

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 78-й студенческой научно-технической
конференции**

**в рамках Международного молодежного
форума «Креатив и инновации 2022»**

26 мая 2022 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 78-й 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.

Содержание

Качанов И.В., Ключников В.А., Максимович А.В., Калиновский И.В «Экспериментальные исследования 3D-моделей баржебуксирных составов с воздушной каверной в гидродинамическом лотке»;	4
Качанов И.В., Ленкевич С.А., Лаппо С.А., Ковалёнок Н.А. «Теоретические исследования процесса скоростного горячего выдавливания биметаллических резцов, предназначенных для снятия асфальтобетонного покрытия»;	6
Качанов И.В., Шаталов И.М., Ковалёнок Н.А., Денисов В.А., «Инновационная энергоэффективная технология реверсивно-струйной очистки (РСО) судовых поверхностей от коррозии»;	9
Качанов И.В., Шаталов И.М., Хвилько К.В., Земляник А.И., Шкрабкова Н.В. «Энергоэффективная технология сепарации пульпы (ЭТСП) при проведении дноуглубительных работ на водотоках и водоемах РБ.»;	12
Щербакова М. К., Абрамович И.В, Скачко А.А., Охремчик С.И. «Сравнительный анализ эффективности внутреннего водного транспорта стран Евразийского экономического союза.»;	15
Немеровец О.В., Мосейко Д.В., Пришивалко В.А. «Оценка степени риска аварии водохранилища «Стародворское»»;	20
Немеровец О.В., Линкевич Н.Н., Мосейко Д.В., Пришивалко В.А. «Натурное обследование сооружений гидроузла водохранилища «Стародворское»».	23
Чулпонов О.Г., Худайкулов С.И., Хакимов Ш., Абдурашидов М «Вопросы моделирования турбулентного течения многофазных потоков»;	25
Шаталов И.М., Щербакова М.К., Комзолова Д.С., Климович В.А., Кишкевич А.С. «Экспериментальная оценка гидродинамических процессов при чрезвычайных ситуациях на гидротехнических сооружениях напорного фронта в условиях высокогорья»;	26
Кондратович А.Н, Максимчук М.А. Устюжанина В.С «Опыт применения комбинированных методов воздействия на призабойную зону с целью обезжелезивания воды».	31

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 3D МОДЕЛИ БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ С ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНОЙ В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

Максимович А.В., Калиновский И.В.

*Научные руководители: д.т.н., проф., Качанов И.В., к.т.н., доцент
Ключников В.А.*

**БАРЖА, БУКСИР-ТОЛКАЧ, СОСТАВ, МОДЕЛЬ, ТОЛКАНИЕ,
СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ, ВОЗДУШНАЯ КАВЕРНА,
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЛОТОК.**

Объект исследования – состав судов (барже-буксирный состав) в режиме буксировки.

Предмет исследования – сопротивление движению составов судов (барже-буксирных составов) с использованием воздушной каверны в режиме толкания.

Цель исследования – экспериментальное определение сил сопротивления движению и подъемной силы, действующих на модели составов судов (барже - буксирных составов) с использованием воздушной каверны в режиме толкания.

Для достижения цели были разработаны и изготовлены компьютерные (цифровые) 3D-модели составов судов (барже-буксирных составов, включающих буксир-толкач проекта 570 и баржи на основе проекта 775) с воздушной каверной в виде пакетной и скеговой подачи воздуха в масштабе 1:100, а также разработан и оборудован измерительный стенд на базе гидродинамического лотка, на котором отработана современная методика проведения экспериментальных исследований по определению сил сопротивления движению и подъемной силы при использовании воздушной каверны в режиме толкания. Измерение осредненных скоростей в потоке производилось гидрометрической вертушкой ГМЦМ (погрешность измерения ± 1 %). Подача воздуха в воздушную каверну осуществлялась компрессором марки «ЕСО». Регулирование подачи воздуха осуществлялось с помощью ресивера и регулятора давления (редуктора).

В результате выполненных экспериментальных исследований были определены величины сил сопротивления движению и подъемной силы (рисунок 1), действующих на модели барже-буксирных составов с использованием воздушной каверны в режиме толкания.

Также проводились исследования в режиме буксировки. По полученным данным мы пришли к выводу, что воздушная каверна работает неустойчиво. Неустойчивая работа воздушной каверны скорее всего связана с изменяющимся курсом движения баржи на гибкой сцепке. В этом смысле режим толкания показал перспективность применения воздушной каверны, а режим буксировки не пригоден для практического использования (рисунок 2).

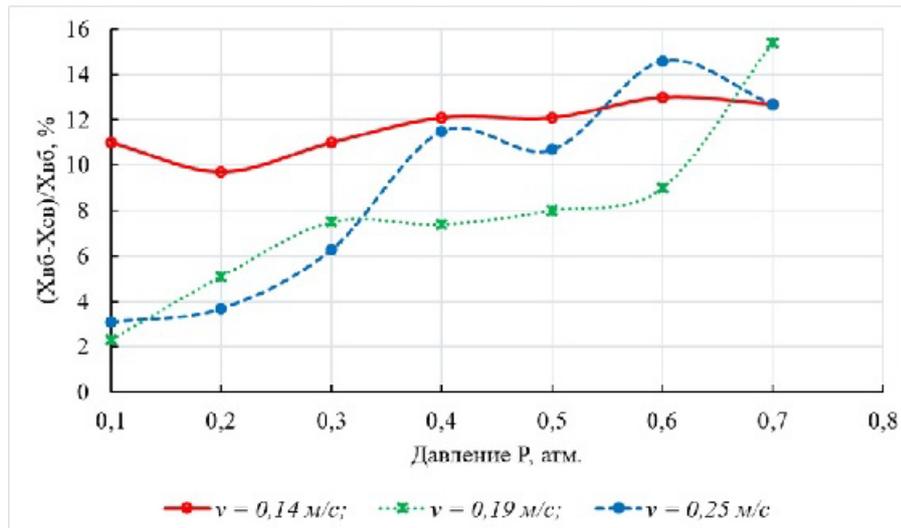


Рисунок 1 – График относительного изменения силы сопротивления движению модели состава с воздушной каверной в режиме толкания в зависимости от давления воздуха, подаваемого в днищевую часть модели баржи.



Рисунок 2 – Модель баржи в режиме толкания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по серийным транспортным судам. Несамходные сухогрузные суда. Т.4. – Москва: Транспорт, 1972. – С. 181.
2. Справочник серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 8. – Москва: Транспорт, 1987. – С. 235.
3. Справочник серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи. Т. 10. – Москва, 1994. – С. 70.
4. Программно-аппаратный комплекс измерения усилий. Паспорт. Минск: БНТУ, 2008. – 2 с.

5. Инструкция по настройке «Контроллер КТУ»: утв. М-вом образ. Респ. Беларусь 10.11.2008. – Минск: БНТУ, 2008. – 7 с.
6. Микровертушка гидрометрическая ГМЦМ-1 (КК 001.00.00.00.000ПС). Руководство по эксплуатации. Свид. об утв. типа РФ RU.C.28.001.A №34138, 2014. – 10 с.
7. 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.
8. 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.
9. Технология воздушной каверны [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://korabley.net/> (дата обращения – 15.10.19).
10. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов / Я.И. Войткунский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.
11. Богданов Б.В. Проектирование толкаемых составов и составных судов / Б.В. Богданов, Г.А. Алчуджан, В.Б. Жинкин. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.
12. Веледницкий И.О. Сопротивление воды движению толкаемых составов / И.О. Веледницкий. – М.: Транспорт, 1965. – 118 с.
13. Лесюков В.А. Расчет скоростей движения речных составов / В.А. Лесюков. – Новосибирск, кн. Изд-во, 1955. – 54 с.
14. Павленко В.Г. Сопротивление воды движению судов / В.Г. Павленко. – М.: Морской транспорт, 1956. – 508 с.
15. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – 8-е изд., перераб. М.: Наука, 1977. – 440 с.

