормовой частей судна и соотношения основных размерений судна L/B (где L – длина судна; B – ширина судна).

В настоящей работе представлены основные результаты экспериментальных исследований воздействия гидродинамических факторов на варианты конструктивных параметров корпуса несамоходного судна и выбор оптимальных параметров корпуса несамоходного судна. Варианты конструктивных параметров корпуса несамоходного судна были представлены заказчиком работы в рамках договора №3751/21 от 30 августа 2021 г. «Экспериментальное исследование воздействия гидродинамических факторов на варианты конструктивных параметров корпуса несамоходного судна (компьютерное, натурное в гидродинамическом лотке) и выбор оптимальных параметров корпуса несамоходного судна» между ОАО «Белсудопроект» и филиалом БНТУ НИПИ.

Предварительно было проведено компьютерное моделирование несамоходного судна (НС) и изготовлены 3D-модели корпуса судна-прототипа с различной формой обводов и отношением L/B основных его размеров. За судно-прототип была выбрана баржа-проекта 775.

Изготовленные 3D-модели в масштабе 1:150 корпусов несамоходного судна с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными отношениями L/B были испытаны в гидродинамической лотке в гидравлической лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ с целью выбора оптимальных конструктивных параметров корпуса несамоходного судна и оценки влияния отношения размеров судна L/B на сопротивление движению 3D-моделей в режиме обращённого движения.

Для оценки силового воздействия потока использовался измерительный программно-аппаратный комплекс (ПАК) (рисунок 1) с применением тензодатчиков и с цифровой записью сил сопротивления, действующих на модели несамоходного судна в гидродинамической лотке в режиме обращённого движения. Гидродинамическая цифровая микровертушка ГМЦМ-1 (рисунок 2,3), использовалась для измерения мгновенных и осредненных скоростей и расхода (методом скорость течения \times площадь сечения). Для измерения общего расхода, в гидродинамической лотке, использовался треугольный водослив Томсона.

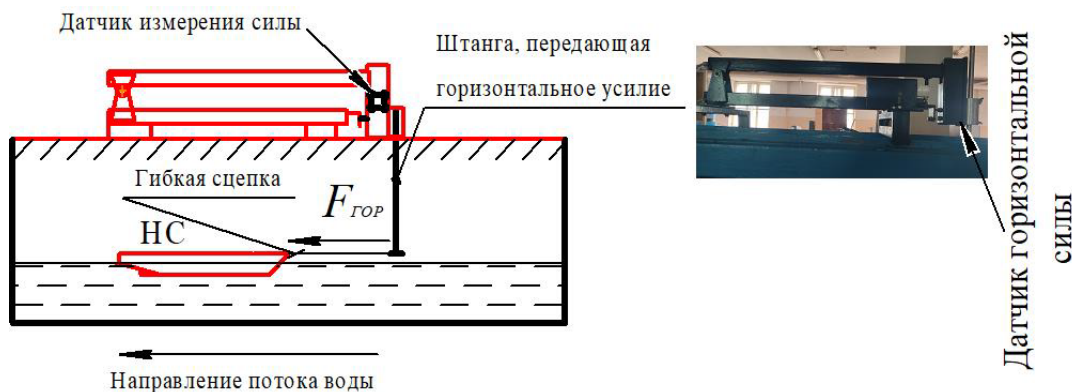
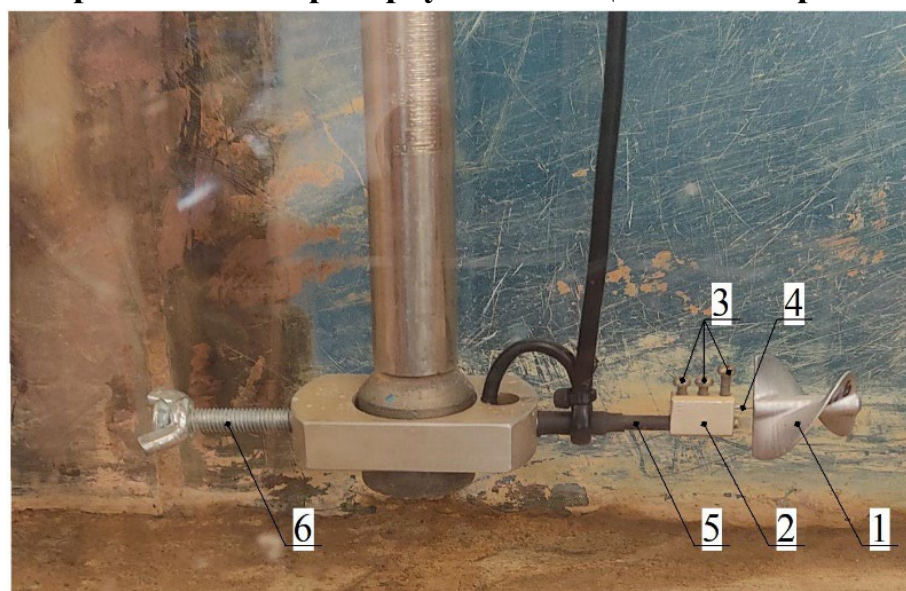


Рисунок 1 – Принципиальная схема регистрации силового воздействия потока воды на 3D-модель корпуса НС и фото датчика горизонтальной силы измерительного комплекса в ПАК гидродинамической лотке



- 1 – лопастной винт; 2 – держатель лопастного винта; 3 – выключатель;
 4 – кнопка «Сброс»; 5 – кнопка тестового имитатора сигнала «ИМ»;
 6 – подключение штекера датчика; 7 – гнездо для подключения к персональному компьютеру

Рисунок 2– Общий вид и принципиальная конструкция гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1 – измерителя



- 1 – лопастной винт (турбинка); 2 – головка держателя; 3 – крепежные винты; 4 – точечный электрод; 5 – несущая ось; 6 – винт зажимной

Рисунок 3 – Общий вид и принципиальная конструкция лопастного датчика измерителя

В результате выполненной работы было установлено:

- наиболее оптимальной формой обводов в носовой части являются обводы с углом подъема батоксов к грузовой вертикали $\alpha = 25^\circ$, а также обводы с тем же углом подъема батоксов с боковыми подрезами относительно диаметральной плоскости под углом $\gamma = 40^\circ$;
- наиболее оптимальной формой обводов в кормовой части являются обводы с углом подъема батоксов относительно основной плоскости $\beta = 14^\circ$;

- наиболее оптимальное отношение основных размерений судна $L/V = 5$, исходя из условия обеспечения минимальной осадки судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казаков Н. Н. Организация работы речного флота: учеб. пособие / Н. Н. Казаков. – М-во образования Респ. Беларусь, Бел. гос. ун-т трансп. Гомель: БелГУТ, 2012. – 294 с.
2. Павленко Г. Е. Сопротивление воды движению судов / Г.Е. Павленко. – М.: Морской транспорт, 1956. – 507 с.
3. Справочник по теории корабля: в 3 т. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985.
4. Протопопов В. Б. Конструкция корпуса судов внутреннего и смешанного плавания: учебник / В.Б. Протопопов, О.И. Свечников, Н.М. Егоров. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с.
5. Горбачев Ю.Н. Перспективный способ совершенствования конструктивных судов внутреннего и смешанного река-море плавания / Ю.Н. Горбачев, А.С. Буянов, А.В. Сверчков. Ручной транспорт (XXI век), 2014. – №6. – С. 28-34.

УДК 608

Шкрабкова Н.В., Калиновский И.В.

Научные руководители: Качанов И.В., Хвилько К.В.

Белорусский национальный технический университет

О СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА

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 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 ГЭСВТГ 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. 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.

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бердус В.В. Переработка песчано-гравийных пород для получения нерудных строительных материалов/В.В.Бердус, М.:Стройиздат, 1975 – 263с.
2. Будников А.М. Канализация городов и селений, очистка сточных вод. М., Госуд. техн. из-во «Красный печатник», 1929. – 184с.
3. Волков В.Г. Обогащение и фракционирование природных песков для бетона гидравлическим способом/В.Г.Волков, М.:Стройиздат, 1964. С.82-83.
4. Барский М.Д. Гравитационная классификация зерновых материалов/М.Д.Барский, м.:Недра, 1974 – 232с
5. Ломакин А.Г. Основы теории, технология обогащения в центробежных аппаратах. Автореф.диссерт. на соиск. ученой степ. доктора техн. наук, 05.15.08/А.Г.Ломакин; Мос. ин-т стали и сплавов. – М., 1981. – 59с.
6. Огородников С.П. Гидромеханизация разработки грунтов/С.П.Огородников. – М.:Стройиздат.1986. – 256с.

УДК 625.74

Копаченя С.С., Линкевич Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

НЕОБХОДИМОСТЬ В ВОДООТВОДНЫХ И ДРЕНАЖНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

В настоящее время экономика Беларуси развивается высокими темпами, в стране активизируются процессы индустриализации и модернизации. В связи с этим формирование дорожно-транспортной инфраструктуры для обслуживания потребностей народного хозяйства, обеспечения обороноспособности страны, повышения жизненного уровня населения является крайне необходимым.

Надежность автомобильных дорог обеспечивается прочным и устойчивым земляным полотном, которому в течение всего периода эксплуатации приходится работать в сложных природно-климатических условиях. Ливневые осадки и талые воды через дефекты в покрытии, обочины, откосы, кюветрезервы, а также путем капиллярного поднятия проникают в тело земляного полотна. Это ведет к потере несущей способности и полотна, и грунтов основания. При минусовых значениях наружной температуры, влага

замерзает, повреждая при этом внутреннюю структуру дорожного полотна и сокращая его срок эксплуатации. Лабораторными исследованиями за рубежом установлено, что асфальтобетонные покрытия, в которых имеются усталостные трещины, пропускают 70–95 % воды по количеству, эквивалентному дождевым осадкам интенсивностью 50 мм/ч [1], а экспериментально доказано, что влажность грунта земляного полотна возрастает при уменьшении расстояния от горизонта грунтовых вод, при уменьшении расстояния от фильтрующего слоя, а также при увеличении среднего количества осадков за 15 сут [2].

При затрудненном поверхностном стоке вода может увлажнять земляное полотно за счет подтопления и капиллярного перемещения сбоку или снизу при близком расположении грунтовых вод. Частично влага испаряется или просачивается в более глубокие грунтовые горизонты, а основная часть стоков по откосам и системе продольного водоотвода сбрасывается в пониженные места рельефа, овраги, тальвеги, водотоки, входные и выходные русла водопропускных сооружений. При неорганизованном сбросе атмосферных сточных вод с поверхности автомобильной дороги могут размываться откосы, русла водоотводных сооружений и происходить потеря устойчивости земляного полотна. Кроме того, в стоках с поверхности дорог и мостов содержатся различные загрязняющие вещества и соли, которые отрицательно влияют на свойства грунтов земляного полотна в процессе эксплуатации.

