

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 республиканской студенческой научно-технической
конференции**

**в рамках Международного молодежного форума «Креатив и
инновации 2023»**

25 мая 2023 года

**Минск
БНТУ
2023**

УДК 626, 627,627.8,629.12

ББК 3

СОСТАВИТЕЛИ:

Качанов И. В., Власов В. В.

В сборнике представлены материалы республиканской 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.

Ковалёнок Н.А.

Белорусский национальный технический университет

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА ПО РАЗВИТИЮ
ВОДОМЁТНОГО СУДНА С РЕГУЛИРУЕМОЙ РЕАКТИВНОЙ
НАСАДКОЙ**

Научные руководитель: д.т.н, профессор БНТУ Качанов И.В.;

Аннотация. В статье проведен краткий анализ регулируемой реактивной насадки, принципов её работы, а также способы анализа её эколого-экономической эффективности

Ключевые слова: регулируемая реактивная насадка, мелководье, инновационная разработка, водомётное судно.

Основа инновационной разработки - регулируемая реактивная насадка в составе водомётного движительного комплекса.

Движение судна с водомётным движителем осуществляется за счёт выбрасывания потока жидкости из водомётной трубы, что придаёт судну толкающее усилие. Для увеличения толкающего усилия в водомётных движителях применяют конические реактивные насадки, увеличивающие давление потока за счёт сужения диаметра выходного отверстия. Однако использование таких насадок на мелководных участках наоборот, снижает скорость судна из-за избыточного давления в насадке.

Решением данной проблемы является использование регулируемой реактивной насадки, способной автоматически «раскрываться» на мелководных участках для сброса излишнего давления и по прохождению мелководного участка возвращаться в исходное состояние для дальнейшей работы [1].

Данная разработка становится особенно актуальной для современного судоходства, так как глобальное потепление постепенно приводит к снижению уровня воды в реках и образованию большого количества мелководных участков [2].

Преимущества использования регулируемой реактивной насадки:

- Изменение тягово-динамических характеристик судна
- Уменьшение времени рейса судов на мелководных участках рек
- Увеличение скорости судов на мелководных участках рек
- Улучшение показателей проходимости судна
- Упрощение развития судоходного сообщения на

внутренних водных путях

- Уменьшение расхода топлива на километр пути по мелководью

Использование регулируемой реактивной насадки в судостроении подразумевает обеспечение экологической безопасности и рентабельности предприятий на основе баланса в системе «производство-окружающая среда». Элементом экологической деятельности в данном случае является эколого-экономический анализ судов с использованием регулируемой реактивной насадки.

Для расчета абсолютных и относительных показателей при эколого-экономическом анализе необходимы стоимостные затраты и доходы от экологически значимых мероприятий, в том числе данные по основным производственным фондам (ОПФ) природоохранного назначения и текущим затратам предприятия на охрану окружающей среды. Юридический отдел ведет документацию относительно штрафных выплат и погашений исков по природоохранным нарушениям.

Таким образом, первичная информация, полученная на основе данных первичного учета, статистической и бухгалтерской отчетности в области природопользования, позволит сформулировать показатели для характеристики деятельности предприятий, использующих регулируемые реактивные насадки в составе двигательных комплексов судов с эколого-экономических позиций. Желательно, чтобы анализ деятельности предприятия проводился в динамическом аспекте с привлечением математических моделей системного характера. Показатели, на основе которых проводится анализ, должны быть представлены в относительных (удельных) единицах по сравнению с массами выбросов или объемами природоохранных затрат по отдельным направлениям.

Варианты обработки данных по эколого-экономической оценке предприятий могут быть представлены на основе рейтинга. Рейтинг по экологическим платежам рассчитывается по формуле

$$R = \sqrt{K_э \left[\left(\frac{\Pi_{вод}}{\Pi_{вод.н.}} \right)^2 + \left(\frac{\Pi_{атм}}{\Pi_{атм.н.}} \right)^2 + \left(\frac{\Pi_{отх}}{\Pi_{отх.н.}} \right)^2 \right]}$$

где $K_э$ – коэффициент экологической значимости территорий (водного объекта);

$\Pi_{вод}$, $\Pi_{атм}$, $\Pi_{отх}$ – фактические суммы платежей за загрязнение водных объектов атмосферы и почв (размещение отходов);

Пвод.н, Патм.н, Потх.н – суммы платежей за загрязнение водных объектов, атмосферы и почв (размещение отходов) в пределах установленных нормативов.

Варианты обработки данных по эколого-экономической оценке предприятий могут быть представлены на основе рейтинга по экологическим платежам. Рейтинг по экологическим платежам R характеризует степень выполнения установленных нормативов воздействия загрязнителей на окружающую величину, когда через денежную оценку можно охарактеризовать экологичность производства. Предприятие с меньшим значением R является более экологичным.

Анализ экологичности предприятий водного транспорта можно провести путем построения математических моделей. Одним из распространенных методов является определение величины коэффициента корреляционных связей [3]

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \left(N \sum_{i=1}^N x_i \right) \left(N \sum_{i=1}^N y_i \right)}{\sqrt{\left[N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(N \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] * \left[N \sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(N \sum_{i=1}^N y_i \right)^2 \right]}}$$

где N – число реализации признаков;

x_i и y_i – реализации признаков.

Связь между признаками зависимости считается:

- сильной при $|r| > 0,7$;
- средней при $0,7 \geq |r| > 0,3$;
- слабой при $|r| < 0,3$.

Однако во многих случаях в экономических моделях предполагается, что связи между признаками для простоты расчетов принимаются линейными. Следует отметить, что полученное значение характеризует лишь степень линейной связи между признаками, в то время как эти связи могут выражаться через различные степенные либо логарифмические функции. Хотя не всегда между показателями существуют линейные связи, однако по силе линейных связей между парами признаков, по изменению знака корреляционных связей можно выявить определенные закономерности в характере производственного процесса, отражающиеся на успешности природоохранных мероприятий.

Подводя итог можно сказать, что регулируемая реактивная насадка имеет большой потенциал как бюджетное решение проблемы мелководных участков на внутренних водных путях, которое обладает потенциалом для снижения

негативных экологических эффектов водного транспорта за счёт повышения его эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зуев, В.А. Проектирование судов: учебное пособие / В.А.Зуев, И.В. Качанов. – Минск: РИВШ, 2021. – 292 с.
2. Гомельская правда [Электронный ресурс] : В нашу гавань не заходят корабли. Вернется ли на Припять судоходство? – Режим доступа: URL <https://gp.by/novosti/obshchestvo/news183177.html>. – Дата доступа: 12.03.2023.
3. Методические указания по выполнению раздела «Экономика» дипломного проекта (дипломной работы) / С.А. Хорева [и др.] / Минск: БНТУ, 2011. – 99 с.