УДК 531.781.2

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СКОРОСТНОГО
ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЦОВ,
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ СНЯТИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО
ПОКРЫТИЯ**

Лаппо С.А., Ковалёнок Н.А.

*Научный руководители: д.т.н., проф., Качанов И.В., ст. преподаватель
Ленкевич С.А.*

Современная транспортная система Республики Беларусь постоянно наращивает объемы грузоперевозок, в связи с чем увеличиваются объемы дорожно-строительных и ремонтных работ (в 2 и более раз ежегодно), которые для достижения экономической эффективности требуют использования

современных инновационных технологий строительства и ремонта автомобильных дорог.

В современной общеевропейской и мировой практике ремонтно-строительных дорожных работ широко используются дорожные фрезы различных конструкций. Основным рабочим элементом дорожной фрезы, определяющим качество выполненных работ, является резец.

В настоящее время изготовление дорожного резца – это продукт сложной специальной технологии и имеет ряд особенностей. Одна из них – пайка твердосплавного наконечника к стальному корпусу резца. Наиболее общей причиной преждевременного выхода из строя резцов является низкая технологическая прочность паяного соединения твердосплавного наконечника. При фрезеровании дорожного покрытия происходит значительный разогрев резца и из-за разных коэффициентов теплового расширения стали и твердого сплава возникающие напряжения стремятся разорвать инструмент в области пайки.

В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на новых принципах изготовления резцов с получением неразъемного биметаллического соединения твердосплавного наконечника и стального корпуса резца путем горячего комбинированного выдавливания составных заготовок [1].

Объект исследования является технология получения дорожных резцов методом скоростного горячего выдавливания.

Предмет исследования – резцы для снятия асфальтобетонного полотна.

Цель работы – разработать физико-математическую модель скоростного горячего комбинированного выдавливания биметаллических дорожных резцов.

В результате выполненной работы были проведены аналитические исследования марок материалов для изготовления дорожных резцов, а также разработана математическая модель для расчета силового воздействия на пуансон в процессе скоростного, комбинированного, горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов в условиях плоской деформации.

По результатам выполненной научно-исследовательской можно сделать следующие выводы:

1. Существующая технология холодного фрезерования дорожного полотна позволяет без разогрева фрезеровать дорожное покрытие для планирования, придания нужной текстуры для лучшего сцепления. К тому же

удаленное дорожное покрытие можно использовать для вторичной переработки на асфальтобетонных заводах.

2. Рабочие органы – резцы для холодного фрезерования дорожного полотна подвергаются значительному износу и процесс замены занимает немало времени, поэтому постоянно ведется поиск решений по увеличению срока службы этих деталей, что говорит об актуальности новых способов их изготовления.

3. Для получения резцов для дорожных машин целесообразно в качестве хвостовой части использовать недорогую конструкционную легированную сталь, такую как 40Х и 5ХНМ, а в качестве корпуса высоколегированные штамповые стали – Р6М5, 5ХЗВЗМФС (ДИ 23), Р18, а для наконечника вольфрамокобальтовые сплавы ВК.

4. Разработана методика расчета усилия, действующего на пуансон на каждой стадии процесса пластического течения биметаллической заготовки в матричную полость с тремя очагами деформации. В ходе решения задачи в квазистатической постановке и исходя из условий минимальной мощности внутренних сил получены уравнения для расчета оптимальных параметров поля α_{opt} , β_{opt} , γ_{opt} , зависящих от коэффициентов вытяжки λ и коэффициента трения μ . Уравнения, полученные в рамках разработанной модели, являются достаточно корректными, так как позволяют определять минимальное усилие, действующее на пуансон.

5. Результаты работы предполагается внедрить на предприятиях дорожной отрасли Республики Беларусь.

6. Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2023 годы, подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы». Задание 4.1.20 «Разработка импортозамещающей технологии комбинированного выдавливания резцов для снятия нежестких дорожных покрытий» (№ гос. регистрации 20212083).

7. Разработанная на кафедре ГЭСВТГ технология скоростного горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов прошла предварительную апробацию в 2017–2020 годах на дорогах Республики Беларусь.

Результаты работы предполагается внедрить на предприятиях дорожной отрасли Республики Беларусь.

Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2023 годы, подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы». Задание 4.1.20 «Разработка

импортозамещающей технологии комбинированного выдавливания резцов для снятия нежестких дорожных покрытий» (№ гос. регистрации 20212083).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов И.В. Технология изготовления резцов для дорожных машин / И.В. Качанов, И.М. Шаталов, А.А. Рубчenea, К.Ю. Быков // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Proceedings of academic science – 2017, August 30 – September 7, 2017: Sheffield. Science and education LTD. – Volume 4. – № 9. – P. 24–29.

УДК 669:620.197

ИННОВАЦИОННАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ (РСО) СУДОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

Ковалёнок Н.А., Денисов В.А.

*Научный руководители: д.т.н., проф., Качанов И.В., ст. преподаватель
Шаталов И.М.*

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. 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.

Для устранения отмеченных недостатков, с одновременным повышением производительности труда предлагается при очистке использовать реверсивно-струйное течение жидкости относительно обрабатываемой поверхности. 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 $70\div 80\%$. Кроме того, устройство, использующее реверсивную струю рабочей жидкости, позволяет решить вопросы по сбору жидкости после проведения очистки поверхности и отправить ее на регенерацию.

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 энергоэффективной 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 исследования энергоэффективного процесса реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей, а также разработана методика расчета основных параметров, влияющих на процесс энергоэффективной реверсивно-струйной очистки судовых стальных поверхностей.

Объектом исследования является энергоэффективная инновационная технология реверсивно-струйной очистки (РСО) судовых поверхностей от

коррозии. Предмет исследования – энергоэффективное инновационное устройство для реализации технологии РСО. Цель работы – разработать современную отечественную энергоэффективную инновационную технологию реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии; провести теоретические и экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров технологии РСО.

На кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ была разработана новая отечественная энергосберегающая технология реверсивно-струйной очистки (РСО) судовых поверхностей от коррозии. Эта технология РСО позволяет за счет разворота струи рабочей жидкости на 180° повысить в $1,5 \div 2$ раза силу струйного воздействия на обрабатываемую поверхность, что способствует значительной экономии энергоресурсов.

Кроме того, разработан состав рабочей жидкости, значительно повышающий качество обработки судовой поверхности. Полученный состав позволяет помимо очистки поверхности наносить защитное пленочное покрытие, длительное время предотвращающее образование повторных очагов коррозии.

На основе приближенного энергетического метода (метода верхней оценки) была также разработана математическая модель расчета давления разрушения от воздействия реверсивной струи на обрабатываемую поверхность, состоящую из слоя коррозионных отложений.

В результате решения вариационной задачи получена теоретическая зависимость для расчета минимальной величины давления разрушения p_{\min} в точке соударения реверсивной струи с преградой, учитывающая механические свойства разрушаемого материала – предел текучести σ_s и его плотность ρ , скорость струи $v_{\text{стр}}$ и параметр реверсивного течения – коэффициент обжатия струи λ . Далее в лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ были проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров технологии РСО.