Для автомобильных дорог Беларуси, в последнее время, характерным является большой рост интенсивности движения в транспортном потоке легковых и грузовых автомобилей, что свидетельствует о возрастании требований к качеству проектирования, строительства и содержания автомобильных дорог и сооружений на них. Тем не менее, некоторым вопросам, определяющим показатели транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, в частности, функционированию системы водоотвода и дренажа, уделяется недостаточное внимание. Такое отношение к вопросам организации поверхностного водоотвода с проезжей части автомобильных дорог и дренажа приводит к снижению прочности дорожного полотна, нарушению устойчивости земляного полотна, сокращению межремонтных сроков дорог и искусственных сооружений, снижению уровня безопасности и удобства движения транспортных средств и загрязнению окружающей среды. Долговечность дорожного покрытия определяется также состоянием грунтового основания. Наряду с утеплением и гидроизоляцией, дороги нуждаются в своевременном отводе дождевой и талой воды, которая может существенно изменить характеристики дорожного основания в худшую

сторону. Наибольший вред устойчивости дороги причиняет свободная вода, находящаяся в конструктивных слоях дорожной одежды. Давление от колес автомобилей вызывает перемещение этой воды в слоях дорожного полотна и его разрушение. Свободная вода в зернистом слое основания дорожной одежды при динамических нагрузках может снизить его прочность на 25 % и более [2].

Несмотря на наличие методов типового обоснования инженерных решений по устройству поверхностного водоотвода и дренажа, некоторые вопросы как типового, так и индивидуального проектирования до сих пор необходимо углубленно изучать и накапливать опыт уже имеющегося материала. Поэтому в перечне современных дренажных решений необходимо выбрать оптимальный вариант применительно к климату региона, конструкции дороги и уровню предполагаемых нагрузок.

Для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и размывов, а также для обеспечения производства работ по сооружению земляного полотна следует предусматривать системы поверхностного водоотвода (планировку территории, устройство кюветов, канав, лотков, быстротоков, поглощающих колодцев). При проектировании дорожного полотна на всем его протяжении учитываются климатические, геологические и гидрогеологические условия и рельеф местности. Анализ полученных результатов дает возможность правильного выбора дренажа: отводного, преграждающего, поперечного и прочих. Поскольку ремонт дороги – дорогостоящее мероприятие, к качеству проектирования и строительства должны предъявляться повышенные требования и, в первую очередь, должна быть обустроена эффективная дренажная канава вдоль дороги.

С целью своевременного отвода воды с поверхности дороги всех категорий на прямых участках дорог и на участках кривых в плане с радиусами, при которых не требуется устройство виража, проезжую часть следует предусматривать с двускатным поперечным профилем. Поперечные уклоны проезжей части следует назначать в зависимости от числа полос движения, типа покрытий и климатических условий в соответствии [3].

К особенностям строительства дренажной системы для дороги можно отнести [3, 4]: 1) обустройство дренажных канав выполняется со стороны притока грунтовых вод, а в случае болотистой местности, система монтируется в двух сторон магистрали; 2) когда в непосредственной близости к дороге имеется поток воды, присутствующий в любое время года, то отвод должен осуществляться исключительно в закрытых лотках; 3) если дренажная система не может быть сделана под одним уклоном, то канавы необходимо поделить на короткие участки с крутым уклоном и длинные пролеты с

плавным уклоном. Это позволит обеспечить скорость оттока воды не меньше, чем 0,3 м/сек; 4) кюветы следует устраивать в выемках и у малых насыпей для сбора и отвода воды, стекающей с поверхности земляного полотна, а также для приема воды, поступающей из дренажных устройств дорожной одежды. Глубину кювета следует назначать на 0,1–0,2 м ниже устья дренажных устройств или низа дренирующего слоя дорожной одежды в точке выхода его на откос. Крутизна внешних откосов кюветов в выемке и канав должна быть не менее 1:2. Дно кювета должно иметь продольный уклон не менее 5 ‰, в исключительных случаях – 3 ‰. Для канав, расположенных на расстоянии 4 м и более от подошвы насыпи, уклон дна должен быть не менее 1 ‰. Наибольший продольный уклон водоотводных сооружений следует определять в зависимости от вида грунта, типа укрепления откосов и дна канавы с учетом допускаемой по размыву скорости течения. При невозможности обеспечения допустимых уклонов следует предусматривать быстротоки, перепады и водобойные колодцы; 5) на дорогах категорий Ia–IV на участках насыпей высотой более 3 м, при продольных уклонах более 30 ‰, а также у вершин вогнутых кривых в продольном профиле с радиусом 8000 м и менее следует предусматривать мероприятия против размыва обочин и откосов; 6) грунтовые и поверхностные воды, которые могут влиять на прочность и устойчивость земляного полотна или на условия производства работ, следует перехватывать или понижать дренажными устройствами. Для отвода воды с проезжей части по откосам земляного полотна устраивают поперечные водосбросные лотки открытого или закрытого типа с дождеприемными колодцами. Расстояние между поперечными водосбросными лотками зависит от ширины покрытия, с которого собирается сток поверхностных вод, и от продольного уклона проезжей части дороги. Для водосбросных лотков открытого типа это расстояние принимают в соответствии с [3, таблица 23]; 7) эффективная дренажная система включает в себя создание водопоглощающих колодцев, так будет максимально защищена автомобильная дорога от негативного воздействия грунтовых и талых вод; 8) при обустройстве дренажных канав отвод воды запрещен в непроточные водоемы, а для отвода воды в рыбные пруды – требуется специальное разрешение; 9) наименьшая глубина дренажных канав – 0,4–0,6 м, а на болотистой местности, она опускается на глубину до 2 м; 10) типы укреплений откосов земляного полотна и водоотводных сооружений должны отвечать условиям работы укрепляемых сооружений, учитывать свойства грунтов, особенности погодно-климатических факторов, конструктивные особенности земляного полотна и обеспечивать возможность механизации работ и минимум приведенных затрат на строительство и эксплуатацию дорожных

сооружений. Подтопляемые откосы насыпей следует защищать от волнового воздействия, а также от гидростатического и эрозионного воздействия воды соответствующими типами укреплений в зависимости от гидрологического режима реки или водоема. При соответствующем технико-экономическом обосновании взамен укрепления необходимо выполнять уположение откосов (пляжный откос). Крутизну устойчивого к водному воздействию откоса следует определять расчетом в зависимости от гидрологических и климатических условий и вида грунта насыпи; 11) поперечное сечение водоотводных канав – трапецеидальное, при необходимости кюветы укрепляются, например, дно засыпается щебнем с песком, а откосы обсеваются травами в специальные клетки из бетонных брусков или сетки ПВХ; при угле наклона стенок канавы более 15° – с применением габионов и георешеток; 12) канава вдоль дороги для водоотведения должна быть шириной не менее 40 см, а на болотистой местности – не менее 80 см.

При проектировании реконструкции дороги дренажные сооружения необходимо назначать с учетом состояния старой дороги и ее дренажной системы, а также принятых технических решений по перестройке – усиление дорожной одежды, усиление с расширением или полная перестройка. Если новую дренажную систему предусматривают в рамках расширения проезжей части и обочины, то для усиления фильтрации воды в старом подстилающем слое необходимо новый дренирующий слой устраивать с углублением по отношению к низу старого слоя. На участках, где дренирующий слой под каменной частью дорожной одежды устроен только на ширину проезжей части, рациональна конструкция нового дренажного сооружения, в котором для отвода воды служит песчаный слой, устроенный на всю ширину обочины. На участках, где в существующей дорожной одежде нет песчаного слоя, новый дренирующий слой следует устраивать в пределах расширенной проезжей части тротуаров или полосы укрепления и обочин с некоторым углублением относительно низа старой дорожной одежды (но не менее 5 см), если для обеспечения необходимой прочности части одежды, которая расширяется, не нужен более толстый слой песка.

Таким образом, необеспеченный поверхностный водоотвод приводит к снижению прочности дорожных одежд, нарушению устойчивости земляного полотна, сокращению межремонтных сроков, снижению уровня безопасности и удобства движения транспортных средств. Поэтому своевременный и целенаправленный сбор и отвод воды с поверхности автомобильных дорог и последующая ее очистка от загрязнений – одна из основных задач повышения технического уровня автомобильных дорог, безопасного движения по ним и снижения техногенного влияния на окружающую среду. Для решения

проблемы организации дорожного водоотвода и очистки стоков с автомобильных дорог необходимо выполнять комплекс мероприятий, направленных на соблюдение технологического регламента при строительстве элементов водоотвода и проведение работ по содержанию системы водоотвода в состоянии удовлетворительной работоспособности в течение практически всего года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ильина, А. А. Автомобильные дороги и мосты строительство и содержание дорожного водоотвода. Обзорная информация. Выпуск 3 / А. А. Ильина. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. – 21 с.
2. Перевозников, Б. Ф. Сооружения системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. Обзорная информация. Выпуск 2 / Б. Ф. Перевозников, А. А. Ильина. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2002. – 20 с.
3. Автомобильные дороги. СН 3.03.04-2019. – Введ. 21.09.2020. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 60 с.
4. Рекомендации по расчету дренажных дорожных конструкций: ОДМ 218.2.055-2015 / Федеральное дорожное агентство Российской Федерации. – М.: 2018. – 72 с.

УДК 621.65: 628.336.4

Курчевский С.М., Симака А.А.

Белорусский национальный технический университет

ЗАИЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ: МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ПРОФИЛАКТИКА

Заиление – процесс отложения наносов в каналах, вызванный природными и антропогенными факторами. Наносы представляют собой влекомые и взвешенные илистые и глиняные частицы грунта. Всасывающие линии мелиоративных насосных станций располагаются в аванкамере. Заиление труб происходит при переменных режимах работы, которые неизбежны в процессе эксплуатации.

«Увеличение степени заиления в трубопроводах влечет за собой уменьшение [площади] поперечного сечения, увеличение скорости движения потоков и, как следствие, увеличение потерь напора, увеличение напора насосных агрегатов и уменьшение подачи. Во всасывающих трубопроводах уменьшение площади поперечного сечения трубопровода также увеличивает скорость потока, уменьшает кавитационный запас и может привести к полной остановке насосной станции с возможными тяжелыми последствиями.» [1].