УДК 369.2

Н.А. Махнач

Белорусский национальный технический университет,

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Научный руководитель – ст. преподаватель И.В. Недашковская

Стимулирование предприятий водного транспорта за энергосбережение важный вопрос, который необходимо рассмотреть для дальнейшего развития отрасли.

Необходимость обратить внимание на методы стимулирования предприятий водного транспорта за энергосбережение связано с принятием государственной программы Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 №103 «Энергосбережение» на 2021-2025 годы [1].

Развитие предприятий водного транспорта невозможно без использования природных ресурсов, таких как нефть, газ, поэтому проблемы энергосбережения тесно связаны с проблемами их эффективного использования на водном транспорте и внедрения альтернативных источников энергии.

В структуре эксплуатационных расходов водного транспорта до 50% приходится на затраты на топливо и смазочные материалы (рис. 1). В связи с этим для повышения эффективности работы предприятий водного транспорта, необходимо снижение этой составляющей, в том числе и путем внедрения альтернативных источников энергии.

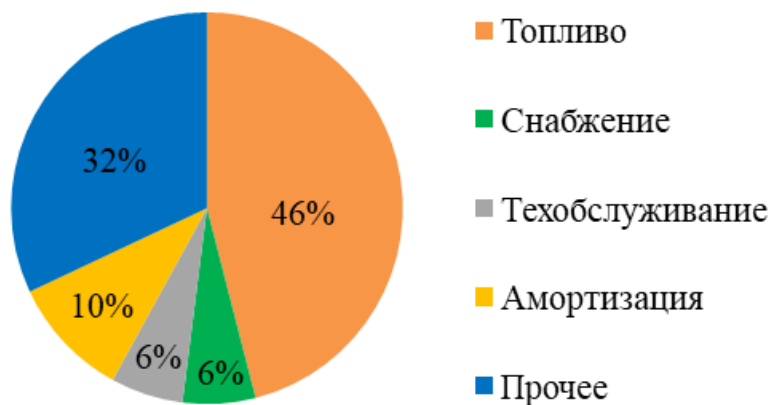


Рисунок 1 – Укрупненная структура эксплуатационных расходов предприятий водного транспорта

К альтернативным источникам энергии на водном транспорте в Республики Беларусь можно отнести:

- энергию ветра;
- компримированный природный газ (КПГ);
- сжиженный углеводородный газ (СУГ).

Времена парусов и парусников давно прошли. Если не брать в расчет маломерные суда. Для больших судов применение парусов в настоящее время редкость. Однако есть хороший пример применения паруса на судне германской фирмы Beluga Shipping, которая ввела в эксплуатацию многоцелевой сухогруз-контейнеровоз Beluga Projects водоизмещением 9775 т, длиной 132,2 м, шириной 15,87 м. Судно оборудовано своеобразным парусом площадью 160 м – гигантским воздушным змеем или спинакером, который управляется компьютером (рисунки 2-3). Доказано, что использование спинакера позволило сократить потребление топлива на 15-20%.



Рисунки 2-3 – Сухогруз-контейнеровоз Beluga Projects

Компримированный природный газ (КПГ):

- природное ископаемое, запасы которого во много раз превышают запасы нефти;

- природный газ легче воздуха и при утечке стремится вверх, быстро «растворяясь» в атмосфере, предел взрываемости – 5-15% от объема, температура воспламенения – $537-600\text{C}^\circ$ (бензина – 300C°), следовательно более безопасен чем другие виды моторных топлив;

- при использовании в качестве моторного топлива – отсутствует возможность хищения;

- 1 м^3 сжатого природного газа эквивалентен 1 литру бензина.

Сжиженный углеводородный газ:

- является продуктом переработки нефти либо сопутствующим газом при ее добыче;

- тяжелее воздуха, скапливается в приятках, предел взрываемости – 2,1-9,4% от объема, температура воспламенения бугана;

- воспламенения – $365-450\text{C}^\circ$ в зависимости от процентного содержания пропана;

- при использовании в качестве моторного топлива линейная норма расхода увеличивается на 5 - 15% [2].

Использование природного газа в качестве основного судового топлива позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно уменьшить выбросы оксидов азота, углерода и других вредных веществ, снизить расходы на топливо.

Применение силы ветра достаточно эффективный способ экономии ресурсов и защита окружающей среды.

Анализ показывает, что основным препятствием для применения природного газа на водном транспорте является отсутствие развитой инфраструктуры, обеспечивающей бункеровку судов и его хранение.

Доказано, что использование на водном транспорте вместо дизельного топлива природного газа позволит снизить расходы на энергоресурсы в 2 раза. Такое существенное снижение расходов повышает эффективность и конкурентоспособность предприятий транспорта, но за энергосбережение необходимо экономическое их стимулирование со стороны государства путем снижения налогов. Применение газообразного топлива на водном транспорте снизило бы загрязнение окружающей среды.

Учитывая, что энергоресурсы в себестоимости продукции водного транспорта занимают значительную долю и существенно влияют на

ценообразование продукции транспорта, промышленности и сельского хозяйства, государство может побуждать предприятия к энергосбережению путем нормирования расхода энергоресурсов, а за сверхнормативное расходование нефтепродуктов непосредственными потребителями.

Рассмотренный подход побуждения предприятий к энергосбережению относится к административно-принудительному, а не экономическому. В современных условиях существует возможность присвоения всего сэкономленного топлива или смазки, и в этом случае государство не получает вообще ничего от экономии энергоресурсов на предприятии и подталкивает коллектив к присвоению сэкономленного топлива, к его «разбазариванию». Поэтому требуется несколько иной подход к экономическому побуждению предприятий к энергосбережению: необходимо законодательно заинтересовать в этом непосредственно предприятия, трудовые коллективы.

Меры необходимые для экономии работниками плавсостава топлива:

- увеличить премирование экипажей до 50% от сэкономленного топлива, а также ввести выплату 20% от стоимости сэкономленного масла;
- усилить контроль за расходом и наличием топлива на судах и предприятиях водного транспорта.

Другим важным направлением в сбережении энергоресурсов является побуждение предприятий к внедрению новой, менее энергозатратной техники и оборудования экономическими методами. Очевидно, что обновление технических средств водного транспорта, их модернизация должны быть экономически выгодными предприятию не только из-за влияния экономии энергоресурсов на снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности, но и увеличения чистой прибыли предприятия на величину снижения расхода топлива против установленных норм для аналогичных эксплуатирующихся судов или оборудования с целью быстрее их окупаемости.