Сопоставление экспериментальных данных, полученных с помощью двух методик (базируются на основе применения датчика разности давлений ЭДП-30 и пружинного динамометра с пределами измерений 25 и 80 МПа соответственно), с теоретическими в диапазоне рабочих скоростей реверсивного струйного воздействия $v_{\text{стр}} = (140 \div 200)$ м/с и давлений на преграду $14 \div 43$ МПа показало расхождение порядка $4 \div 15$ %. Полученное незначительное расхождение между теорией и экспериментом показывает, что оптимизированная теоретическая зависимость является вполне корректной и может быть использована в инженерной практике как для прогнозирования энергосиловых и кинематических параметров процесса реверсивно-струйной

очистки, так и для подбора соответствующего насосного оборудования, предназначенного для реализации этого процесса.

В результате выполненных исследований разработана конструкция нового струеформирующего устройства, обеспечивающая повышение силового воздействия на обрабатываемую поверхность за счет реверсивного разворота струи рабочей жидкости; получен патент Республики Беларусь на изобретение; проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров технологии РСО.

Проведены промышленные испытания установки энергоэффективной реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей на производственной базе «Элизер» (г. Минск) на лазерном комплексе Nurex Gear 510 (Япония).

Результаты работы внедрены в учебном процессе БНТУ, на предприятии СООО «Элизер» и ООО «Амкодор-Можа». Работа выполнялась в рамках договоров о научно-техническом сотрудничестве №02-07 от 04.07.2017 г. СООО «Элизер» и №37 от 09.07.2018 г. с ООО «Амкодор Можа», а также гранта Министерства образования Республики Беларусь ГБ 12-12 №20120807.

УДК 608

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ (ЭТСП) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОВОТОКАХ И ВОДОЁМАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Шкрабкова Н.В., Климович В.А.

*Научные руководители: д.т.н., проф., Качанов И.В., ст. преп.,
Шаталов И.М., ассистент Хвилько К.В.*

Проведение дноуглубительных работ на внутренних водных путях Республики Беларусь является одним из условий обеспечивающим судоходство пассажирских и грузовых судов. Эти работы осуществляются специальными плавучими дноуглубительными землесосными снарядами (земснарядами), предназначенными для подводной разработки грунта[1,2]. 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 хозяйственной деятельности в Республике Беларусь[3]. В данной статье представлена энергосберегающая технология сепарации пульпы и устройство для её

осуществления которая была разработана на кафедре “Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика (ГЭСВТГ)”.

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

Цель работы – разработка энергосберегающей технологии сепарации пульпы в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса земснаряда и устройство для ее реализации.

В результате проведенных компьютерных, лабораторных и натурных исследований была разработана энергосберегающая технология сепарации пульпы (ЭТСП) в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса и определено оптимальное поперечное сечение, которым является **овальное**. 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 энергоэффективность работы землесосного снаряда в целом.

Также, была разработана конструкция сепаратора пульпы, которая позволяет контролировать гранулометрический состав извлекаемого грунта (рис.1).

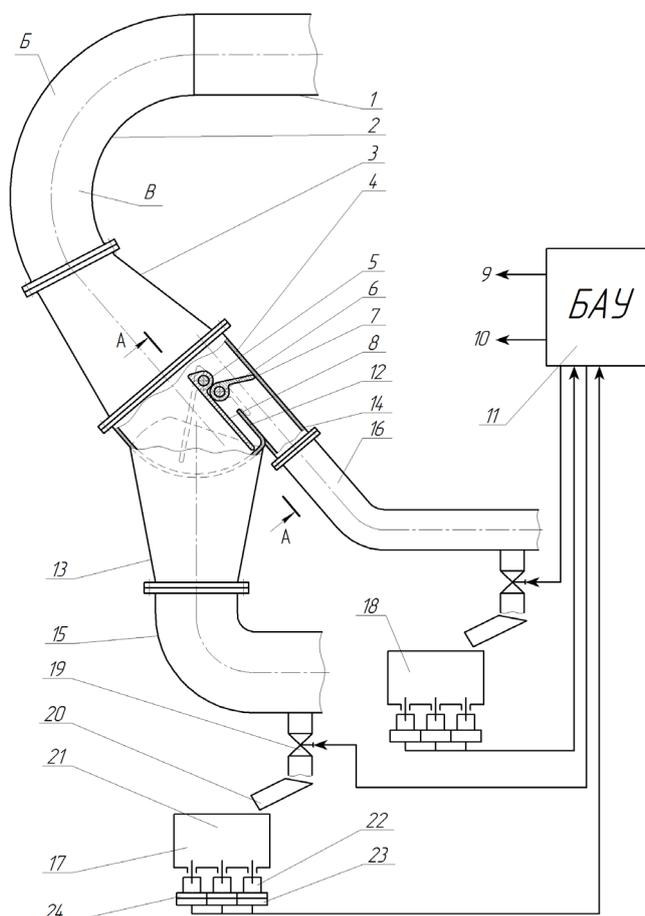


Рисунок 1 – Конструкция сепаратора пульпы

Устройство автоматической сепарации пульпы включает в себя: напорный горизонтальный трубопровод 1 для подачи пульпы, расширительный патрубок 3, корпус 4, в котором на приводных валах 5 установлены поворотные заслонки 7,8 для частичного или полного перекрытия отводных патрубков, соединённых с трубопроводами для выхода товарной 13 и некондиционной пульпы 14, и систему автоматического контроля и управления консистенцией товарной и обеднённой пульпы на выходе из отводных патрубков 11. Кроме этого сепаратор пульпы имеет блок анализа и управления; блоки контроля для экспресс-анализа товарной и некондиционной пульпы, состоящие из приводных шаровых кранов, вибросепараторов, снабжённых электронными весами с датчиками и чашками с механизмами опрокидывания и приводы поворота заслонок, при этом осуществляется обратная связь между показаниями датчиков электронных весов и углом поворота поворотных заслонок.

На конструкцию вышеупомянутого сепаратора был получен патент № ВУ 21972.

Проведенные на кафедре ГЭСВТГ экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Оптимальным поперечным сечением плавного поворота трубы сепаратора пульпы является – овальное;
- 2) 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 энергоэффективность работы землесосного снаряда;
- 3) установлено, что применение овального поперечного сечения на поворотах нагнетательной трубы позволит реализовать ЭТСП в реальных (натурных) условиях при напоре $H=27$ м; подаче $Q = 0,38$ м³/с., при этом на реализацию ЭТСП 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 ЭТСП (с круглым поперечным сечением поворотного сепаратора пульпы).

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

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.

УДК 656.621

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА (ЕАЭС)

Абрамович И.В., Скачко А.А., Охремчик С.И.

Руководит ель: ст . преподават ель Щербакова М. К.

В настоящее время государствами-членами Евразийского экономического союза являются Республика Армения, Республика Беларусь, Республика Казахстан, Кыргызская Республика и Российская Федерация.

Географическое положение стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС) исключительно не только по региональным, но даже по мировым меркам.

Республика Армения – единственная страна региона Западной Азии, не имеющая выхода к крупной акватории. **Республика Беларусь** – это крупнейшая страна в Европе, у которой нет выхода к морю. **Республика Казахстан** – крупнейшая страна в мире, которая не имеет выхода к морю. Учитывая неопределенность статуса Каспия и отсутствие его связи с Мировым океаном, Казахстан, согласно документам ООН, рассматривается как страна, не имеющая выхода к морю. **Кыргызская Республика** третья страна в мире среди стран, не имеющих выхода к морю с наибольшей средней возвышенностью над уровнем моря. **Российская Федерация** обладает самой протяжённой сухопутной границей в мире и самым большим количеством полюсов недоступности планетарного масштаба. Среди стран ЕАЭС формально лишь Россия имеет доступ к морю. Но, учитывая удалённость от моря большей части территории РФ, страна может рассматриваться в ряде

случае как более континентальная, чем её партнёры по евразийской интеграции.