При проектировании водоподъемных сооружений предпринимают различные меры по предотвращению заиливания наносами всасывающих и напорных линий. Для профилактики поступления наносов применяют пескоулавливание, процеживание, отстаивание, фильтрацию, реже – центрифугирование и другие методы, однако в процессе длительной эксплуатации их эффективность может снижаться. В этом случае предусматриваются очистные мероприятия. Рассмотрим основные

1. Гидравлический, применим для труб малых диаметров: в трубопровод устанавливают устройство, которое подает воду или техническую жидкость под большим давлением.

2. Механический, применим для труб больших диаметров (может применяться совместно с гидравлическим): очистка от наносов производится разрыхлением отложений в трубопроводе с помощью различных механических устройств и последующей промывкой водой под напором.

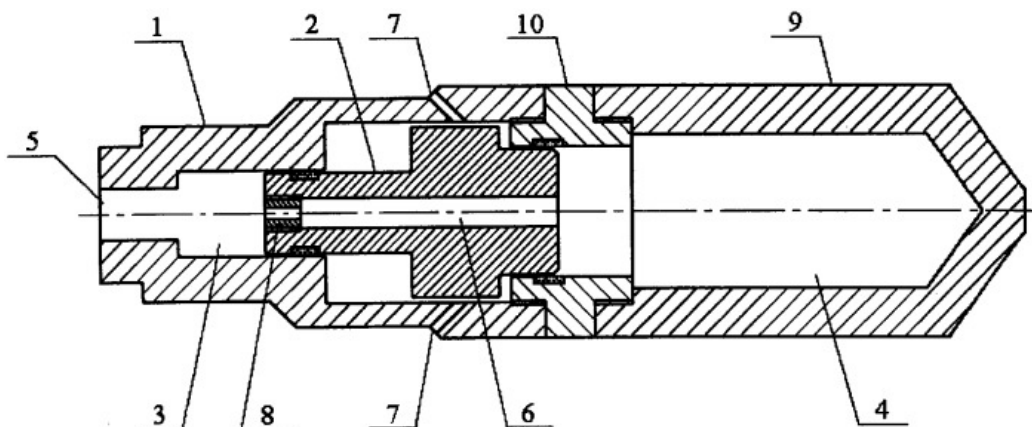
3. Химический, применим для нерастворимых водой отложений: полная очистка отложений с применением реагентов происходит за 10-18 ч, в зависимости от вида отложений, их плотности и химической стойкости. Данный способ применим, как правило, на напорных линиях оросительных систем, где возможны отложения солей, выпавших в осадок, особенно при удобрительных поливах и поливах животноводческими стоками. Недостаток химического способа очистки в высокой токсичности кислот, со временем они могут повредить конструкции, несмотря на нейтрализацию.

4. Кавитационный: специальными устройствами с помощью ультразвуковых волн провоцируется возникновение кавитационных пузырей в воде, которые схлопываясь, дробят отложения гидравлическим ударом.

5. Пневмогидроимпульсный (пневмовзрыв): с помощью пневмоснаряда создается импульсное воздействие сжатого воздуха внутри трубы, в ней возникают микроскопические гидравлические удары, которые кратковременно увеличиваются в объеме за счет расширения сжатого воздуха, что способствует отрыву наносов от стенок [3].

Принцип работы пневмоснаряда (см. рис. 1): ко входу в канал 5 подают сжатый воздух, что вызывает повышение давления во входной камере 3, под действием которого поршень 2 смещается вправо. В крайнем правом положении поршень 2 перекрывает выхлопные отверстия 7, расположенные под острым углом по отношению к оси устройства, и запирает накопительную камеру 4. По каналу 6 сжатый воздух поступает в накопительную камеру 4, с начальным давлением равным атмосферному. По мере накопления газа в камере 4, давление в ней возрастает, вследствие чего поршень 2 смещается

влево и открывает отверстия 7, провоцируя резкий выброс воздуха. Цикл повторяется многократно.

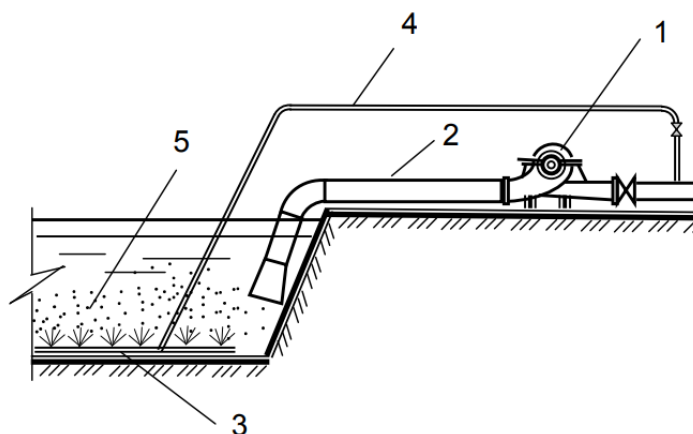


Корпус 1, ступенчатый поршень 2, входная камера 3, накопительная камера 4, входной канал 5 в корпусе 1, канал 6, сообщающий входную 3 и накопительную 4 камеры, сбрасывающие давление отверстия 7, жиклер 8, дополнительный корпус 9, промежуточный корпус 10.

Рисунок 1 – Устройство пневмоснаряда

Частота пневмовыхлопов регулируется изменением диаметров жиклера источника воздуха перед началом работы. Перемещение устройства в очищаемом трубопроводе происходит под действием реактивных сил, возникающих при резких выбросах сжатого воздуха.

Также представляет интерес метод очистки аванкамеры [4]. Суть метода (см. рис. 2) заключается в устройстве дополнительной конструкции, представляющей собой напорную подводящую трубу 4, которая соединяется с одной стороны с нагнетательным трубопроводом насосного агрегата 1, а её другая сторона состоит из кольцевых перфорированных труб 3, проложенных по откосам или дну аванкамеры в местах осаждения наносов. Под действием гидродинамического давления вода вытекает из отверстий труб струей, и создаёт в среде пульсационное движение потока, предотвращающее оседание наносов.



1 – насосный агрегат; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – кольцевые перфорированные трубы; 4 – напорная подводящая труба; 5 – взвешенные частицы грунта

Рисунок 2 – Схема очистки аванкамеры

Лабораторные исследования [4] показывают, что даже небольшая пульсация потока может вызвать беспокойное состояние водной среды и будет поддерживать наносы во взвешенном состоянии в аванкамере.

Вывод: методы очистки подбираются индивидуально под каждый объект в зависимости от технического состояния трубопровода, особенностей конструкций насосов и доступных имеющихся средств. По возможности следует предусмотреть необходимые меры еще на стадии проектирования реконструкции или строительства мелиоративных насосных станций, проводить очистку труб и аванкамеры в целях профилактики регулярно и своевременно, поскольку от состояния трубопроводов напрямую зависит продолжительность и эффективность работы насосных станций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Беспалов, М.С. Технологическое и экспериментальное обоснование очистки трубопроводов мелиоративных насосных станций напорно-вакуумной установкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / М.С. Беспалов ; Волгоградский государственный аграрный университет. – Новочеркасск, 2018 – 20 с.

2. Очистка трубопроводов. Обзор методов [Электронный ресурс] / Издательский Дом Сорокиной: офиц. сайт. URL: <http://www.ids55.ru/ks/articles/comunications/45-2009-10-20-11-02-57.html>

3. Пат. RU 2312718 Пневмоснаряд и способ очистки трубопроводов с его использованием. Авт. Е.Б. Сюзева, А.Г. Назаров [Электронный ресурс] / FindPatent.ru – патентный поиск.

4. [Снижение заиления аванкамеры мелиоративных насосных станций](#)/ Б.У. Уришев [и др.]// Вестник СГАСУ Градостроительство и архитектура – 2013. - №4. – с.49 – 53.

УДК 626.86: 631.6

Симака А.А.

Научный руководитель – Курчевский С.М., канд. с.-х. наук, доцент
Белорусский национальный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Традиционный траншейный способ строительства дренажа на минеральных почвах тяжелого гранулометрического состава, включающий присыпку дренажных труб гумусовым слоем толщиной 0,2 м и обратную засыпку вынутым грунтом, после 4 – 6 лет эксплуатации уже не обеспечивает отвод воды из корнеобитаемого слоя почвы в нормативные сроки. Для повышения эффективности осушительного действия дренажа на тяжелых почвах и «оживления» дренажных засыпок широко используются различные агромелиоративные мероприятия, направленные на улучшение структуры подпахотных горизонтов почв, т.е. на улучшение фильтрационных свойств дренируемой почвы (глубокое рыхление, применение различных структурообразователей и др.).

Одним из недостатков глубокого рыхления является его недолговечность (2 – 3 года). Периодическое его возобновление требует значительных капитальных вложений, а также временного исключения земель из сельскохозяйственного использования. На продление последствий глубокого рыхления значительное влияние оказывают различного рода химмелиоранты (структурообразователи почвы), а также другие приемы по стабилизации структуры (агрегатного состояния) почвы. Одним из таких стабилизаторов почвы является глубокое рыхление с одновременным ее омагничиванием. Разработана физическая модель воздействия внешнего магнитного поля на почву. Вследствие остаточной магнетизации происходит изменение ориентации почвенных частиц, повышается биологическая активность микроорганизмов, что способствует улучшению и закреплению структурных преобразований (Kulich. 1986). На опытно-производственном участке был заложен полевой опыт, где изучалось влияние химмелиорантов на устойчивость последствий глубокого рыхления. В качестве химмелиоранта использовали смесь окиси кальция и фосфогипса в количестве 10 – 12 т/га СаО и 5 – 6 т/га фосфогипса (А.С. № 1113399) [1].

Основной целью применения структурообразователей почвы является повышение эффективности существующих мелиоративных систем на минеральных почвах тяжелого гранулометрического состава путем улучшения водно-физических свойств и структуры почвы (агрегатного состава), а также условий, повышающих приточность избытков воды к дренам.

Применение структурообразователей оказывает влияние на повышение фильтрационных свойств фильтрующих засыпок водоприемных элементов водопоглощающих устройств.

Улучшение водно-физических свойств и стабилизация структуры тяжелых почв и фильтрующих засыпок водоприемных элементов водопоглощающих устройств закрытых собирателей путем применения химических мелиорантов и физических стабилизаторов (глубокое рыхление с одновременным омагничиванием почв), является перспективным направлением. Это позволяет существенно увеличить приток воды к дренам за счет перевода поверхностного стока во внутрпочвенный, обеспечить требуемый водный режим осушаемой территории и повысить урожайность сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях.