При существующем положении по налогообложению внедрение более экономической техники государством экономически не поощряется, так как списание судового топлива производится по установленным новым нормативам для соответствующих новых технических средств.

Отнесение же всей экономии энергоресурсов по новой технике по сравнению с эксплуатирующейся в чистую прибыль способствовало бы быстрее её окупаемости.

Внедрение альтернативных источников энергии позволит сохранить в норме окружающую среду и снизить потребление энергоресурсов.

Стимулирование предприятий водного транспорта к применению более экономичной техники и оборудования, более современных энергосберегающих

технологий позволило бы более рационально использовать национальные запасы энергоресурсов, продвигать продукцию белорусских предприятий на западный рынок.

Снижение энергозатрат на водном транспорте и экономия финансовых ресурсов способствуют не только улучшению экономического положения предприятий водного транспорта, жизненного уровня работников, но и улучшению экологической обстановки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>. – Дата доступа: 26.04.2023.
2. Берёзовский районный исполнительный комитет. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://bereza.brest-region.gov.by/ru/2011-03-01-08-59-21-2000001127--ru/>. – Дата доступа: 27.04.2023.
3. Каныгин, П. Альтернативная энергетика в ЕС: возможности и пределы. // Экономист. - 2010. - №1. - С. 49-57.
4. Минеев, В.И. Формирование стратегии энергосбережения на внутреннем водном транспорте: Монография / В.И. Минеев // Н.Новгород: изд. ФГОУ ВПО «ВГАВТ», - 2009. - 149 с.
5. Минеев, В.И. Критерии оценки и пути снижения энергозатрат на транспорте. / В.И. Минеев // Вестник ВГАВТ- Вып. 17, Н. Новгород: ВГАВТ. - 2007. - С. 51-56.
6. Минеев В.И. Расчет эффективности использования альтернативных видов топлива на судах. Метод, ук. для вып. курс, работы. // ВГАВТ. -2011.-46с.

УДК 369.2

А.Н. Сныткин

Белорусский национальный технический университет,

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Научный руководитель – ст. преподаватель И.В. Недашковская

Крупнейшими потребителями энергоресурсов является водный транспорт. Морские и речные перевозки необходимы для транспортировки объемных и тяжелых грузов на большие расстояния. Кроме того, водный транспорт используется для перевозки большого количества пассажиров. Ввиду высокой мощности судовых силовых установок они потребляют относительно много топлива. Только мировой торговый флот потребляет ежегодно свыше

140 млн. тонн жидкого топлива, или 3-4% мировой добычи нефти, объем которой составляет 4 млрд. тонн в год.

Актуальность проблемы энергосбережения связана с увеличением энергопотребления на транспорте в нашей стране и в мире из-за следующих факторов:

1. Растет энерговооруженность и скорость транспортных средств.
2. Увеличивается объем перевозок грузов и пассажиров.
3. Непрерывно увеличиваются цены на энергоносители во всем мире из-за роста спроса на них.

Высокие энергозатраты на водном транспорте страны обусловлены следующими факторами:

- использование при перевозках морально и физически изношенного транспортного флота;
- отставанием отечественных транспортных энергетических установок от мирового уровня;
- несоответствием основных параметров транспортных средств и технологий перевозок современным требованиям;
- отсутствием стимулов за энергосбережение.

Из-за роста дефицита нефти в мире и, следовательно, стоимости энергоресурсов остро встает проблема снижения энергозатрат за счет создания более экономичных двигателей, энергосбережения и использования нетрадиционных видов энергии, совершенствования технических средств транспорта и технологии перевозок.

Внедрение энергосберегающих технологий на прямую отражается на себестоимости перевозки 1 кг груза или 1 пассажира, что влияет на рентабельность работы транспортных компаний. Поэтому для уменьшения затрат энергоресурсов на водном транспорте применяют различные меры:

1. Разработка и установка на суда двигателей внутреннего сгорания с большим КПД, перевод силовых агрегатов на газообразные виды топлива.
2. Разработка судов с оптимальным соотношением размеров и грузоподъемности с целью экономии топлива на перевозке контейнеров или других грузов на большие расстояния.
3. Производство судов с конфигурацией корпуса, которая уменьшает сопротивление воды и позволяет набрать большую скорость с использованием менее мощных судовых двигателей.
4. Разработка и реализация эффективного плана морских и речных перевозок, который исключает простой судов во время погрузочно-разгрузочных операций, при заходе в порт и выходе из него, во время швартовки и других подобных операций.

5. Использование более эффективных инструментов прогнозирования погоды с целью недопущения выхода в море судов при неблагоприятных условиях, что увеличивает затраты топлива.

6. Установка на судне бортового оборудования с меньшим энергопотреблением, что дает возможность уменьшить выработку электроэнергии судовыми генераторами.

7. Разработка более эффективных маршрутов движения с использованием современных средств спутниковой навигации и отслеживания позиции судна.

8. Оснащение корпусов судов необрастающими покрытиями.

9. Внедрение на речных судах двигателей с трубнонаддувом.

10. Использование новых систем топливоподготовки.

11. Оптимизация работы судового оборудования за счет АСУ.

На некоторых из вышеперечисленных мер хочется остановиться по подробнее.

Следует отметить, что планирование расхода топлива является важным направлением экономии энергоресурсов на речном транспорте и отличается сложностью учета многообразия факторов, влияющих на величину расходования топлива транспортными судами. Существуют разные способы планирования (нормирования) судоходными компаниями потребности в топливе. Однако все они не отличаются точностью расчетов и учетом реальных условий перевозок.

При современной организации перевозок простои судов достигли 50% всего эксплуатационного времени из-за различных факторов: в ожидании грузов, грузовой обработки, шлюзования и т.д.

Регулирование скорости движения судов с целью прибытия их к моменту обработки в пункт назначения «точно в срок» является одним из наиболее реальных путей эффективности перевозок грузов на водном транспорте, улучшения управления транспортным процессом в оптимальном режиме. Для этого требуется радикально изменить действующую систему оценки и стимулирования труда персонала в судоходных компаниях. Реализация этих направлений в современных условиях возможно лишь при общей заинтересованности работы не только экипажей отдельных судов, а главное - персонала управления предприятий водного транспорта.

В реальных условиях эксплуатации судов существует множество дестабилизирующих факторов, поэтому по каждому судну необходимо своевременное оперативное вмешательство диспетчерского аппарата управления. Так, снижение скорости движения судов без изменения времени постановок их под грузовые операции в конечных или промежуточных пунктах

за счет точного прибытия к моменту начала шлюзования или грузовых операций позволит значительно сократить расходы по судну на топливо и смазочные материалы, доля которых в расходах по судам значительна.