В данной связи следует отметить и климатические условия. Россия – вторая после Канады страна в мире с самой низкой температурой (среднегодовая температура: -5°C). По различным оценкам, от 55% до 65% территории России расположено в зоне вечной мерзлоты. Из 67 портов в России лишь 19 незамерзающих, 7 из которых расположены на Дальнем Востоке.

На территории Евразийского экономического союза, составляющей более 20 млн. кв. км с населением свыше 182 млн. человек, функционируют 107, 5 тыс. км эксплуатируемых внутренних водных путей (таблица 1).

Таблица 1 – Протяженность эксплуатируемых водных путей стран ЕАЭС

Страна	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Республика Армения	...	...	...	...	...	...
Республика Беларусь	1714	1714	2115	1889	2067	...
Республика Казахстан	4150,9	4150,9	4150,9	4080,9	4106,1	3533,3
Кыргызская Республика	420	...	...	...	...	...
Российская Федерация	101662	101485	101485	101485	101578	101578

... нет данных за этот период

Несмотря на значительную протяженность **внутренних водных путей в Российской Федерации** (102 тыс. км, второе место в мире после Китая), на долю внутреннего водного транспорта приходится всего около 1% грузооборота. При этом на протяжении последних лет сохраняется отрицательная тенденция и снижение показателей на внутренних водных путях. Так, в 2019 году объем грузоперевозок снизился на 7%, до уровня 108 млн тонн. По итогам 2020 года объем грузовых перевозок внутренним водным транспортом сохранился практически на уровне 2019 года (109 млн тонн), однако грузооборот за тот же период снизился на 8,6% (рисунок 1). В условиях ограничений, связанных с пандемией COVID-19, увеличился объем перевозок зерна, металлов и руды, однако значительное снижение произошло в сегменте нефтеналивных речных перевозок.



Рисунок 1 – Перевозки грузов и грузооборот внутреннего водного транспорта (ВВТ) РФ в 2015–2020 годах

Одной из главных проблем развития водной транспортной системы Российской Федерации является несоответствие современным условиям имеющихся портовых сооружений. Порты, большая часть которых построена более 40 лет назад, по своим техническим характеристикам не соответствуют современным требованиям касающихся околопричальных и акваторных глубин, в результате чего почти 60% портов не могут принимать суда большой тоннажности.

Одной из основных проблем отрасли остается старение флота и инфраструктуры. Так, по состоянию на 2019 год возраст 92% речных и озерных судов в России – более 30 лет. При этом в 2017 году доля судов старше 30 лет составляла менее 90%.

Для увеличения объема перевозок грузов и повышения конкурентоспособности внутреннего водного транспорта необходимо решить ряд проблем, связанных со старением инфраструктуры и флота, а также с использованием технологий, не отвечающих современным запросам рынка.

Большая часть запланированных мероприятий в отрасли направлена на решение данных проблем, а к основным отраслевым стратегическим документам можно отнести Стратегию развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2030 года и разрабатываемые Транспортную стратегию до 2035 года и национальный проект «Внутренний водный транспорт», который придет на смену федеральному проекту КПМИ «Внутренние водные пути».

Водный транспорт Республики Казахстан представлен морским и внутренним водным (речным) транспортом. Водный транспорт Казахстана обладает значительным транзитно-транспортным потенциалом, так как

основные реки страны протекают по территории нескольких государств. Протяженность всех эксплуатируемых судоходных внутренних путей общего пользования на 2020 год составляла 3533,3 км (таблица 1). Внутренние водные пути в Казахстане являются путями общего пользования и находятся в государственной собственности.

Внутренний водный транспорт занимает небольшой удельный вес в общих объемах работы транспорта республики – 0,003 %. За последние 6 лет объемы перевозки грузов внутренним водным транспортом имел циклический характер (рисунок 2). В 2017 г. объем перевозки грузов вырос по сравнению с 2016 г. на 38 %, а в 2020 г. снизился на 32% по сравнению с 2019 годом (рисунок 2).

В 2019 г. существенно снизился грузооборот по сравнению с 2018 г. на 64% (рисунок 2). За период 2015–2019 г. грузооборот сократился почти в 3 раза (данных за 2020 г. нет). Учитывая, что протяженность внутренних водных судоходных путей за данный период не изменялась, то грузооборот речного транспорта также снизился в 3 раза.

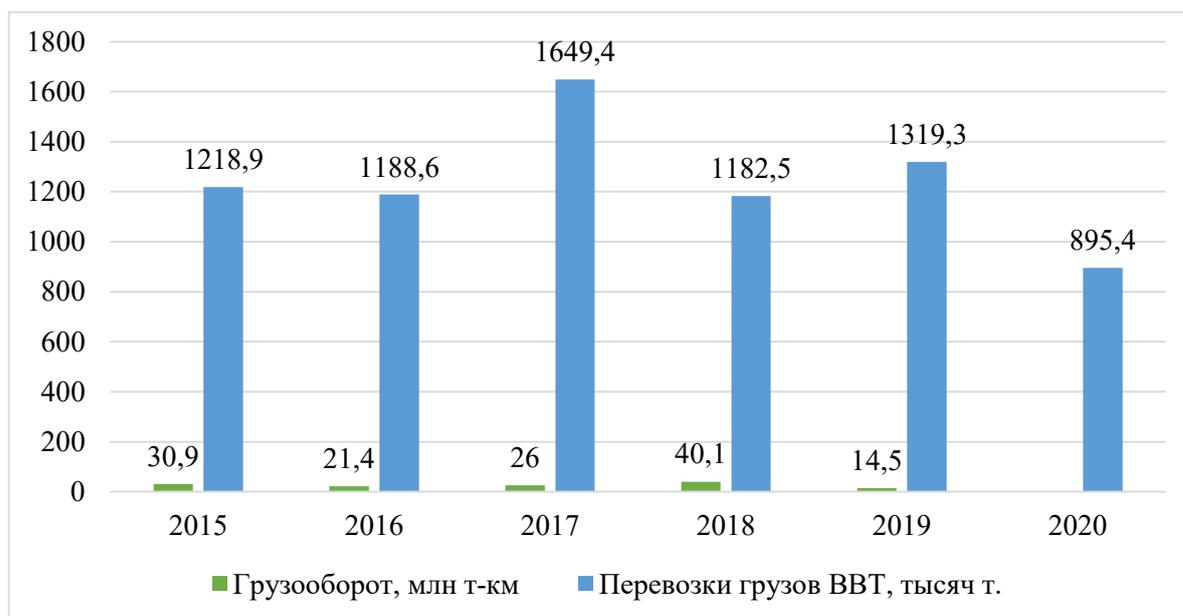


Рисунок 2 – Перевозки грузов и грузооборот внутреннего водного транспорта Республики Казахстан в 2015–2020 годах

Речной транспорт Казахстана оснащен в основном грузовыми самоходными судами – баржами (36,9 %). Грузовые самоходные суда составляют только 7,1 %, это сухогрузы. С 2015 г. наливные самоходные суда в речном флоте отсутствуют. Баржи представлены в основном сухогрузами 28,6 % и только 8,3 % – наливные. Это говорит о том, что речным транспортом перевозятся в основном навалочные грузы.