Внесение химмелиорантов в дренажные засыпки и фильтрующую засыпку водоприемных элементов водопоглощающих устройств увеличивает коэффициенты фильтрации засыпок в 3 – 10 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. А.С. № 1113399 Способ химической мелиорации тяжелого почвогрунта. Авт. Я.В. Цыбульская, П.П. Олодовский [Электронный ресурс] / https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet – патентный поиск – Дата доступа 07.12.2021.

УДК 627.824

Мосейко Д.В., Пришивалко В.А.

Белорусский национальный технический университет

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРУШЕНИЮ ГРУНТОВОЙ ОДНОРОДНОЙ ПЛОТИНЫ

Вопросам надежности гидроузлов во всем мире придается большое значение главным образом потому, что аварии на гидроузлах, особенно на плотинных, приводят к серьезнейшим последствиям.

Главной проблемой в вопросах надежности гидроузлов в период паводка являются природные, в первую очередь гидрологические, факторы. В

естественном гидрологическом цикле всегда существует неопределенность, которую нельзя полностью исключить, так как природа не контролируется человеком.

Даже более глубокие современные оценки паводка и соответственно обеспечение главных водосбросных сооружений подчас не может удовлетворить условиям реального паводка. Вероятный максимальный паводок является именно вероятным, но один невероятный паводок может разрушить плотину. Таким образом, риск перелива существует всегда и всякий плотинный гидроузел в этом отношении представляет потенциальную опасность. И чем ниже класс сооружений гидроузла, тем больше вероятность превышения расчетного паводкового расхода и, следовательно, больше риск перелива. Отсюда ясно, почему на небольших гидроузлах перелив происходит чаще, чем на крупных.

В рамках исследования проведены лабораторные опыты по разрушению грунтовой однородной плотины.

Для изучения процесса размыва грунтовых плотин при переливе было проведено эксперименты. Опыты по размыву проводились на моделях в лотке шириной 0,32 м высота моделей составляла 0,4 м. На стенку лотка наносили координатную сетку с шагом 5 см.

Опыты проводились на песчаных моделях для среднезернистых песков. Модели были отсыпаны из грунта со следующими физико-механическими характеристиками: диаметр частиц $d = 0,05 \dots 0,5$ 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 $d_{60}/d_{10} = 1,6$.

Опыты проводились на песчаных моделях для среднезернистых песков. Модели были отсыпаны из грунта со следующими физико-механическими характеристиками: диаметр частиц $d = 0,05 \dots 0,5$ 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 $d_{60}/d_{10} = 1,6$.

Определение гранулометрического состава производились путем отсева песка на наборе сит. Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбиралась навеска 1000 г. Эта масса песка просеивалась через набор сит с различными диаметрами отверстий.

По результатам зернового состава грунта построена кривая гранулометрического состава грунта и определены все физико-механические характеристики.

Размеры модели грунтовой плотины были следующие: высота 0,4 м, ширина по гребню 0,3 м, заложение верхового откоса 1:2,0, низового – 1:2,0. Расход воды, поступающий в верхний бьеф (приточность) составлял - 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.

Для сопоставления опытных и теоретических данных необходимо построить графики изменения расхода воды в створе размываемой модели. Расход воды Q через модель плотины при ее размыве определяли опытным путем по изменению объема воды в верхнем бьефе

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = Q$$

где ΔW – изменение объема воды в верхнем бьефе модели плотины;

Δt – промежуток времени;

Q – расход воды через размываемую плотину.

Изменение объема ΔW определяли по формуле

$$\Delta W = \Delta h \cdot \Omega,$$

где Δh – изменение уровня воды в верхнем бьефе модели плотины за промежуток времени Δt ;

Ω – площадь зеркала воды верхнего бьефа модели плотины.

Данные для построения графика расхода воды через створ размываемой модели представлены в таблице 1 при расходе $Q_0=12$ л/с.

Опыт. Размыв модели плотины при свободном истечении потока в нижний бьеф

Размыв модели происходит в следующей последовательности. На рисунке 1 представлен процесс размыва в виде мгновенных профилей.

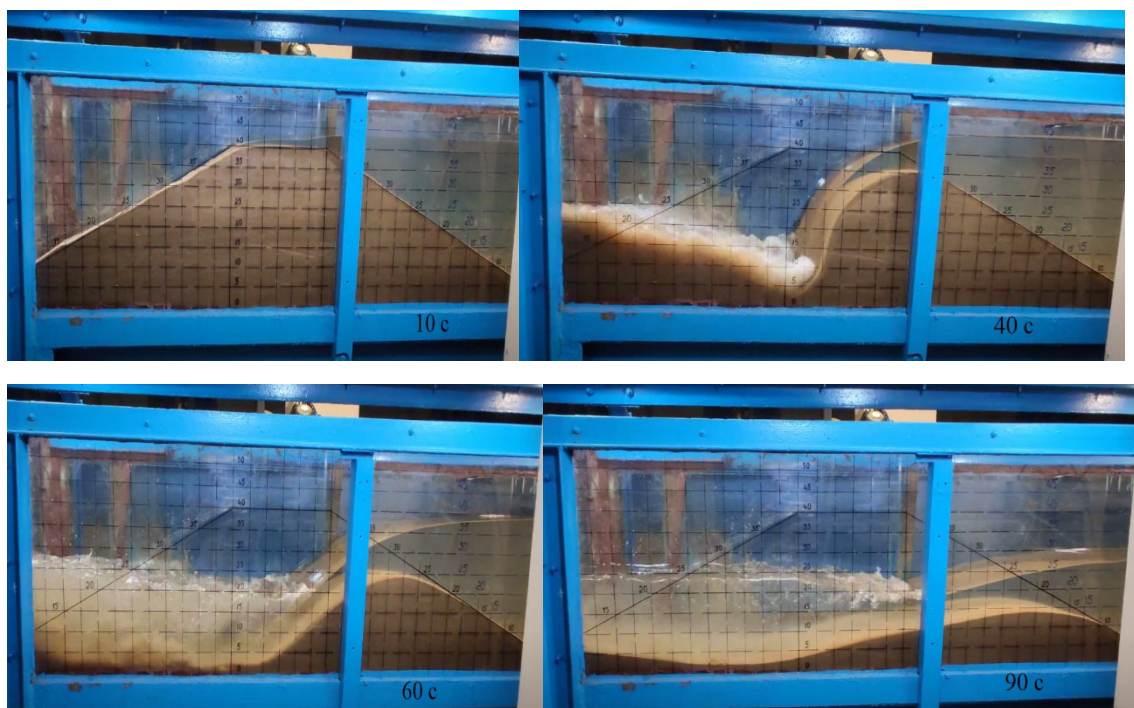


Рисунок 1 – Фотограмма размыва модели плотины в лотке шириной 0,32м: $Q_0 = 12 \text{ л/с} = \text{const}$; истечение свободное

Откос размывается примерно равномерно по всей длине как бы параллельными слоями. Отметка гребня на данной стадии постоянна.

После полного размыва низовой призмы на всю ширину гребня начинается интенсивное снижение его. Гидравлическая картина на данном этапе схожа с истечением через водослив практического профиля, как по форме кривой свободной поверхности, так и по очертаниям, постоянно трансформирующимся в процессе размыва.

На рисунке 2 представлена динамика процесса размыва в виде графиков изменения во времени уровня верхнего бьефа, отметки гребня модели и расхода через нее. Данные для построения графика представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные для построения графика расхода воды через створ размываемой модели при расходе $Q_0 = 12 \text{ л/с}$

Время $t, \text{ с}$	Уровень ВБ $Z_{\text{оп}}, \text{ см}$	Отметка гребня $Y_{\text{оп}}, \text{ см}$	Расход $Q_{\text{оп}}, \text{ л/с}$	Напор $H_{\text{оп}}, \text{ см}$
0	40	40	2	0
5	41	40	7	1
10	43,7	40	9	3,7

Продолжение таблицы 1				
15	44	40	10,5	4
20	45	39,8	11,3	5,2
25	45,07	39,5	11,7	5,57
30	45,1	39	11,7	6,1
35	45,13	37,5	12,3	7,63
40	45,1	35	13	10,1
45	45	33	22	12
50	44	30	32	14
55	42	27,5	34	14,5
60	39,8	25	40	14,8
65	37	22,5	32	14,5
70	35	20	32	15
75	33	18	31	15
80	30,5	16	28	14,5
85	29,6	15	27	14,6
90	28,4	15	26	13,4
95	27	13	25	14
100	25	12	22	13
105	24,8	11	20	13,8
110	24	10,5	18	13,5
115	22,5	10,1	17	12,4
120	22	10,05	17	11,95
125	21,5	10	17	11,5
130	21	9,95	17	11,05
135	20,5	10	17	10,5

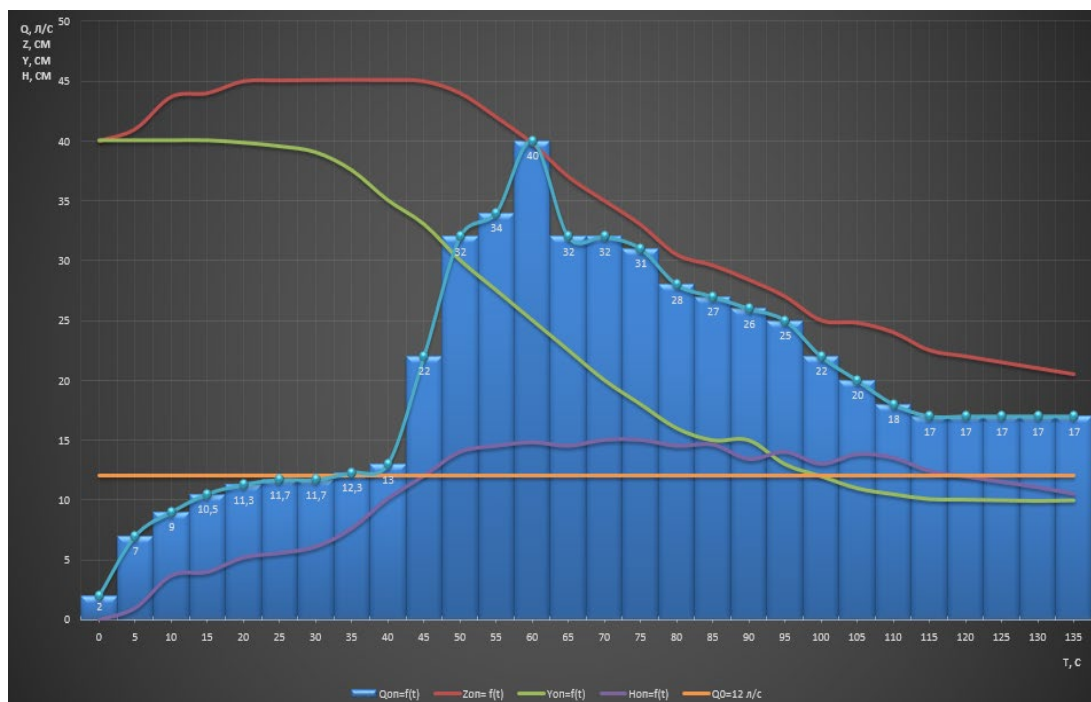


Рисунок 2 – Опытные кривые $Q = f(t)$; $z = f(t)$; $y = f(t)$ при неподтопленном истечении $Q_0 = 12 \text{ л/с} = \text{const}$.