Одним из основных направлений снижения удельных энергозатрат является строительство водных транспортных средств большой грузоподъемности, если нет ограничений по условиям плавания или партионности перевозок. С увеличением грузоподъемности происходит так же значительное снижение строительной стоимости судов. Для нашей страны рост габаритов и, следовательно, грузоподъемности транспортных судов на внутренних водных путях ограничивается в плане габаритами шлюзов.

Необходимо отметить, что использование на перевозках крупнотоннажных судов и составов способствует увеличению пропускной способности шлюзованных систем и снижению загрязнения окружающей среды.

Одним из путей решения проблемы дефицита топливно-энергетических ресурсов и постоянного повышения их стоимости состоит в повышении экономичности судовых энергетических установок, которые производят все виды энергии, необходимые для нормальной работы судна.

Повышение эффективности топливосжигания на судах достигается повышением коэффициента полезного действия (КПД) отдельных элементов (тепловых двигателей, вспомогательного оборудования, электрогенераторов, электродвигателей, систем и т.п.), путем улучшения их конструкции и применения более совершенных тепловых схем, рационального выбора режимов эксплуатации.

Большинство судовых и береговых установок в качестве привода имеют электродвигатель. Поэтому рассматривать вопрос экономии электроэнергии необходимо в комплексе с установкой.

В настоящее время практически все вспомогательные механизмы электрифицированы. Кроме экономии в расходе топлива, электропривод вспомогательных механизмов обеспечивает большую готовность к действию и возможность дистанционного управления и автоматического пуска механизмов в зависимости от режима работы установки.

Так же для уменьшения затрат энергоресурсов на водном транспорте оснащают суда необрастающими покрытиями.

Проблема обрастания появилась вместе с изобретением самих судов. Раньше для очистки корпуса от обитателей морей и океанов использовали ручной инструмент. С его помощью происходило механическое удаление моллюсков, мидий и водорослей - собственно всего, что негативно влияло на

скорость судна. Времена менялись, и на смену механическим способам борьбы постепенно стали приходить химические средства.

Обрастание негативно влияет на ход судна, поскольку налипшие мидии, водоросли и другие организмы существенно меняют шероховатость поверхности, делая ее более грубой и неровной, что в свою очередь повышает сопротивление. Так, например, небольшой катер, длиной около 5 м, за 3 месяца эксплуатации в пресной воде теряет до 14% от первоначальной скорости. Более крупные суда, такие как танкеры, буксиры или сухогрузы могут снизить ход на 2-3 узла. На первый взгляд это не так много, но следует учитывать и расстояния, которые преодолевают данные суда. Резюмируя сказанное, можно отметить особую важность защиты корпусов быстроходных судов от обрастания.

Может показаться, что моллюски, микроорганизмы и водоросли являются безобидным дополнением к корпусу судна. Однако это не так. Существенно повышая сопротивление движению, они вынуждают экипаж увеличивать обороты главных двигателей, что в свою очередь повышает расход топлива, а также негативно влияет на экологию. Точные цифры назвать достаточно затруднительно. Для тихоходных судов расход может повышаться на 20-40%, для скоростных судов эти показатели могут достигать и 100%. Кроме того, ракообразные облепляя подводную часть судна, существенно увеличивают его вес. Масса нароста может сильно различаться (от 0,3 до 100 кг/м²) и зависит от множества факторов, а толщина «живого» слоя доходить до 7 см!

При планировании работы водного транспорта важное место отводится мероприятиям, направленным на снижение как удельных, так и общих расходов топлива. Эффективность таких мероприятий может выражаться экономией натурального топлива (дизельного, мазутов), увеличением объемов продукции при неизменном количестве расходуемого топлива, уменьшением топливной составляющей в эксплуатационных расходах, что снижает себестоимость продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минеев, В.И. Формирование стратегии энергосбережения на внутреннем водном транспорте: Монография / В.И. Минеев // Н.Новгород: изд. ФГОУ ВПО «ВГАВТ», - 2009. - 149 с.

2. Минеев, В.И. Критерии оценки и пути снижения энергозатрат на транспорте. / В.И. Минеев // Вестник ВГАВТ- Вып. 17, Н. Новгород: ВГАВТ. - 2007. - С. 51-56.

3. Качанов, И.В. Экономика водного транспорта: учебное пособие / И.В. Качанов, А.Д. Молокович, С.А. Шавилков; под ред. А.Д. Молоковича. – Минск: БНТУ, 2008. – 244 с.

А.А. Стафинцов

Белорусский национальный технический университет

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

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

Жидкие, твердые и газообразные радиоактивные отходы образуются в процессе эксплуатации ядерного энергоблока АЭС. Радиоактивные отходы (РАО) выступают также как побочный продукт эксплуатации природных ресурсов, включая добычу и переработку руд, сжигание ископаемого топлива или добыча природного газа и нефть [1]. Для обеспечения защиты здоровья человека и окружающей среды применяется общепринятая практика обращения с РАО. Значительные объемы как отработавшего ядерного топлива так и радиоактивных отходов получают при выводе ядерного энергоблока из эксплуатации. В период штатной работы энергоблока должна реализовываться концепция МАГАТЭ о гарантированной безопасности населения, персонала и окружающей среды. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются за счет протечек теплоносителя, при работе установок поддержания водно-химического режима контуров и спецводоочистки, а также при дезактивации оборудования, помещений и спецодежды, в саншлюзах и в радиохимических лабораториях.

Образование РАО варьируется по странам и территориям. Отходы могут влиять на здоровье человека и состояние окружающей среды, во всем мире уделяется большое внимание их безопасному обращению. Отходы по степени активности классифицируются на низко-, средне- и высокоактивные. По изотопному составу и периоду полураспада их подразделяют на короткоживущие, долгоживущие изотопы и трансурановые элементы.

Обработка является важным этапом в обращении с радиоактивными элементами. Для обращения с ЖРО предусмотрена система спецводоочистки. После фазы обработки ЖРО в данной системе отходы разделяют на две части, первая представляет собой концентрат небольшого объема, содержащий большую часть радионуклидов, а вторая (дистиллят) - большого объема, которая имеет низкую радиоактивность и позволяет использовать ее в производственных нуждах. В процессе переработки ЖРО образуются радиоактивные газы, которые требуют дезактивации. Работа установок по

переработке радиоактивных отходов приводит к накоплению вторичных ЖРО: сорбентов, пульп, регенерационных и промывочных растворов, которые также требуют переработки.

При эксплуатации АЭС с ВВЭР наблюдаются потери борной кислоты. Содержание солей борной кислоты в ЖРО АЭС с реакторами ВВЭР составляет до 50 % общего солесодержания.