Доля грузовых самоходных судов в возрасте до 32 лет составляет 22,2 %, а в возрасте 32–50 лет – 55,5% и старше 50 лет – 22,2 %. Несмотря на практически полностью изношенный флот грузовых самоходных судов, обновление их не производится. Значительно лучше состояние грузовых несамоходных судов. В 2017 г. доля данных судов в возрасте до 22 лет составляет 22,7%, а в возрасте 32–50 лет – 60,6% и старше 50 лет – 10,2%. Такое же положение с буксирными судами: доля судов старше 50 лет составляет 16%, а в возрасте 32–50 лет – 52% и младше 22 лет – 16%.

Внутренний водный транспорт является неотъемлемой частью транспортного комплекса **Республики Беларусь**. Протяженность эксплуатируемых внутренних водных путей Республики Беларусь составляет около 2 тысяч километров водных путей (таблица 1). Их содержание и развитие осуществляется за счет средств республиканского бюджета.

Доля внутренних водных путей общего пользования по состоянию на конец 2019 года составила 1,7% от общей протяженности всех путей сообщения Республики Беларусь. Анализ соотношений протяженности водных и железнодорожных путей, автомобильных дорог у нас и у ближайших соседей позволяет констатировать, что объемы перевозок грузов водным транспортом Республики Беларусь значительно меньше пропускной способности судоходных водных артерий.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь по состоянию на 2019 год в организациях внутреннего водного транспорта находятся в эксплуатации 218 единиц транспортных судов общего пользования (включая буксиры и толкачи), 189 единиц вспомогательных судов и 12 пассажирских судов общего пользования. Количество пассажирских и вспомогательных судов, находящихся в эксплуатации в организациях внутреннего водного транспорта, в 2019 году уменьшилось на 13 единицу по сравнению с 2015 годом, также уменьшилось количество транспортных средств общего пользования и вспомогательных судов на 32 единицы и 2 соответственно.

Объем перевозки грузов ВВТ за 2020 год составил 2696 тыс. тонн, что на 20% больше объемов 2019 года (рисунок 3). Грузооборот в 2020 году составил 30 млн. т-км., что на 9% меньше, чем в 2019 году (рисунок 3). В целом, за период 2016–2020 годов мы наблюдаем 6%-ый рост совокупного объема грузоперевозок по республике. Однако стоит отметить небольшое сокращение объемов грузоперевозок (–5,8%) с 2016 по 2017 год. Соответственно, в период с 2015 по 2018 наблюдается увеличение грузооборота, а в период с 2018 по 2020 его снижение.



Рисунок 3 – Перевозки грузов и грузооборот внутреннего водного транспорта Республики Беларусь в 2015–2020 годах

УДК 626.8

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РИСКА АВАРИИ ВОДОХРАНИЛИЩА «СТАРОДВОРСКОЕ»

Мосейко Д.В., Пришивалко В.А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Немеровец О.В.

Аварийность низконапорных гидротехнических сооружений (плотины IV класса с напором до 15м и объемом водохранилища до 50 млн. м³) в Российской Федерации выше, чем у высоконапорных и средненапорных. За последние пять лет в России имели место более 300 аварий ГТС IV класса. Это объясняется неудовлетворительным уровнем их технического обслуживания, отсутствием или недостаточным штатом эксплуатационного персонала, а в ряде случаев - потерей собственника и эксплуатирующей организации [2]. В Республике Беларусь все земляные плотины согласно [3] относятся к низконапорным плотинам (плотины IV класса). В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется более 150 водохранилищ с объемом более 1 млн. м³ [4]. На наиболее крупных водохранилищах требования к обеспечению безопасности удовлетворяются в полной мере, чего нельзя сказать о многочисленной группе менее крупных водохранилищ водохозяйственного комплекса, которые эксплуатируются более 40-50 лет и нуждаются в выделении необходимых средств для выполнения ремонтных работ.

Опасность аварии оценивается по следующим четырем показателям:

1. По первому показателю, по опасности превышения принятых при обосновании конструкций сооружений природных нагрузок и воздействий,

степень опасности, определяемая по соответствующим отличительным признакам, подразделяется на **малую, среднюю и большую**, каждой из которых соответствует свой код.

Основным фактором риска по этому показателю опасности является превышение эксплуатационных паводковых расходов над принятыми в проекте, которые определялись по эмпирическим зависимостям в связи с отсутствием гидрометрических наблюдений на реке. В связи с небольшим превышением отметки гребня земляной плотины над НПУ (1,5 м) при паводковых расходах, превышающих расчетные, возможен перелив воды через гребень земляной плотины и ее размыв. В связи с этим принята **большая степень опасности**, которой соответствует код «3».

2. По второму показателю, по обоснованности и соответствии проектных решений современным нормативным требованиям степень опасности принята **малая**, которой соответствует код «1», так как при достаточной обоснованности проектных решений и их соответствии современным нормативным требованиям, сооружения гидроузла не оборудованы контрольно-измерительной аппаратурой.

3. По третьему показателю, по соответствию проекту конструкций сооружений, условий их эксплуатации и свойств материалов сооружений и основания степень опасности отсутствует, чему соответствует код «0», так как при обследовании гидроузла установлено **полное соответствие** конструкций сооружений их проектным решениям.

4. Четвертый показатель учитывает возможные последствия и ущерб при аварии гидротехнических сооружений. Отличительные признаки, характеризующие каждую из четырех степеней опасности, определены в соответствии с классификацией масштабов возможных чрезвычайных ситуаций, принятой МЧС РФ.

По четвертому показателю степень опасности принята **средней** с кодом «2», так как в нижнем бьефе водохранилища расположены деревни «Старый Двор» и «Демяши» и масштаб возможной чрезвычайной ситуации, в этом случае, оценивается как местный, когда зона распространения не выходит за пределы населенных пунктов.

Таким образом, интегральная степень опасности аварии водохранилище «Стародворское» оценивается итоговым кодом «3102», что соответствует коэффициенту опасности $\lambda=0,471$, который представляет собой долю от наиболее опасной ситуации на гидроузле, при которой $\lambda=1,0$.

Оценка степени уязвимости гидротехнических сооружений определяется их восприимчивостью к воздействию факторов опасности по следующим трем показателям:

1. Состояние сооружений гидроузла на момент его обследования. По этому показателю **степень уязвимости отсутствует**, чему соответствует код «0», так как при обследовании гидроузла не обнаружено каких-либо разрушений конструктивных элементов сооружений.

2. Организация эксплуатации гидроузла. Степень уязвимости сооружений гидроузла по этому показателю принята **большой** с кодом «3», так как на гидроузле нет постоянного эксплуатационного персонала и отсутствует вневедомственная охрана гидроузла.

3. Готовность гидроузла к локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации. По этому показателю степень уязвимости принята **средней** с кодом «2», в связи с тем, что на гидроузле нет достаточного количества материалов, оборудования и механизмов для экстренного проведения аварийно-восстановительных работ.

Интегральная оценка уязвимости сооружений гидроузла при готовом коде «032» характеризуется коэффициентом уязвимости $v=0,423$, который представляет собой долю от наиболее неблагоприятной ситуации на гидроузле, при которой $v=1,0$.

Степень риска аварии на водохранилище «Стародворское» выражается коэффициентом риска аварии.

$$R=\lambda v=0,471 * 0,432=0,203$$

В соответствии с [5] по этому коэффициенту степень риска аварии оценивается как умеренная, а уровень безопасности гидротехнических сооружений – как пониженный.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Малик, Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений/ Л.К. Малик, Проблемы безопасности. М: Наука, 2005, 354 с.