Общая картина размыва моделей плотин следующая. С началом перелива, когда расход через размываемую плотину еще незначителен вследствие малого напора на гребне, уровень воды в верхнем бьефе продолжает подниматься. Момент времени, при котором достигается равенство расходов через размываемую плотину и приточности 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 падает.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов. - ФГУП ВНИИВОДГЕО / Розанов Н.Н., Куранов Н.П., Верменко В.В., Витенберг М.В., Волохова М.Н., Тейтельбаум А.И., Верле С.В. / под научн. редакцией В.С. Алексеева, - М. 2001.
2. Векслер А. Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А.Б. Векслер, Д. А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. СПб.: Изд-во «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2002.

3. Леви, И. И. Моделирование гидравлических явлений / И. И. Леви. – Л.: Энергия, 1967. – 254 с.

4. Овчаренко, И. Х. Моделирование гидравлических явлений на гидротехнических сооружениях: учеб. пособие / И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко. – Новочеркасск, 1982. – 110 с.

УДК 620.92

Ходас Н.А.

Научный руководитель – Казьмирук И.Ч., канд. техн. наук, доцент
Белорусский национальный технический университет

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Мировое потребление топливно-энергетических ресурсов имеет тенденцию роста, при этом основными видами топлива остаются нефть, уголь и газ, их доли в общей структуре энергопотребления в мире составляют 32%, 27% и 22% соответственно. Республика Беларусь не имеет достаточного количества месторождений энергоресурсов для полного самообеспечения, поэтому зависит от стран-экспортеров природного топлива. Это объясняет актуальность проблемы энергетической безопасности государства, под которой понимается состояние защищенности страны от угрозы дефицита в обеспечении потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества и с учетом не допущения вредного воздействия на окружающую среду.

Государственная политика Республики Беларусь в области энергетической безопасности включает развитие энергетики, основанной на использовании возобновляемых источников энергии. Предпосылки развития возобновляемых источников энергии разнообразны: ограниченность запасов традиционных источников энергии; экологические проблемы, возникающие вследствие использования органического топлива; энергетическая зависимость страны от стран-поставщиков углеводородного сырья. Основным преимуществом возобновляемых источников энергии является их наличие в любой точке земного шара в отличие от углеводородного топлива.

Современный период развития общества характеризуется акцентированием внимания на проблемах окружающей среды и экологии, что вызывает повышенный интерес к возобновляемым источникам энергии. Например, важным направлением в обеспечении энергетической безопасности Японии является атомная энергетика, которая к 2050 г. должна

достигнуть 50% всего энергопотребления страны. После катастрофы на атомной электростанции Фукусима в 2011 г. правительство приняло решение об усилении норм безопасности атомных электростанций. Следует заметить, что развитие атомных электростанций безальтернативный способ обеспечения энергетической безопасности Японии, так как собственные месторождений топливно-энергетических ресурсов у страны практически нет. Стремление уменьшить зависимость Японии от ввозимого углеводородного топлива, дало стимул в развитии и возобновляемых источников энергии, в настоящее время доля возобновляемых источников энергии в энергосистеме Японии составляет 17%, а к 2030 г. планируется её увеличение до 24%.

Мировым лидером по производству и использованию электроэнергии из возобновляемых источников энергии является КНР. Китай, являясь лидером по финансированию “зеленой” энергии, особое внимание уделяет инвестициям в солнечную и ветровую энергетику. Объем добычи энергии из возобновляемых источников в КНР составляет около 30% ежегодно.

Исследование, осмысление и применение зарубежного опыта в области обеспечения энергетической безопасности государства является важным прикладным примером для Республики Беларусь. В настоящее время в стране принят ряд важных нормативно-правовых документов в области возобновляемой энергетики, главный из которых Закон Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии». Экономический механизм стимулирования использования возобновляемых источников энергии гибридный, так как применяются не только налоговые преференции и освобождение от уплаты таможенных пошлин на ввозимое оборудование для возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, но и выделяются гранды, инвестиционные субсидии, кредиты на поставку оборудования.

Из возобновляемых источников энергии, которые перспективно и целесообразно использовать в Республике Беларусь можно выделить энергию ветра, солнца, гидроэнергетику и энергию на основе биомасс. К биомассам относятся древесная щепа, дрова, опилки, биогаз, солома и другое. Использование солнечной энергии возможно в двух направлениях: гелиоэнергетика и фотоэнергетика. Гелиоэнергетика — это получение тепловой солнечной энергии от группы зеркал, функция которых состоит в передаче тепла на гелиостат, температура на котором поднимается до 1200 °С и далее по традиционной схеме происходит выработка электрической энергии. Фотоэнергетика это прямое преобразование солнечной энергии в электрическую на фотоэлектрических станциях.

В настоящее время мощность возобновляемых источников энергии в Республике Беларуси достигает порядка 500 МВт. В стране есть 82

фотоэлектрические станции, 30 биогазовых комплексов, 10 мини-ТЭЦ на древесном топливе и более 100 электроэнергетических установок. По состоянию на 1 января 2021 г. в “Белэнерго” эксплуатируется 26 ГЭС установленной мощностью 88,11 МВт, одна ветроэнергетическая станция установленной мощностью 9 МВт (6 ветрогенераторов по 1,5 МВт каждый). В Беларуси налажен выпуск электрических изгородей с источником питания генераторов импульсов на основе фотоэлементов, а также светодиодных дорожных знаков GD вне населенных пунктов, имеющих автономное питание от солнечной электростанции. Запущена вторая очередь строительства солнечной электростанции в Сморгонском районе мощностью 15 МВт. Компания А1 открыла свою собственную солнечную электростанцию 41 га и номинальной мощностью 18,48 МВт.

Исследования выработки электроэнергии показали, что самыми быстрорастущими возобновляемыми источниками энергии в Республике Беларусь являются биомасса (рост более 1300% за 2020 год) и биогазы (рост около 30%). Выявлен отрицательный рост в использовании древесного топлива из-за невысокого уровня технологий и неэффективного потребления древесины для данных целей [1].

С точки зрения энергетической безопасности строительство в Республике Беларусь второго блока атомной электростанции имеет основополагающее значение. Анализ поставки электроэнергии в сеть в Республике Беларусь показал, что актуален вопрос о перепроизводстве электроэнергии из-за ввода в эксплуатацию БелАЭС, которая в перспективе будет вырабатывать около 50% необходимой республике электроэнергии, а это позволит максимально заместить в топливно-энергетическом балансе природный газ и нефтепродукты. Электроэнергия позволит заместить до 30% природного газа в структуре энергетического потребления страны, то есть каждый год будет экономиться около 4,5 млрд куб.м природного газа. Это позволит повысить энергетическую безопасность страны, а также снизить выбросы парниковых газов. По результатам проведенного анализа можно констатировать, что за 9 месяцев 2021 г. БелАЭС одним энергоблоком выработала 3,4 млрд кВт.ч и заместила более 1 млрд куб.м природного газа. Атомная электростанция позволит иметь надежный, а главное безопасный источник электроэнергии для Республики Беларусь на десятки лет.

Энергетическая безопасность является неотъемлемой частью экономической и национальной безопасности, необходимым условием существования государства. С учетом указанных обстоятельств и того, что в настоящее время Республика Беларусь находится на начальном этапе формирования рынка технологий возобновляемых источников энергии,

необходимо констатировать, что потенциал возобновляемых источников энергии в нашей стране значителен, и перспективы их развития очень велики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белэнерго. / Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/proizvodstvo-elektricheskoy-energii>. — Дата доступа: 04.12.2021.

УДК 624.131.6

Яковлев Е.А., Казьмирук И.Ч.

Белорусский национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ КАНАЛОВ

В процессе сельскохозяйственной деятельности человечество постоянно совершенствует стратегию повышения урожайности сельскохозяйственных культур. На примере последних поколений можно наблюдать постепенный переход от экстенсивного земледелия к интенсивному и далее к адаптивному, биологическому. Искусство земледельца проявляется в том, чтобы используя положительные факторы внешней среды, имеющиеся ресурсы, с применением системы мелиораций, нейтрализующих негативное воздействие среды на формирование урожая из-за переувлажнения, обеспечить производство высококачественной продукции при снижении затрат и минимизации отрицательного влияния на природные комплексы.

Территория Республики Беларусь расположена в гумидной зоне и сельскохозяйственные земли подвержены воздействию факторов переувлажнения и заболачивания. У нас имеются земли, использование которых в качестве посевных площадей возможно только после проведения осушительной мелиорации – комплекса мероприятий по созданию благоприятного для полезной флоры воздушного, теплового и пищевого режима почвы. Основной инженерной конструкцией осушительной мелиорации является открытая сеть.

Системы с двухсторонним регулированием водного режима занимают 752,9 тыс. га, в том числе с гарантированным водосточником – 174 тыс. га. Пolderные системы расположены на 252,6 тыс.га. Открытая мелиоративная сеть уступает по протяженности закрытой и составляет 158,1 тыс.км, в то время как закрытая сеть 977,5 тыс. км. На мелиоративных системах РБ имеется в эксплуатации 11460 км рек-водоприемников и 88317 км магистральных и других проводящих каналов.

Каналы, проложенные в легкоразмываемых грунтах, подвергаются значительным деформациям размыва русловым потоком, а их откосы оплывают под действием фильтрационных сил, создаваемых грунтовыми водами (местный фильтрационный выпор). Фильтрационный выпор возникает, когда под действием суммарной силы происходит совместное

движение частиц, образующих некоторый объем грунта. Если местный фильтрационный выпор может рассматриваться как макродеформация, то суффозия должна рассматриваться как микродеформация некоторого объема грунта. При расчете суффозии не представляется возможным пользоваться значениями, найденными непосредственно на основании теории фильтрации; фильтрационный же выпор можно рассчитать, оперируя значениями, полученными в результате фильтрационных расчетов.