Жидкие радиоактивные отходы хранятся на промплощадке АЭС, в хранилище жидких радиоактивных отходов и представляют собой высокоминерализованные растворы с солесодержанием 200-300 г/л, а также отработанные ионообменные материалы и сорбенты. Их жидкая фаза имеет щелочную реакцию и высокую окисляемость. Химический состав жидких отходов представлен, в основном, различными солями натрия.

Жидкие радиоактивные отходы ядерного энергоблока проходят предварительную очистку и обработку, затем перерабатываются на установках глубокого выпаривания, после чего отверждаются (иммобилизуются) — включаются в состав связывающих компонентов: битума, цементного раствора, стекла или керамики.

Жидкие радиоактивные отходы с высоким содержанием долгоживущих радионуклидов можно обрабатывать с использованием ионного обмена, сорбции, химического осаждения и испарения, обратного осмоса, фильтрации и экстракции растворителем.

К новейшим способам очистки ЖРО относится сорбционно-мембранная технология кондиционирования жидких радиоактивных отходов [2]. Сорбционно-мембранная технология кондиционирования жидких радиоактивных отходов с отверждением в водоустойчивый минералоподобный компаунд охватывает полный цикл обращения с ЖРО от переработки до окончательной изоляции от биосферы, является экологически безопасной.

Еще одним способом очистки является сорбционное извлечение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr тонкодисперсными минеральными сорбентами в статических.

Разработана новая технология селективного отделения долгоживущих радионуклидов и частичного рециркуляции борной кислоты из кубового остатка испарителя. Разработанная система очистки ЖРО показала хорошее селективное отделение ^{137}Cs от высококонцентрированных солей и сильно щелочного кубового остатка испарителя.

Постоянное внимание уделяется исследованиям по удалению радионуклидов кобальта (^{60}Co), цезия (^{137}Cs) и стронция (^{90}Sr).

Новые технологии, такие как непрерывная электроионизация для растворимых щелочных радионуклидов нуждается в обосновании экономической целесообразности.

МАГАТЭ активно занимается оказанием помощи государствам-членам в деле безопасного обращения с радиоактивными отходами в целях защиты населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет-ресурс: <https://infourok.ru/obrabotka-zhidkih-radioaktivnyh-othodov-obzor-5593107.html> дата обращения: 01.05.2023;
2. Интернет-ресурс: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/radioactive-waste-fuel/104-membrane-processing-liquid-radioactive-waste> , дата обращения 10.05.2023.
3. Синтез гибридных полимер-неорганических наносистем и их флокулирующие свойства | 2012 / Проскурина В. Е., Тухватуллина Р. З., Фаизова Р. Р., Громова Е. Ю., Галяметдинов Ю. Г.
4. Влияние рН на флокуляцию водно-солевых суспензий TiO₂ гибридными полимер-неорганическими наносистемами 2013 / Проскурина В. Е., Тухватуллина Р. З., Громова Е. Ю., Фаизова Р. Р., Шаброва Е. С., Галяметдинов Ю. Г.

УДК 621.1.016:536.2

Р.М. Колпаков, И.Д. Лохан, А.А. Сахарчук

Белорусский национальный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СКОРОСТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Научные руководители профессор, д.т.н. И.В. Качанов, ассистент
С.А. Ленкевич*

Деформирование, применяемых в медицине, коррозионностойких сталей, титана и его сплавов в холодном состоянии зачастую связано с большими трудностями, главное из которых – необходимость применения мощного оборудования из-за большого сопротивления сплавов деформированию. Эти трудности в значительной степени устраняются при применении импульсной обработки давлением.

Особенно значительные преимущества для титановых сплавов имеет применение скоростного горячего объемного деформирования на высокоскоростных установках или молотах.

При скоростном горячем деформировании проще использование различных видов улучшающих термомеханических обработок, закалка штамповок сразу после деформации [1].

Заполняемость полостей штамповой оснастки определяется комплексным действием ряда факторов, важнейшими из которых являются тепловой режим деформирования, контактное трение и силы инерции.

При скоростном деформировании ($v = 15$ м/с и более) начинает сказываться влияние теплового эффекта [2].

Процесс в этом случае считается адиабатическим и протекает с интенсивным выделением тепла в зонах наибольших деформаций. Следовательно, неравномерное распределение деформаций при высокоскоростном деформировании сопровождается неравномерным распределением температуры по объему.

Приращение температуры в результате пластической деформации в среднем по объему определяется соотношением [3]

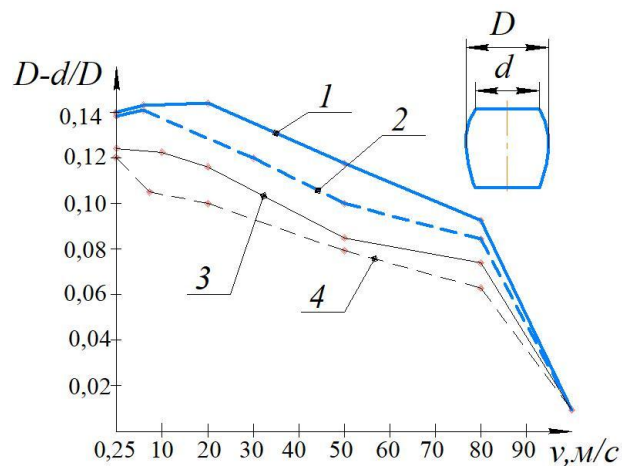
$$\Delta t = \frac{\psi A_k}{427c\gamma V}, \quad (1)$$

где ψ – КПД удара, A_k – работа деформации, кДж; c – удельная теплоемкость, кал/(г °С); γ – удельный вес, кг/м³; V – объем заготовки, подвергаемый формоизменению, м³.

Ряд исследований [3] показал, что при скоростях деформирования $v = 5$ – 10 м/с тепловые потери и температурный эффект балансируются, а деформирование при более высоких скоростях приводит к увеличению теплосодержания поковки.

Таким образом, формообразование тонких элементов поковки, (которые зачастую присущи заготовкам медицинских имплантатов) на скоростном ударном оборудовании протекает в тепловых условиях, способствующих поддержанию в деформируемом материале высокой пластичности.

В последнее время проведены работы, позволяющие прямо или косвенно судить о коэффициенте трения при высокоскоростном деформировании. На рисунке 1 приведены зависимости коэффициентов бочкообразности, рассчитанных относительно верхнего торца осаженных образцов, от скорости деформирования [4]. Коэффициент бочкообразности $(D-d)/D$ находится в прямой зависимости от силы трения, поэтому кривые на рис. 1 косвенно отражают изменение коэффициента трения, уменьшающегося с ростом скорости деформирования.