2. Щедрин, В.Н. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений/ Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Бакланов Д.В., Баев О.А., Михайлов Е.Д.: монография.- Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016.-283с.

3. СН 3.04.01 - 2020 Гидротехнические сооружения общего назначения / РУП "СТРОЙТЕХНОРМ". – Мн., 2021 – 74 с.

4. Калинин, М.Ю. Водоохранилища Беларуси: Справочник /М.Ю. Калинин и др. – Минск, 2005.-183с.

5. 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.

УДК 626.8

НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА ВОДОХРАНИЛИЩА «СТАРОДВОРСКОЕ»

Мосейко Д.В., Пришивалко В.А.

Научный руководители: Немеровец О.В., Линкевич Н.Н.

Водохранилище построено в 1982 г. по проекту Белгипроводхоза. Расположено у д. Демяши Поставского района.

Водохранилище — русловое, сезонного регулирования. По проекту предназначалось для орошения рыборазведения, рекреации, противопожарных нужд.

Площадь зеркала — 0,3 км², длина— 1,8 км, ширина: максимальная — 0,2 км, средняя — 0,16, км; средняя глубина — 3,8 м. Объем: полный — 1,1 млн м³, полезный — 0,8 млн м³. Разность отметок НПУ и УМО — 4,0 м. Площадь водосбора в створе гидроузла — 19,2 км, расстояние от устья — 16,5 км. Рельеф водосбора — грядовохолмистый, распаханность — 30%, залесенность — 15 %, заболоченность — 20 %. Средний годовой сток за многолетний период в створе гидроузла — 3,9 млн. м³, за половодье— 1,8 млн м³. Половодье приходится на март—апрель месяцы. Питание реки — смешанное, с преобладанием снегового.

Состав сооружений гидроузла: плотина, водосброс, водовыпуск. *Плотина* — земляная, однородная, длиной 184 м, крепление верхового откоса — железобетонные плиты, максимальная высота плотины — 9,7 м, ширина плотины по гребню — 6,5 м. *Водосброс* — железобетонный, типовой, автоматический, трубчатый с ковшовым оголовком, труба диаметром 1500 мм, выходной оголовок консольного типа. Водосброс обеспечивает пропуск расхода воды — 31,0 м³/с. Водовыпуск — типовой, трубчатый, диаметром 400 мм, рассчитан на пропуск расхода воды — 0,7 м³/с.

На момент обследования земляная плотина находилась в удовлетворительном состоянии. Не отмечено размывов верхового и низового откосов плотины, нет осадок грунта тела плотины ни на ее длине, ни в примыканиях к паводковому водосбросу, ни к донному водоспуску. Крепление верхового откоса сплошной одерновкой и монолитными железобетонными плитами в удовлетворительном состоянии, не отмечено

мест размораживания бетона, нет крупных трещин, раковин, каверн, не обнаружено оголения арматуры.

Основным дефектом крепления верхового откоса является полное или частичное разрушение уплотнения температурно-осадочных швов, которые заросли травой, а в отдельных швах проросли деревья (рис. 1).



Рисунок 1 – Верховой откос земляной плотины

На низовом откосе земляной плотины разрушений травяного покрова не обнаружено, нет выклинивания фильтрационного потока на незащищенный низовой откос.

Гребень плотины и внутрихозяйственная дорога в удовлетворительном состоянии, без видимых разрушений.

Трубчатый дренаж земляной плотины находится в неудовлетворительном состоянии. Нет движения фильтрационного потока в дренаже, в смотровом колодце трубы затоплены (рис. 2).



Рисунок 2 – Смотровой колодец трубчатого дренажа земляной плотины

Техническое состояние бетонных конструкций паводкового водосброса удовлетворительное. Никаких видимых разрушений в виде раковин, пустот, каверн, обнажения арматуры не обнаружено ни на входном оголовке водосброса, ни на выходном (рис. 3).



Рисунок 3 – Входной и выходной оголовки паводкового водосброса

УДК 532.5

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ

Чулпонов О.Г.¹, Худайкулов С.И.², Хакимов Ш.¹, Абдурашидов М.¹

¹ Наманганский инженерно-строительный институт

² Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем
город Наманган, Республика Узбекистан

Аннотация:

Авторами проведены исследования течения реактивных потоков смеси вязких жидкостей для различных условий движения струй. В статье приводится постановка задачи и установление области автомодельности.

Многофазные потоки встречаются повсеместно. К ним относятся не только речные потоки в деформируемых руслах и селевые потоки на горных склонах, но и кровь в сосудах, топливные смеси в ракетах, цементные и бетонные растворы, пароводяные смеси в энергетических установках и другие.

Компоненты потока часто резко отличаются по своим свойствам и могут быть представлены в виде газа, жидкости, твердого вещества, при этом каждая из этих фаз может являться как несущей, так и несомой средой.

Несущую среду принято рассматривать абсолютно непрерывной, несомую же среду можно назвать условно сплошной, а при малых размерах частиц – непрерывно диспергированной или равномерно разрывной.

Для дисперсной фазы не обязательно вводить гипотезу условной сплошности. В некоторых задачах, например при выводе критериев подобия, полезно сохранить дискретное рассмотрение.

Движение каждой частицы жидкости в области, ограниченной твердыми поверхностями, описывается тремя скалярными уравнениями сохранения количества движения частицы и тремя уравнениями сохранения момента количества движения.

При определении области автомодельности для применения соответствующих зависимостей используют динамический коэффициент

ВЯЗКОСТИ В ВИДЕ

$$\gamma_{HT} = \hat{C}_n x^I y^r U_n^q,$$

где $\hat{C}_n = \gamma_{шт} H^{I+r} V_{шт}^{-q}$.

Различное сочетание показателей степени I , q и r определит характер течения струи:

при $I=q=r=0$ течение ламинарное;

при $I=1, q=1, r=0$ – течение турбулентного пристеночного слоя;

при $I=0, q=1, r=1$ – свободная турбулентная струя.

Решение задач о ламинарных струях вязкой жидкости достаточно хорошо освещено в научной литературе [1, 2].

Совместное рассмотрение уравнений движения, непрерывности и изменения температуры для различных условий позволяет найти решение ряда автомодельных задач турбулентного движения закрученных струй и вывести условие автомодельности реактивных потоков вязкой жидкости.

Решение этих задач, наряду с теоретической значимостью, имеет ряд практических приложений в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Вулис А. А., Кашкаров В. П. Теория струи вязкой жидкости. Физмат. изд., учеб. пособие. – М.: Наука, 1965. – 431 с.
2. Хамидов А. А. Решение задач о двумерной свободной струе смеси вязких жидкостей // Проблемы механики, № 3. – Ташкент, 1993.

УДК 614.8:355.58/364

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ НАПОРНОГО ФРОНТА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Комзолова Д.С., Климович В.А., Кишкевич А.С.

Научные руководители ст. преподаватель Шаталов И.М., ст. преподаватель Щербакова М.К.

Причинами разрушения или обрушений грунтовых плотин являются: сейсмические воздействия на сооружения; подпорный уровень воды, превышающий расчетную величину; аварийное состояние сооружения; неэффективность работы дренажных систем и др.

Сценарии развития гидродинамической аварии различны. Возможно нарушение целостности подпорного сооружения (образование прорана) в теле

плотины, размеры которого существенно меньше общей длины напорного фронта и меньше или равны высоте сооружения или полное его разрушение. В результате данной чрезвычайной ситуации возникают волны перемещения, определение основных параметров которых (скорости, глубины потока) является весьма актуальной задачей.