Различают частный случай местного фильтрационного выпора, когда, например, связный глинистый грунт примыкает непосредственно к какому-либо крупнопористому грунту, причем под действием фильтрационных сил на границе глинистого грунта происходит «выламывание» его кусков, состоящих из множества частиц, и продавливание этих кусков в поры крупнозернистого грунта. Такой частный случай фильтрационного выпора может быть назван контактным фильтрационным выпором [1].

В случае однородного грунта из частиц одинаковой крупности суффозия невозможна; в этом случае может быть только местный фильтрационный выпор. Суффозия может наблюдаться только в разнородных грунтах.

Фильтрационный выпор - нарушение устойчивости подтопленных песчаных откосов, при котором приходит в движение некоторый его объем. Суффозия - вынос мелких минеральных частиц и растворенных веществ водой, фильтрующейся в толще горных породах [2].

На лабораторной модели был изучен механизм возникновения фильтрационного выпора в канале, сложенном песком средним, при быстром опорожнении. Для воспроизведения откоса использовался лоток в форме прямоугольного параллелепипеда. В середине лотка формировалось тело экспериментального откоса, которое представляет собой поперечное сечение половины канала. По всей ширине откоса и в приоткосной зоне были размещены пьезометры для определения уровня грунтовых вод.

По данным исследования высота фильтрационного выпора в теле откоса составляет около семи сантиметров, при коэффициенте заложения 1:1 (см. рисунок 1).



Рисунок 1.— Определение высоты фильтрационного выпора на экспериментальной модели

Для уменьшения вероятности появления дефектов, предлагается добавление в нижней части откоса призмы из щебня или гравия. Такая конструкция откоса позволит создать провальную фильтрацию в месте

образования фильтрационного выпора и исключить разрушение откоса под действием фильтрационных сил.

Разрабатывается конструкция крепления откоса канала с устройством в нижней его части призмы из хорошо фильтрующего материала, обеспечивающего «провальную фильтрацию»; конструкция позволяет уменьшить объем земляных работ при устройстве каналов польдерных мелиоративных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макшанов, А. В. Слияние разноконтентной информации в задачах поиска подвижных морских объектов / А. В. Макшанов, Т. В. Попович // Информация и космос. - 2014. - № 4. - С. 70-72.

2. Буше, Н. А. Совместимость трущихся поверхностей / Н. А. Буше, В. В. Копытько. — М. : Наука, 1981. - 128 с.

УДК 626.86

Митрахович А.И. *, Казьмирук И.Ч. **

**РУП «Институт мелиорации»*

***Белорусский национальный технический университет*

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫБОРОЧНОГО ДРЕНАЖА

Белорусское Полесье – регион, в котором в течение продолжительного исторического периода выполнялись осушительные мелиорации. Их необходимость определялась своеобразием географических условий, среди которых первенствующее значение имело прогрессирующее заболачивание территории, сдерживающее развитие сельского хозяйства. Изменение природы Белорусского Полесья под влиянием осушительной мелиорации можно рассматривать в историческом аспекте, так как поступательное общественно–экономическое развитие Беларуси сопровождалось усилением использования его природных ресурсов, в основном лесных и земельных [1]. Полесский регион начал активно осваиваться в течение последних столетий. В XX веке Белорусское Полесье осушали преимущественно открытой сетью и горизонтальным дренажем. К настоящему времени общая площадь осушенных земель в Белорусском Полесье составляет около 2 млн. га. Без мелиорации земель в Полесье невозможно эффективно вести сельское хозяйство, так же как невозможно улучшение жизни населения данного региона [2].

Однако в результате длительной эксплуатации мелиоративных систем, изменения природных условий многие мелиоративные системы не обеспечивают требуемый водо-воздушный режим почв, морально устарели и нуждаются в реконструкции. Реконструкция мелиоративной системы состоит в переустройстве осушительной сети или ее элементов на новую техническую основу, при которой выполняется комплекс мероприятий, направленных на

изменение способа осушения, конструкции, основных параметров мелиоративной системы и других ее элементов.

Одним из основных требований при проектировании реконструкции мелиоративных систем является обеспечение относительно одинаковых условий для ведения сельскохозяйственного производства на поле (гомогенизация). Водный режим обеспечивается дифференциацией междренних расстояний соответственно степени увлажнения и грунтовых условий. Наиболее полно этим требованиям отвечает выборочный горизонтальный дренаж с дополнительными водопоглощающими элементами в пониженных элементах рельефа и агро-мелиоративными мероприятиями, проведенными на всей площади реконструкции.

При проектировании дренажа его параметры определяются необходимостью обеспечения заданной нормы осушения в расчетные периоды. При этом в зависимости от рельефа поверхности назначается конструкция дренажа. Современные закрытые дренажные системы должны удовлетворять следующим требованиям:

- организация ускоренного отвода поверхностных вод;
- осушение понижений глубиной до 50 см путем устройства в них колонок и колодцев-поглотителей преимущественно в сочетании с выборочным горизонтальным дренажем;

- на торфяниках с наличием на глубине $0,3 \div 0,5$ м слабоводопроницаемых прослоек с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} \leq 0,5$ м/сут. следует предусматривать рыхление почвы в местах застаивания поверхностных вод;

- глубина закладки дрен-осушителей назначается в пределах $0,8 \div 1,2$ м от поверхности почвы до трубы, с учетом прошедшей осадки торфа и стабилизации глубины торфяника. В понижениях глубиной более 0,3 м допустимая глубина закладки дрен должна быть не менее $0,6 \div 0,7$ м;

- при устройстве на объектах реконструкции выборочного дренажа, располагаемого между открытыми каналами, расстояние между каналами следует назначать в пределах $450 \div 500$ м с уточнением по расчету;

- при наличии на объекте реконструкции бессточных понижений глубиной более 0,8 м, в которых постоянно застаивается вода, целесообразно устраивать в них водоемы-копани, которые будут использоваться как источники воды для пожаротушения, орошения, водопоя скота и улучшения температурного режима мелиорированной территории;

- водоемы-копани с объемом воды $600-1000$ м³ могут устраиваться на проводящих каналах путем их уширения и углубления. Параметры их устанавливаются в зависимости от назначения.

Реконструкция дренажных систем производится в зависимости от причин, обуславливающих неудовлетворительный водный режим:

- при недостаточной водоприемной способности дрен из-за кольматажа водоприемных отверстий дренажных труб или защитно-фильтрующего материала (ЗФМ) необходимо устраивать дополнительные дрены и проводить

другие мероприятия: устройство колонок- и колодцев-поглотителей, усиливающих осушительное действие дренажа;

- применяемый ЗФМ должен соответствовать требованиям [3];
- при недостаточной глубине существующего коллектора следует устраивать новый коллектор параллельно существующему на требуемую глубину с подключением к нему как существующих, так и новых дрен;

В случаях, неудовлетворительной работы дренажа из-за малой глубины дрен, обратных уклонов дренажных линий, больших зазоров между дренажными трубками, кольматации ЗФМ восстановление работоспособности достигается перекладкой нарушенных участков или устройством новых дрен.

Одним из способов восстановления работоспособности дренажа при его заилиении и заохривании, является промывка.

Техническое состояние и работоспособность дренажных систем обуславливается их водоотводящей и водоприемной способностью. Водоотводящая (транспортирующая) способность – это способность дрен и коллекторов своевременно отводить поступающую в них почвенно-грунтовую воду. Зависит от параметров дренажных линий.

Показателем ее нормальной работы является безнапорный характер движения воды. Фонтанирование воды из труб коллекторов или выклинивания на поверхность указывает на его недостатки. Необходимо установить состояние коллектора ниже места фонтанирования. Водоприемная способность дрен зависит от их конструкции, вида и состояния присыпки, а также обратной засыпки дрен. Основным показателем неудовлетворительной водоприемной способности дрен является застой воды над ними при безнапорном движении. При этом, в зависимости от рельефа поверхности, назначается конструкция дренажа. На участках со спокойным рельефом без замкнутых понижений с уклоном поверхности более 0,005 проектируется как правило, систематический дренаж. На площадях с большим количеством замкнутых понижений, выраженным микрорельефом в суффозионно-неустойчивых грунтах и в грунтах, содержащих в воде железистые соединения, рекомендуется проектировать выборочный дренаж площадью систем не более 10 га. На одном объекте возможно сочетание выборочного и систематического дренажа.

На торфяниках и минеральных пойменных землях при ровной малоуклонной поверхности осушаемых земель и коэффициентом фильтрации $K > 0,1$ м/сут. с хорошо водопроницаемыми подстилаемыми грунтами рекомендуется проектировать безуклонный ($i=0$) и малоуклонный дренаж ($i < 0,002$).

Коллекторная сеть трассируется по направлению большего уклона по понижениям и ложбинам при этом строго не регламентируется плановое расположение дрен.

На участках с наличием в грунтовых водах закисного железа рекомендуется применять дренажные системы площадью не более 3 га и устья устанавливать ниже среднего летнего горизонта (подтопленные).

Принципы проектирования и расчета параметров выборочного дренажа отличаются от расчета систематического дренажа необходимостью определения расхода дрен и коллекторов и их плановым расположением. Для определения расхода на план наносится схема расположения осушительной сети. Схема может быть составлена для всего массива или для выделенных характерных участков площади. При составлении схем осушения следует исходить из необходимости прокладки дрен по выраженным пониженным элементам рельефа поверхности, не соблюдая при этом параллельности и равномерности расположения дрен по площади с различными при необходимости расстояниями между дренами.

Определяются площади водосбора наиболее характерных участков понижений с неудовлетворительным водным режимом.

По площади водосбора и модулю дренажного стока вычисляется сток Q данного участка:

$$Q = F \cdot q, \quad (1)$$

где F - площадь водосбора;

q - модуль дренажного стока, л/с*га.

При отсутствии материалов балансовых исследований дренажный модуль стока для различных грунтов можно принимать ориентировочно следующим [4]:

- глины, суглинки тяжелые и средние 0,4÷0,5 л/с*га;
- суглинки легкие, супеси – 0,6 л/с*га;
- пески, торфяники низинные – 0,7÷0,8 л/с*га.

Приток воды к дрене при круговом контуре питания на единицу длины находится по формуле:

$$Q_1 = \frac{2\pi KH}{\Phi_0 + \Phi}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2)$$

где Φ_0 – фильтрационное сопротивление «идеальной дрены» (полости в грунте);

Φ – безразмерные фильтрационные сопротивления, обусловленные несовершенством дренажа по характеру вскрытия пласта.

Зная Q и Q_1 - определяем длину дрен необходимую для осушения рассматриваемой площади:

$$l = \frac{Q}{Q_1}, \quad (3)$$

Q – расход коллектора, м³/сут.