Кривые 1 – 900°C, 2 – 1000°C, 3 – 1100°C, 4 – 1180°C при относительной степени деформации $\varepsilon = 65\%$

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента бочкообразности, относительно верхнего торца образца при осадке заготовок из стали Р 18 от скорости деформирования [3, 4]

Из анализа кривых на рисунке 1 видно, что с увеличением скорости деформирования силы трения меньше, чем при прессовании с обычными скоростями, причем начиная от скоростей $v = 80 \text{ м/с}$ и выше контактное трение пренебрежимо мало.

Кроме того, наличие смазки при скоростной штамповке обеспечивает жидко-граничное трение, когда между трущимися поверхностями находится жидкая пленка полностью не выдавливающаяся и не теряющая свойств жидкости в процессе деформирования.

Для аналитического описания распределения сил трения, исследования, проведенные А. П. Грудевым [5] показывают, что введение допущения о постоянстве сил трения не вносит большой погрешности.

При штамповке со скоростями деформирования от 20 м/с и более инерция металла вызывает дополнительные напряжения, значения которых могут быть соразмерны удельными усилиями со стороны инструмента. При этом ускорения и замедления частиц, вызванные изменением скорости от нуля до максимума и снова до нуля, становятся очень большими.

Процесс скоростного выдавливания протекает в две стадии: запрессовка и выдавливание. Первая стадия как по времени, так и по энергозатратам менее значительна, чем вторая. Рассмотрим стационарную стадию.

Баланс сил может быть представлен уравнением

$$P = P_1 - P' + P'' - P''' , \quad (2)$$

где P – усилие со стороны инструмента; P_1 – «статическая» составляющая усилия; P' , P'' , P''' – инерционные усилия, развиваемые массами заготовки: движущейся в контейнере, составляющей очаг деформации (и

ускоряемой в нем прямо пропорционально коэффициенту вытяжки), и пропрессованной (изделие); это – динамические составляющие усилия.

Почленно разделив (2) на площадь контейнера F_0 и оценив полученные слагаемые, можно показать, что «статическая» составляющая сопротивления деформированию $p_1 = P_1 / F_0$ значительно превышает составляющие от сил P' и P'' , поэтому последними можно пренебречь.

Заслуживает внимания составляющая силы инерции металла, который с ускорением движется в очаге деформации.

Учитывая только осевые компоненты и предполагая, что очаг деформации равен объему заходного конуса матрицы и линии тока металла направлены к точке пересечения образующих, матричной воронки, составляющая сил инерции будет

$$\frac{P''}{F_0} = \frac{\rho v^2}{2} \lambda^2, \quad (3)$$

где ρ – плотность металла, скорость деформирования, м/с; λ – коэффициент вытяжки (при выдавливании).

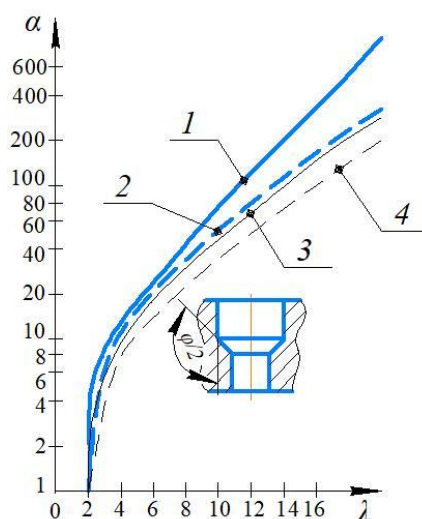
Значительно более точную модель очага деформации дает метод линий скольжения.

На основе кинематически возможных полей скоростей, состоящих из жестких блоков, получено уточненное выражение для инерционного слагаемого удельного усилия [6]

$$\frac{P''}{F_0} = (1 + \lambda) \rho v^2 \bar{p}_2 = \alpha \rho v^2, \quad (4)$$

где \bar{p}_2 – безразмерный коэффициент, зависящий от вытяжки и угла входа матрицы.

Кривые для определения параметра α , зависящего от коэффициента вытяжки и угла входа матрицы, построены по литературным данным [3] (рисунок 2).



Кривые 1 – $\varphi = 180^\circ$, 2 – $\varphi = 120^\circ$, 3 – $\varphi = 90^\circ$, 4 – $\varphi = 60^\circ$

Рисунок 2 – Зависимость множителя α , определяющего динамическую составляющую удельного усилия при осесимметричном выдавливании, от коэффициента вытяжки [3]

Выражение (4) получено для прессования с постоянной скоростью. В этом случае ускорение любой точки в очаге деформации определяется только конвективной компонентой, локальная равна нулю. Для процессов ударного выдавливания, протекающих с переменными (уменьшающимися скоростями), оба упомянутых ускорения не равны нулю. Задача для таких процессов пока не решена. Однако очевидно, что в случае уменьшающейся скорости конвективное и локальное ускорения противоположны по знаку. Поэтому полное дополнительное напряжение будет меньше величины, получаемой по (4), а, следовательно, последнее можно рассматривать как верхнюю оценку сил инерции металла, ускоряемого в очаге деформации.

Таким образом, удельное усилие, действующее при ударном выдавливании с уменьшающейся скоростью, является суммой двух слагаемых: «статической» составляющей и составляющей сил инерции на преодоление «реакции» очага деформации:

$$p = p_1 + \alpha \rho v^2. \quad (5)$$

Коэффициент вытяжки при ударном скоростном выдавливании оказывает значительное влияние на силы инерции. При низкой начальной скорости и большом коэффициенте вытяжки могут возникнуть гораздо большие силы инерции, чем при высокой начальной скорости и малом коэффициенте вытяжки. Поэтому начальная скорость истечения металла из очага матрицы при анализе действия сил инерции является более показательной величиной, чем начальная скорость выдавливания [7, 8].