В условиях высокогорья уклон дна как сухого русла, так и русла водотока достигает достаточно большого значения (10–20 м/км) в отличие от равнинных русел, для которых это значение не превышает 1 м/км. Высокогорный рельеф при разрушении подпорных сооружений способствуют возникновению бурного потока, движущегося с большой скоростью и сносящего все на своем пути. Опасность появляющейся при этом волны перемещения обусловлена и тем, что на своем пути она захватывает грунт, составлявший тело размытой плотины, и различные скальные породы сухого русла, что увеличивает ее ударную силу.

При развитии любого сценария аварии происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором расход воды при распространении потока по нижнему бьефу грунтовой плотины уменьшается в начальном створе и увеличивается в конечном створе. Для определения основных параметров такого потока были проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке.

Тестовым объектом исследования было выбрано Тахтакорпюнское водохранилище на территории Азербайджана, созданное одной из наиболее высоких земляных плотин не только в регионе, но и в Европе. Располагается данное сооружение на высоте около 140 метров над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 километра (рисунок 1).



Рисунок 1 – Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

Провести натурные эксперименты на подобных объектах не представляется возможным. Поэтому лабораторные исследования являются самым оптимальным методом определения необходимых параметров водных потоков при гидродинамической аварии. Был проведен количественный эксперимент, который позволил зафиксировать волну перемещения и определить геометрические и кинематические ее параметры. Гидравлические сопротивления, шероховатость дна, аэрация потока и волнообразование не учитывались в связи с большой инерционностью горного потока.

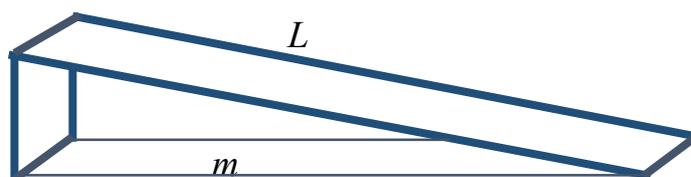
Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения. Были выбраны критерии геометрического и динамического подобия, равенство которых для природы и модели обеспечивает возможность пересчета полученных экспериментальных значений исследуемых параметров потоков для натуральных условий.

Динамическое подобие выражается через число Фруда, Fr :

$$Fr_{\text{мод}} = Fr_{\text{нат}} = \frac{v^2}{gh}. \quad (1)$$

Геометрическое подобие определено геометрическими размерами согласно модели (рисунок 2):

$$\frac{m_{\text{мод}}}{L_{\text{мод}}} = \frac{m_{\text{нат}}}{L_{\text{нат}}} \quad (2)$$



m – высота расположения плотины над горизонтальной плоскостью, м;
 L – длина нижнего бьефа (склона), м.

Рисунок 2 – Модель нижнего бьефа (склона)

Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямоточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рисунок 3–5). Поток снимали неподвижной камерой.



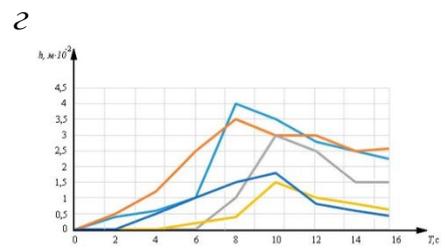
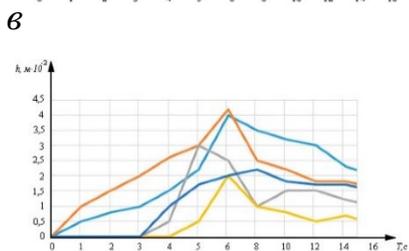
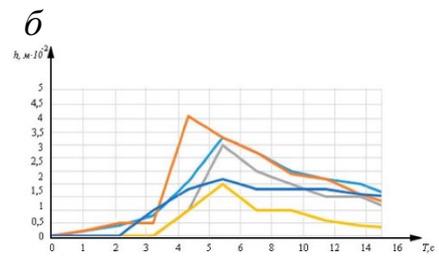
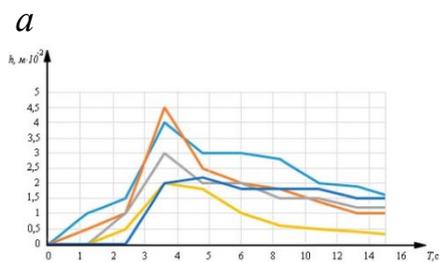
Рисунок 3 – Общий вид экспериментального лабораторного стенда с моделью нижнего бьефа (сухого русла)

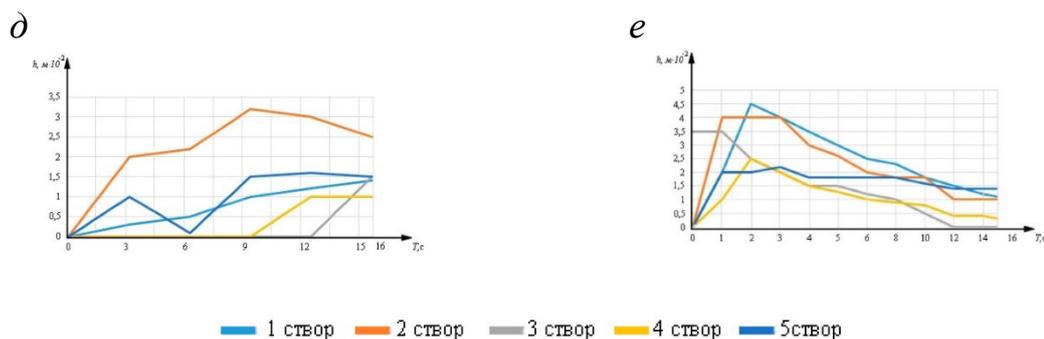


Рисунок 4 – Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора



Рисунок 5 – Общий вид обратной волны





a – 2 секунды; *b* – 4 секунды; *в* – 5 секунд; *г* – 10 секунд; *д* – 15 секунд; *е* – мгновенно

Рисунок 6 – График изменения глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

Всего было определено шесть серий экспериментов с пятикратным повторением каждой серии. Далее была проведена обработка результатов измерений и наблюдений для того, чтобы в дальнейшем провести сопоставление с результатами теоретических расчетов и уточнить количественные значения полученных параметров. По результатам были построены графики зависимостей $h = f(T)$, что соответствовало изменению глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени движения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора (рисунок 6).

Видеонаблюдение и анализ построенных графиков показывает, что в начальный момент времени перемещения потока воды на участке, расположенном на некотором расстоянии от подвижного затвора, происходит довольно резкое увеличение глубины (и соответственно массы или расхода) вытекающего потока воды (рисунок 6а–6д). Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины h и увеличением средней скорости v потока (рисунок 5). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения, о которой упоминалось в ранее опубликованных статьях. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора 1 (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока (рисунки 6е, 4).

При движении по наклонной поверхности (горному склону) поток всегда находится в бурном состоянии, а волна перемещения обладает максимальной скоростью и огромной разрушительной способностью. Далее, достигнув горизонтальной плоскости в гидродинамическом лотке, поток переходит в спокойное состояние при этом появляется обратная

положительная волна (рисунок 5), у которой глубина увеличивается, что в природных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.

Разработанная методика лабораторных исследований, проведенный эксперимент и полученные результаты позволяют оценить гидравлические показатели (скорости и глубины) движущегося потока от времени развития прорана. Полученные экспериментальные данные будут использованы для сопоставления с результатами теоретических расчетов для оценки возможностей и достоверности выбранного метода численного моделирования.