Гидравлический расчет коллектора из полиэтиленовых гофрированных труб выполняется по формулам [5]:

$$Q = 22.79\eta \cdot D^{2.645} \cdot i^{0.503}, \quad (4)$$

$\eta=0,93-0,98$; большие значения берутся для труб с круглой перфорацией, меньшие – с продольными щелями,

D – внутренний диаметр трубы, м;

i – уклон дренажной линии.

Из формулы (4), зная Q , определяем диаметр коллектора.

Места смены диаметров коллекторов труб определяют исходя из условия:

$$q_i = nq_0lB, \quad (5)$$

$$\text{или } q_i = q_0le, \quad (6)$$

где n – число дрен-осушителей, расположенных выше рассматриваемого сечения коллектора;

l - длина дрен-осушителей;

q_i - пропускная способность коллекторной трубы i -ом сечении;

B - расстояние между дренами.

Гидравлический расчет малоуклонных и безуклонных дрен предлагается проводить на основании следующей формулы (7):

$$L = \left[\frac{\Delta h(1+m)}{m} \cdot \left(\frac{10^7 \omega \cdot a}{qE} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^{1+m}, \quad (7)$$

где L - длина дрены, м;

Δh - действующий напор в дрене, м (определяется по формулам гидравлики); для одиночных дрен $\Delta h = 0,05 \div 0,10$ м; для дренажных систем с коллекторами $0,10 \div 0,15$ [6];

q - модуль дренажного стока, л/с*га;

10^7 - переводной коэффициент для q из л/с*га в м³/с*га;

a и m - коэффициенты, определяемые по таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов a и m

Коэффициенты	Диаметры, мм				
	50	75	100	125	150
a	5,065	6,395	10,676	12,301	15,413
m	0,539	0,555	0,565	0,566	0,560

Для улучшения водного режима в изменившихся природных условиях, повышения надежности и технического уровня мелиоративных систем и их элементов, уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат РУП «Институт мелиорации» и РУП «Полесьегипроводхоз» разработана конструкция мелиоративной системы с применением выборочного пластмассового дренажа и колонок-поглотителей, что обеспечит своевременный отвод поверхностных вод из понижений и ликвидацию переувлажнения почвы без чрезмерного переосушения повышенных элементов рельефа антропогенно-преобразованных торфяных почв.

Система с выборочным горизонтальным дренажем на 11 – 50 % экономичнее базовых вариантов с применением типовых конструктивных решений с систематическим дренажем. Протяженность дрен на системе с выборочным дренажем в 3 раза меньше, чем на систематическом. Объем земляных работ меньше в среднем в 2 раза.

Выводы.

1. Отмечены основные технические требования к современным системам дренажа в сложных природных условиях.
2. Приведены условия применения выборочного дренажа.
3. Дана методика расчета параметров выборочного дренажа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голованов, А.И. Мелиорация земель / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров. – М.: Колос, 2011. – 825 с.
2. Титов, И. В. Белорусское Полесье: Опыт преобразования / И. В. Титов. – Брест: Альтернатива, 2015. – 312 с.
3. СТБ 1980-2009. «Полотно нетканое мелиоративное. Технические условия». Минск, 2009.
4. Справочник мелиоратора. Москва, Россельхозиздат, 1980.
5. Методические указания по гидравлическим расчетам пластмассовых трубопроводов. Мн., 1973.
6. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР. (РПИ-82), часть II, книга 1, Мн., 1985.

УДК 626.81

Яковлев Е.А., Казьмирук И.Ч.

Белорусский национальный технический университет

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЯМИ ГРУНТОВЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ УВЛАЖНИТЕЛЬНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ

Республика Беларусь расположена в зоне неустойчивого увлажнения. Общий гидромелиоративный фонд превышает 8 млн. га, что составляет почти 40% территории республики. В среднем за год выпадает 600 мм осадков, в многоводные годы количество их доходит до 899 мм, а в засушливые снижается до 350 мм.

Положительное влияние увлажнения осушенных земель на урожай сельскохозяйственных культур подтверждено многочисленными опытами. В республике Беларусь осушительно-увлажнительные системы (ОУС), занимают около 700 тыс. га или $\approx 25\%$ осушаемой территории, в том числе 176 тыс. га с гарантированным водоисточником. Используя возможности системы необходимо минимизировать потери урожая в засушливых погодных условиях. Гарантированным источником подачи воды на увлажнение могут служить близлежащие озёра и специально созданные, комплексно используемые водохранилища.

Урожайность любой сельскохозяйственной культуры в значительной степени зависит от водного и теплового режима почвы. В весенний период

многие сельскохозяйственные растения республики страдают от избыточного увлажнения, но в период вегетационный культурные растения (овощи, ранний картофель, многолетние травы) часто испытывают недостаток влаги.

Многолетними исследованиями на доказано, что дополнительное увлажнение многолетних трав путем шлюзования эффективно. Прибавка урожая многолетних трав по данным А.И. Чижика за счет шлюзования на торфяных почвах Витебщины на фоне осушения закрытым дренажем составляет в среднем 1,33 т/га сухого вещества [1].

На осушительно-увлажнительных системах с целью создания благоприятного водного режима почв осуществляют понижение уровня грунтовых вод до минимальной нормы осушения, которая обеспечивает благоприятные условия произрастания сельскохозяйственных культур и возможность механизированного производства сельскохозяйственных работ в начале вегетации, а также отвод избыточных вод с территории в периоды переувлажнения. На луговых угодьях рекомендуемые нормы осушения в начале вегетации составляют на мощных и среднemocных торфяниках 50 – 55 см, а на мелких торфяниках и минеральных почвах – 45 – 50 см.

В течение вегетационного периода на ОУС с гарантированным водоисточником уровни грунтовых вод целесообразно поддерживать по траектории, характеризующей монотонное снижение УГВ от минимально близкого расположения их в начале вегетации до максимально допустимого уровня в конце вегетации. Допустимый диапазон изменения УГВ в конце вегетации для сенокосов и пастбищ на торфяных почвах 70 ... 120 см [2].

Для получения высоких урожаев необходимо также, чтобы и влажность почвы находилась в заданных границах. Верхний предел влажности почвы при выращивании трав (сенокосы и пастбища) равен 80 – 85% от пористости (исходя из минимально необходимой аэрации 15 – 20% от объема пор). Нижний предел оптимальной влажности для трав равен 55 – 60% от пористости.

Для достижения наибольшего эффекта от мелиорации необходимо, чтобы уровень грунтовых вод на полях в течение вегетационного периода не выходил из соответствующих данным полям безопасных диапазонов. Для выполнения этого условия необходимо реализовать траекторию изменения отметок уровня воды в каналах регулирующей сети близкой к средним отметкам безопасного диапазона УГВ. Контроль за уровнями грунтовых вод осуществлялся по створам наблюдательных колодцев раз в неделю в течение вегетационного периода.

Контроль уровней воды в регулирующей сети осуществлялся также раз в неделю на водпостах, устроенных в местах пересечения створов

наблюдательных колодцев с каналами, а также в верхних бьефах подпорных сооружений.

Контроль за влажностью почвы производился два раза в месяц в репрезентативных точках местности.

Метеорологические наблюдения производятся ежедневно. В случае невозможности устройства метеопоста, метеоданные можно получить на ближайшей к объекту метеостанции.

С целью определения потребности воды на увлажнение и анализа возможности ее удовлетворения составляют внутрихозяйственный план увлажнения объекта. План разрабатывают для засушливого года (обеспеченностью 75%), затем он корректируется исходя из погодных условий реального года.

Для практических целей приемлемо испарение рассчитывать по эмпирическим формулам через среднесуточную, или максимальную температуру воздуха, или планируемый урожай.

Норму увлажнения брутто определяют по выражению:

$$m_{бр} = m_{н} - W_{с} + W_{ф} + W_{з} + W_{у},$$

где $m_{н}$ – норма увлажнения нетто; $W_{с}$ – объем зарегулированного стока в каналах в весенний послепосевной период. Для года 75% обеспеченности осадками объем дренажного стока ориентировочно принимаются 300 м³/га; $W_{ф}$ и $W_{у}$ – потери воды соответственно на фильтрацию из каналов и испарение с водной поверхности каналов. По экспериментальным данным (В.М. Зубец и др.) общие потери воды из сети составляют примерно 20 – 22% того количества воды, которое подлежит забору за весь увлажнительный сезон; $W_{з}$ – объем воды, расходуемый для заполнения каналов во время проведения увлажнения и идущий на сброс после окончания его.

Для определения $W_{з}$ построены зависимости площадей поперечных сечений каналов от глубины наполнения их водой.

$$W_{з} = \sum_1^1 \omega_i L_i .$$

На основании рассмотренных вопросов можно сделать вывод о положительном влиянии подпочвенного увлажнения путем шлюзования на сельскохозяйственные культуры. Надежность в обеспечении требуемых уровней воды зависит от наличия на мелиорированных землях гарантированного водоисточника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лихацевич А. П., Копытовских А. В., Чижик А. И. Эффективность управления водным режимом на торфяных почвах, используемых под

n_c – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый для основного сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации 1,0, для периода строительства и ремонта – 0,95, для особого сочетания нагрузок и воздействий – 0,9;

m – коэффициент условий работы, учитывающий тип сооружения конструкции или основания, вид материала, приближенность расчетных схем и др.;

k_n – коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, учитывающий капитальность и значимость последствий при наступлении предельного состояния.

Задача расчетов: для множества кривых скольжения, проведенных из разных центров различными радиусами, определить коэффициенты запаса устойчивости и выделить минимальный из них, который и будет расчетным для рассматриваемого откоса. Для удобства определения сил, действующих на призму обрушения, она делится на отдельные отсеки (см. рис. 1). Силы, действующие на каждый отсек, затем суммируются. Одним из нерешенных вопросов, существенно влияющим на конечный результат, является отсутствие единого подхода к определению гидродинамической силы фильтрационного давления. Существует два способа ее определения. Для их анализа рассмотрим наиболее известные и популярные в настоящее время методы расчета устойчивости откосов.

– Метод Крея:

$$k_y = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i} \sum \frac{G_i - P_i + c_i b_i \operatorname{ctg} \varphi_i}{\cos \alpha_i \operatorname{ctg} \varphi_i + \sin \alpha_i}. \quad (2)$$

– Метод Флорина – Терцаги:

$$k_y = \frac{\sum (G_i - P_i) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (3)$$

– Метод Мейера – Бишопа – Ничипоровича:

$$k_y = \sum \frac{(G_i \cos \alpha_i - P_i / \cos \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (4)$$

– Метод Чугаева:

$$k_y = \frac{\sum (G_i - P_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (5)$$

В формулах (2–4) приняты следующие обозначения. G_i – вес i -го отсека; P_i – сумма взвешивающих и фильтрационных сил, действующих на i -й отсек; α_i – угол наклона подошвы отсека к горизонту; φ_i – угол внутреннего трения грунта в подошве отсека; c_i – удельное сцепление грунта в подошве отсека; l_i – длина подошвы отсека.