Характер разрушения стержневой заготовки под действием инерционных сил позволяет оценить пластичность деформируемого металла в условиях одноосного скоростного растяжения. Оценка пластичности соотносится величиной относительного поперечного сужения, рассчитываемого для круглых стержней, как и при испытании образцов на разрыв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мажарова, Г.Е. Обработка титановых сплавов давлением. / Г.Е. Мажарова, А.З. Комановский, Б.Б. Чечулин, С.Ф. Важенин. – «Металлургия», 1977, 96 с.
2. Шарий, В.Н. Получение стержневых изделий скоростным горячим выдавливанием с плакированием торцевой части: дисс. канд. техн. наук: 05.16.05 / В.Н. Шарий. – Минск, 2009. – 163с.
3. Согришин, Ю.П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю.П. Согришин, Л.Г. Гришин, В.М. Воробьев. – М.: Машиностроение, 1978. – 164с.
4. Мещанчук, П.А. К вопросу определения истинной степени деформации и характера контактного трения при осадке стали Р18 в условиях высоких скоростей нагружения. / П.А. Мещанчук, Ю.П. Согришин // Высокоскоростная объемная штамповка. М.: Машиностроение, 1969, с. 85–92.
5. Грудев, А.П. Теория прессования металлов [Текст] / А.П. Грудев. – М.: Metallurgy, 1975.-356с.
6. Непершин, Р.И. Расчет усилия при высокоскоростном прессовании / Р.И. Непершин, В.И. Даценко, В.А. Матъяж // Кузнечно-штамповочное производство, 1972, № 2, с. 1–4.
7. Томленов, А.Д. Определение усилий процессов плоского и осесимметричного высокоскоростного прессования [Текст] / А.Д. Томленов - М.: Наука, 1970.-340 с.
8. Костышев, В.А. Высокоскоростная штамповка [Электронный ресурс]: электрон, учеб. пособие / В. А. Костышев; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм, ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон, текстовые и граф. дан. (1,91 Мбайт). – Самара, 2011. – 65 с.

А.В. Максимович, И.В. Калиновский

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

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

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.

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 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 м над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 км (рисунок 1) [1].

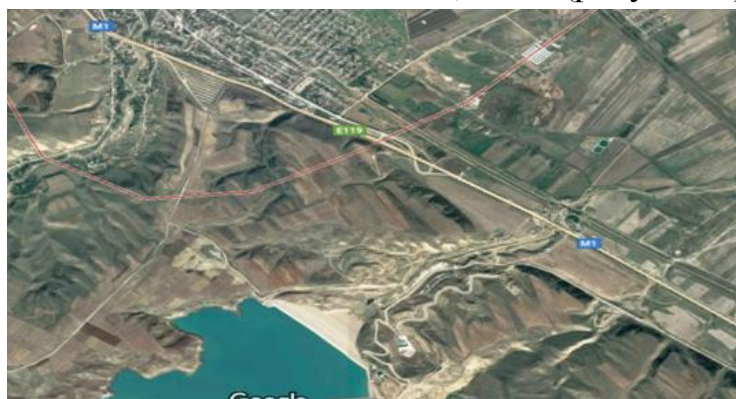


Рисунок 1– Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

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.

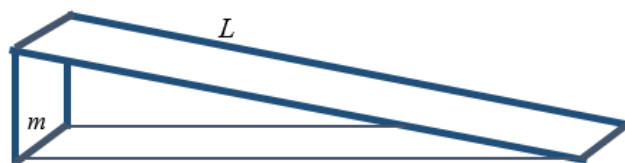
Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения. Были выбраны критерии геометрического и динамического подобия, равенство которых для природы и модели обеспечивает возможность пересчета полученных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

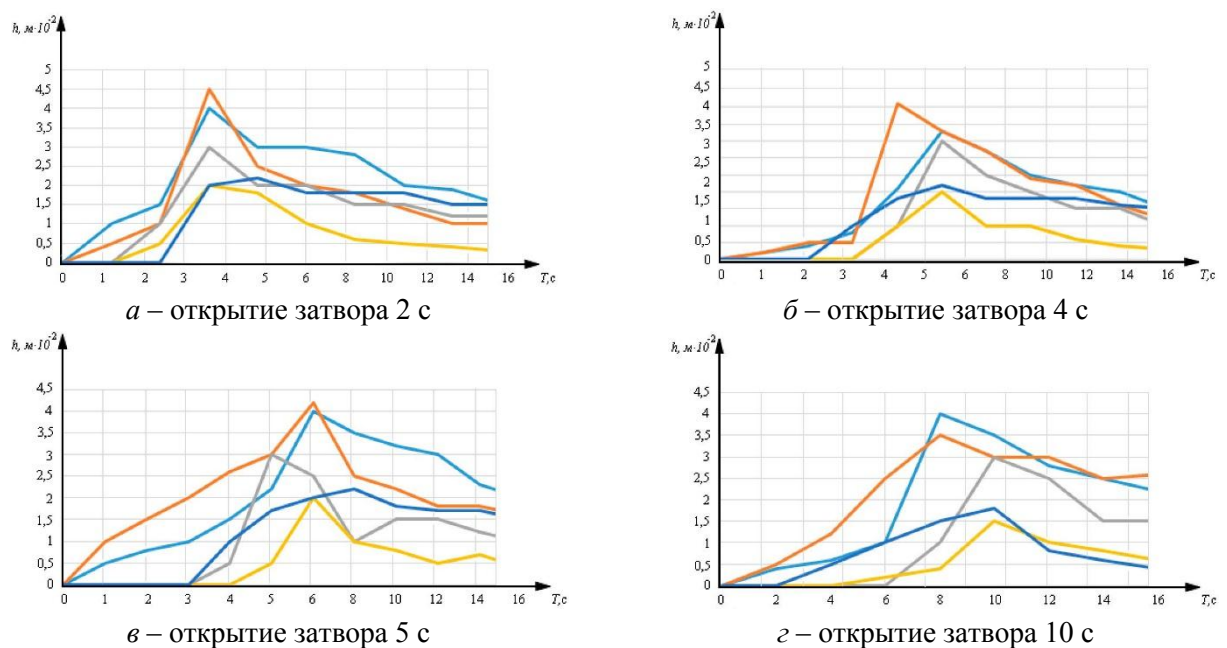
Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямооточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рисунок 3). Поток снимали неподвижной камерой.

Эксперименты были проведены при различных временных интервалах подъема затвора 1 (от 2 до 15 с или мгновенно), что соответствовало различным сценариям разрушения плотины: от возникновения прорана вдоль основания плотины до полного ее исчезновения.

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 4).