УДК 628.112

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ С ЦЕЛЬЮ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Максимчук М.А., Устюжанина В.С.

Научный руководитель ст. преподаватель А.Н. Кондратович,

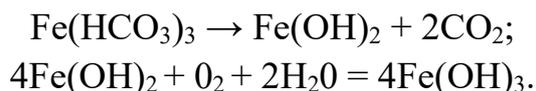
для водоснабжения объектов хозяйствования и населения в РБ активно используется вода из подземных источников, для этих целей пробурено около 40тыс скважин, в коммунальном хозяйстве используется 2750 скважин и со средним дебитом от 40 до 50 м³/ч. С начала эксплуатации любой скважины начинается процесс кольматации фильтра скважины и призабойной зоны, т.е. уменьшения их пропускной способности.

Наиболее часто на практике приходится сталкиваться с различными видами химического кольматажа в прифильтровых зонах скважин, который может интенсифицироваться биологической деятельностью бактерий. Основной причиной этого являются железо-, сульфат- и марганцевые бактерии, которые в нескольких видах присутствуют во всех водоносных породах и подземных водах и в результате жизнедеятельности осаждают железо, марганец и выделяют сероводород из подземных вод.

Опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их производительность и дренирующая способность существенно снижаются во времени вследствие зарастания фильтров и прифильтровых зон скважин(ПЗС) различными химическими соединениями. Эти соединения образуются в результате нарушения химического равновесия в пласте, связанного с действием в нем гидродинамического возмущения. В результате нарушения химического равновесия в прифильтровой зоне за счет понижения давления, происходит десорбция свободной углекислоты из подземных вод. При этом

интенсифицируется гидролиз бикарбоната железа, в результате чего Fe^{2+} окисляется до Fe^{3+} с образованием гидроксида трехвалентного железа $Fe(OH)_3$, основного коагулирующего соединения.

В Беларуси наиболее распространенными коагулирующими отложениями являются железистые осадки, которые выделяются при заборе подземных вод, содержащих закисное железо. Переход железа из закисного в окисное и выпадение в осадок происходит при наличии в воде растворенного кислорода. Этому также способствует выделение CO_2 и повышение рН воды вследствие нарушения углекислотного равновесия:



Гидрат оксида железа, имеющий студнеобразный вид, откладывается на поверхности фильтров и в поровом пространстве прифильтровых зон пласта. Интенсивность выпадения железистых осадков возрастает при неравномерной откачке воды из скважины, использовании эрлифта или инжектора, способствующих насыщению воды кислородом воздуха. Особенно активно происходит зарастание фильтров такими осадками при обнажении водопримных отверстий и непосредственном контакте их с атмосферой. Железосодержащие осадки отличаются характерным желто-коричневым цветом, пачкают руки. Наличие их в подземных водах можно выявить визуально по осадкам на водоподъемных трубах и насосах.

К настоящему времени разработаны и в разной степени применяются на практике различные методы очистки призабойной зоны скважин от коагулирующих отложений и восстановления их производительности скважин. Наиболее эффективными по степени очистки и длительности сохранения эффекта являются реагентные и комбинированные методы воздействия.

Но вследствие сложности их проведения и строгих требований к технике безопасности при выполнении технологических регламентов, эти методы применяются в весьма ограниченных масштабах. Более простыми в применении являются импульсные методы воздействия на фильтр и прифильтровую зону, к которым относятся электрогидроударный, пневмовзрыв и газоимпульсное воздействие на основе взрыва водорода, или других газов.

Использование импульсных методов регенерации обеспечивает достаточно полное механическое разрушение коагулирующих осадков и их частичный вынос. Однако неудаленные частицы разрушенных образований являются катализатором процесса коагуляции (в частности за счет

способности гидроокислов железа адсорбировать различные элементы). Поэтому процесс «старения» водозаборных скважин, обработанных гидроимпульсными способами, протекает значительно интенсивнее, чем у новых водозаборных сооружений или восстановленных реагентными методами.

С целью повышения степени очистки призабойной зоны от разрушенных кольматирующих отложений авторами была разработана и успешно апробирована на нескольких скважинах технология комбинированного воздействия на ПЗС с использованием взрыва водородно-кислородной смеси с последующим виброволновым воздействием с одновременной прокачкой скважины насосом ЭЦВ. Такое последовательное воздействие на ПЗС приводит не только к повышению удельного дебита скважины, но и к значительному уменьшению (ниже допустимых норм – 0,3 мг/л) содержания железа в пробах воды. Такие эффекты наблюдаются на скважинах с содержанием железа в пробах воды с небольшим превышением допустимых пределов-0,4-0,5мг/л. Эффект сохраняется в течение 3–4 месяцев, с постепенным повышением содержания железа. Это объясняется тем, что призабойная зона таких скважин, относительно неглубоких, 45–50 м, пробуренных на четвертичные отложения, активно насыщается кислородом и служит аккумулятором для железистых отложений. При прохождении воды через такую зону происходит процесс обезжелезивания и выпадения окислившегося железа в ПЗС.

В таблицах приведены результаты анализов воды из артезианских скважин до и после проведения восстановительных работ на скважинах.

Таблица 1 – Характеристики проб воды до обработки скважины

Дата и время начала исследований: 28/04/2021 12:05
Дата и время окончания исследований: 30/04/2021 10:10

Номер пробы	Место отбора проб
2071	Скважина №2/2002
2072	Скважина №4/98

Ингредиенты	Единицы измерения	Допустимая норма	Результаты исследований	
			Проба 2071	Проба 2072
1	2	3	4	5
1. Запах при 20 ⁰ С	балл	не >2,0000	2	2
2. Запах при 60 ⁰ С	балл	не >2,0000	2	2
3. Цветность	градус	не >20,0000	6	7

4. Мутность	мг/дм ³	не >1,5000	1,81	1,78
8. Железо общее	мг/дм ³	не >0,3000	0,42	0,43

Условия проведения испытаний температура (в⁰С) 19,0-19,0, относительная влажность (в %) 51-51, атмосферное давление (кПа) 97,7-97,7.

Номер пробы	Место отбора проб
2536	Скважина №2/2002
2537	Скважина №4/98

Таблица 2 – Характеристики проб воды после обработки скважины

Ингредиенты	Единицы измерения	Допустимая норма	Результаты исследований	
			Проба 2536	Проба 2537
1	2	3	4	5
1. Запах при 20 ⁰ С	балл	не >2,0000	0	0
2. Запах при 60 ⁰ С	балл	не >2,0000	0	0
3. Цветность	градус	не >20,0000	2	2
4. Мутность	мг/дм ³	не >1,5000	0,72	0,79
5. Железо общее	мг/дм ³	не >0,3000	0,14	0,15

Результаты анализов проб воды, взятых из скважин до обработки и после, показывают, что содержание общего железа уменьшилось в 3 и 2.9 раза, а мутность в 2,5 и 2,3 раза, т.е., достигли показателей в 2 раза ниже допустимых норм.

Таким образом можно сделать выводы, что использование комбинированных способов воздействия на призабойную зону скважин, где сперва проводится обработка с использованием импульсных методов с целью максимального разрушения отвердевших отложений, с последующей виброволновой обработкой низкочастотными импульсами и одновременной откачкой эрлифтом, или насосом, позволяет очистить призабойную зону скважин на значительную глубину от накопившихся в ней еще не отвердевших отложений солей железа и других химических элементов.