В соответствии с первым способом для определения суммы взвешивающих и фильтрационных сил в формулах (3–5) авторы работ [1–2] предлагают следующую формулу (при отсутствии порового давления):

$$P_i = P_{vi} + P_{\phi i} = \gamma_w h_{\text{ни}} b, \quad (6)$$

где P_{vi} – сумма взвешивающих сил, действующих на i -й отсек;

$P_{\phi i}$ – сумма фильтрационных сил, действующих на i -й отсек;

$h_{\text{ни}}$ – пьезометрический напор в центре отсека, который во избежание построения фильтрационной сетки с достаточной точностью можно принимать равным глубине воды в рассматриваемом столбике отсека обрушения $h_{\text{в}}$.

Сила P_i направлена вверх перпендикулярно плоскости скольжения.

Второй способ вычисления силы фильтрационного давления изложен в работах Е. А. Замарина и В. В. Фандеева [3–4]: предлагается ее определять как внешнюю сдвигающую по формуле

$$P_{\phi} = \Omega i_{\text{ср}} \frac{r}{R} + \Omega_1 i_1 \frac{r_1}{R}, \quad (7)$$

где Ω – площадь области фильтрационного потока от кривой депрессии до кривой скольжения между точкой пересечения кривой депрессии с кривой скольжения и началом дренажа (см. рис. 1); $i_{\text{ср}}$ – средний градиент фильтрационного потока в области Ω ; Ω_1 – площадь области фильтрационного потока от начала дренажа до конца кривой скольжения; i_1 – средний градиент фильтрационного потока в области Ω_1 ; r – плечо силы гидродинамического фильтрационного давления $\Omega i_{\text{ср}}$ относительно точки O ; r_1 – плечо гидродинамической силы фильтрационного давления $\Omega_1 i_1$.

Для численной оценки приведенных методов были выполнены расчеты устойчивости по всем вышеприведенным формулам. Для примера взята грунтовая плотина со следующими характеристиками: высота плотины – 17,0 м. Ширина по гребню – 8,0 м. Коэффициенты заложения откосов: верхового – 4,0, низового – 3,0. Глубина воды в верхнем бьефе – 15,5 м. Грунт тела плотины – песок мелкозернистый, грунт основания – суглинок. Их характеристики грунтов приведены в табл. 1.

Расчеты выполнены с помощью Delfi-программы “Откос”, разработанной на кафедре гидротехнического и энергетического строительства БНТУ. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Характеристики грунтов тела плотины и основания

Грунт	Характеристики						
	$\gamma_{\text{ск}}$, кН/м ³	$\gamma_{\text{ес}}$, кН/м ³	n	c, кПа	c _н , кПа	φ, град.	φ _н , град.
Песок	15,8	16,7	0,390	3,0	3,0	32	27

мелкозернистый							
Суглинок	17,0	18,0	0,350	30,0	20,0	27	20

Таблица 2 – Результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости

Тип плотины	Методы определения фильтрационного давления	Коэффициенты устойчивости по формулам			
		Крея	Флорина – Терцаги	Мейера – Бишопа – Ничипоровича	Чугаева
Однородная	1-я группа	1,16	1,13	0,99	1,24
	2-я группа	1,33	1,29	1,29	1,41

Из табл. 2 видно, что для однородной плотины коэффициенты запаса устойчивости, подсчитанные методами 2-й группы, имеют значения на 15–30 % выше, чем подсчитанные методами 1-й группы.

На наш взгляд, ошибочно называть силу, определенную по формуле (6), фильтрационной, т.к. здесь не учитывается градиент фильтрации. Формула (7), на наш взгляд, соответствует физической картине силового воздействия фильтрационного потока на призму обрушения. Взвешивающее давление в этом случае определяется отдельно путем уменьшения удельного веса скелета грунта, расположенного ниже кривой депрессии, на удельный вес воды.

Выводы

На основании анализа методов определения силы фильтрационного давления при расчете устойчивости откосов грунтовых плотин предлагается ее находить как внешнюю сдвигающую, величина которой зависит от положения кривой депрессии и величины фильтрационного градиента (формула (7)).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидротехнические сооружения. В 2 ч. / под ред. Л.Н. Рассказова – М.:Стройиздат, 1996.
2. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1987.
3. Замарин Е.А., Фандеев В.В. Гидротехнические сооружения. – М.:Колос, 1965.
4. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. Гидротехнические сооружения. Учебное пособие для вузов. – М.: Колос, 1968.

С.А. Лаппо, Н.А. Ковалёнок

Научные руководители: Качанов И.В. – д.т.н., профессор, Власов В.В. –
ст. преподаватель

Белорусский национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания, создают эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве. В связи с тем, что высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она может быть использована как технологический процесс изготовления стержневых деталей штамповой оснастки, работающих в условиях повышенных нагрузок и износа.

Одной из важнейших задач современного этапа развития машиностроительной отрасли в Республике Беларусь является повышение качества, надежности и долговечности деталей узлов и механизмов как технологического оборудования, так и выпускаемой продукции. Поставленная задача может решаться на основе комплексного подхода, включающего в себя создание новых материалов и разработку и освоение эффективных технологий по упрочнению и ресурсосбережению металлов, являющихся основным сырьем машиностроительных предприятий.

Острой проблемой в промышленном производстве являются быстрый износ и поломки штампового инструмента, испытывающего большие нагрузки. Традиционные способы упрочняющей обработки такого инструмента исчерпали ресурс повышения его прочности и надежности. В этой связи новые возможности открывают способы совмещенного деформационного и термического упрочнения, которые позволяют интенсифицировать физико-химические процессы за счет использования природы материалов и особенностей протекания скоростного горячего выдавливания (СГВ), осуществляемого в режиме ВТМО [1].

Все известные в настоящее время способы получения слоистых металлов классифицируют по ряду общих признаков: по методам производства (склеиванием, привариванием, наплавкой, металлизацией напыления и др.), по группам образования неразъемных соединений металлов (сцепление при взаимодействии твердых металлов с расплавленными,

сцепление твердых металлов при их совместном пластическом деформировании, сцепление в результате диффузионных процессов спекания), по наличию или отсутствию пластического деформирования (прессование, волочение, сварка трением и др.; литые наплавка, пайка и др.), по условиям протекания физико-химических процессов на границе соединяемых слоев (твердый с твердым, твердый с жидким, жидкий с жидким).

Способы соединения металлов при изготовлении биметаллических изделий обычно разделяют на две большие группы: сваркой плавлением и сваркой давлением. При сварке плавлением кромки соединяемых металлов оплавляются, зазор между ними заполняется расплавленным металлом, а при охлаждении в результате совместной кристаллизации металлов происходит образование соединения. Сварку давлением осуществляют при температурах ниже температуры плавления свариваемых металлов с приложением давления, необходимого для пластической деформации приконтактных слоев соединяемых металлов.

Существенным недостатком сварки плавлением является образование в области соединения зон структурной и химической неоднородности, которые могут привести к развитию различных дефектов, появлению хрупких фаз и интерметаллических соединений. В результате этого снижаются прочностные свойства соединения.

При сварке давлением, подбирая режим обработки, можно управлять процессом формирования соединения, придавая ему требуемые свойства (прочность, коррозионную стойкость, и др.). В настоящее время с помощью процессов сварки давлением можно соединять многие металлы и сплавы [2].

Би- и полиметаллические прессизделия получают сваркой давлением из заготовок с поперечной и с продольной слоистостью, с плакированием одной из сторон профиля, а также наложением оболочки из одного металла на заготовку (сердечник) из другого. Биметаллические прессизделия можно получить, кроме того, прессованием через комбинированные матрицы специальной конструкции [3].

Для получения деталей штампов целесообразно в качестве основы использовать недорогую конструкционную легированную сталь, такую как 40Х, а в качестве плакирующего слоя применить высоколегированные штамповые стали – 5ХНМ и 5ХЗВЗМФС.

Сталь 5ХНМ применяется для изготовления деталей штампов при горячем деформировании сталей, молотовых штампов паровоздушных и

пневматических молотов массой падающих частей свыше 3 т, прессовых штампов и штампов машинной скоростной штамповки при горячем деформировании легких цветных сплавов, блоков матриц для вставок горизонтальных ковочных машин.

Сталь 5ХЗВЗМФС относится к штамповым. Применяется для тяжело нагруженного прессового инструмента (матриц, прошивных и формующих пуансонов и т.п.); инструмента для высадки на горизонтально ковочных машинах и вставок штампов напряженных конструкций, для горячего объемного деформирования легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов при горячем деформировании легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов.

Сталь 40Х наиболее приемлема в качестве основы, так как обладает хорошей ударной вязкостью наряду с достаточной твердостью, а выбранные для плакирования штамповые стали обеспечивают широкий выбор механических свойств, предъявляемых к штамповому инструменту.

Выбранные материалы имеют однородную структуру, и как следствие, схожие физико-химические свойства, обладают хорошей металлургической совместимостью, имеют небольшие различия в температурах плавления, теплопроводности и теплоемкости и пределы ковочных температур находятся в диапазоне 850–1160 °С, что обуславливает возможность соединения данных сталей с образованием прочных связей [4]. Кроме того, закалка данных сталей производится охлаждением в масле, что значительно снижает вероятность образования дефектов при последующей термообработке (при необходимости). Способ ударной сварки обеспечит высокую энергетику процесса, что позволит развить полный физический контакт и активацию контактных поверхностей, а импульсное приложение нагрузки будет способствовать развитию диффузионных процессов, препятствующих образованию интерметаллидных фаз и обеспечит объемное взаимодействие [4]. Все перечисленные факторы позволят получить качественное сварное соединение выбранных материалов и обеспечат необходимый комплекс механических свойств изготовленного инструмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов, И.В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И.В. Качанов; под ред. Л.А. Исаевича. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 327с. – ISBN 985 – 464 – 225 – 9
2. Потапов, И.Н. Слоистые металлические композиции / И.Н. Потапов [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 216 с.

3. Кононенко, В.Г. Взрывное прессование заготовок для турбинных лопаток / В.Г. Кононенко, Ю.А. Боборыкин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1963. – № 3. – С. 10 – 13.

4. Гельман, А.С. Основы сварки давлением / А.С. Гельман – М.:Машиностроение, 1970. – 312 с. (42)