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



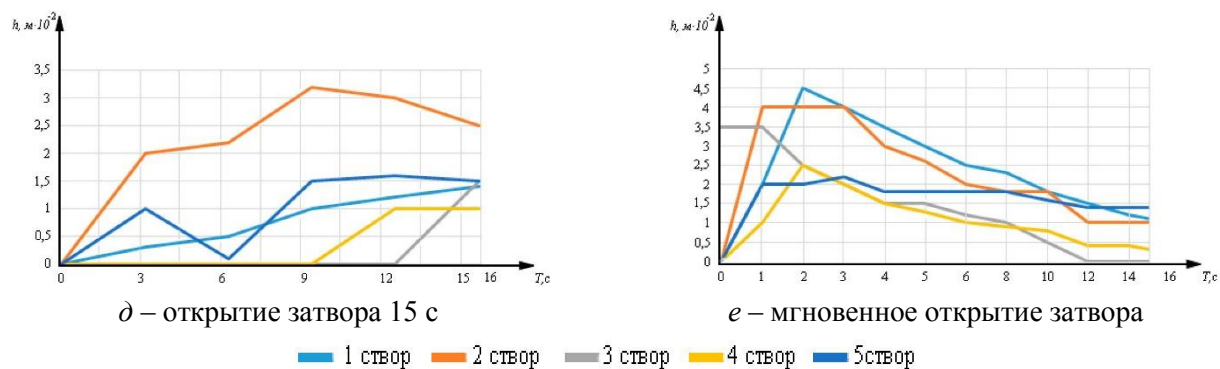


Рисунок 4 – График изменения глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

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 4 *a–d*). 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 работах [2; 3]. 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 4*e*, 5).



Рисунок 5 – Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора

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 6), у которой глубина увеличивается, что в натуральных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.



Рисунок 6 – Общий вид обратной волны

Проведение лабораторных модельных исследований потока, движущегося по наклонной плоскости, имитирующей нижний бьеф в виде сухого русла высокогорной плотины при гидродинамической аварии, позволило описать процесс формирования волны перемещения при различных сценариях разрушения сооружения.

Экспериментальная модель движения волны перемещения визуально подтвердила рассмотренные ранее теоретические исследования [2; 3] об имеющей место прямой отрицательной волне при протекании потока по наклонному склону вследствие опорожнения водохранилища и обратной положительной волне ниже склона вследствие торможения потока. Однако при мгновенном открытии подвижного затвора (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока.

Разработанная методика лабораторных исследований, проведенный эксперимент и полученные результаты позволяют оценить гидравлические показатели (скорость и глубина) 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стриганова, М.Ю. Аспекты теоретических и экспериментальных исследований движения водных потоков при прорыве плотин / М.Ю. Стриганова, С.А. Самедов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС

Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 493–500. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.493. – EDN: YPMHSP.

2. Стриганова М.Ю. Математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения потока при прорыве напорных гидротехнических сооружений в условиях высокогорья / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 48–58. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48. – EDN: KGXUEV.

3. Стриганова М.Ю. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 328–334. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. – EDN: BVNHOW.

УДК 627.8

И. И. Назаров, Н.В. Седляр, Н.Я. Шпилевский

Белорусский национальный технический университет

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В БЕЛАРУСИ И МИРЕ

Общие сведения. ГЭС Беларуси, в виду равнинного рельефа территории, низконапорные и имеют небольшую мощность. Гидроэнергетический потенциал использования всех водотоков Беларуси официально оценивается в 441 МВт, экономически эффективный равен 270 МВт.

Для Беларуси энергия рек – наиболее надежный и целесообразный источник возобновляемой энергии, который может быть реально задействован. Малая гидроэнергетика помогает прогрессу возобновляемых источников электроэнергии и достижению целей по снижению выбросов парниковых газов.

В глобальном масштабе гидроэнергия является наиболее распространённым источником возобновляемой энергии с общей установленной мощностью на всех шести континентах 1,2 ТВт. Общая установленная мощность малых гидроэлектростанций постоянно растёт и составляет примерно 1,9% общей установленной мощности в мире и занимает четвёртое место, уступая крупной гидроэнергетике, ветровой и солнечной энергии (рис. 1).

Варианты развития малой гидроэнергетики в Беларуси:

1. Следует провести подробный анализ потенциала МГЭ, чтобы снизить расходы на освоение и привлечь частные инвестиции, также следует произвести подробную переоценку потенциала МГЭ, учитывая при этом новые технологические достижения, экологические условия и законодательство, а также потенциал преобразования существующей инфраструктуры и реконструкции старых объектов.

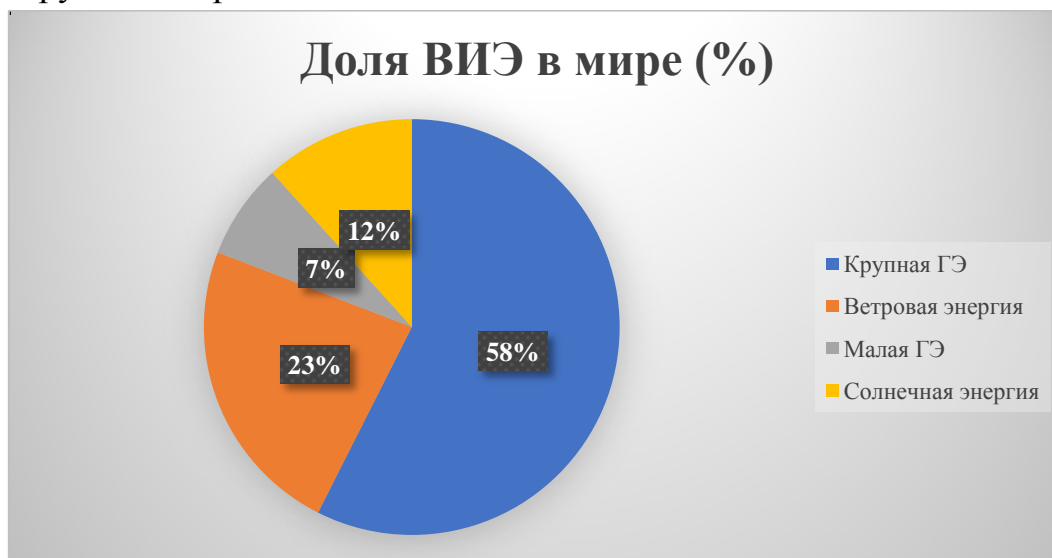


Рисунок 1 – Доля возобновляемых источников энергии в мире

2. Должна существовать общая стратегия снижения финансовых рисков для инвесторов. Высокие изначальные издержки также могут быть преодолены за счет упрощения и улучшения доступа разработчиков к финансированию. Одна из возможных мер в данном направлении заключается в повышении осведомленности о МГЭ среди местных банковских учреждений и микрофинансовых организаций, что позволит улучшить процесс оценки рисков и обеспечить благоприятные условия кредитования.

3. Местному населению зачастую не хватает технического опыта для реализации проектов МГЭС. Повышая квалификацию местного персонала в проведении технико-экономических исследований, строительстве, а также эксплуатации и техническом обслуживании МГЭС, сектор МГЭ страны в целом может стать более самостоятельным и долговечным.

Вывод.

Использование малых гидроэлектростанций является актуальным для повышения доступа населения к чистой и устойчивой электроэнергии в развивающихся странах, в особенности, в сельских районах.

Важность и преимущества малой гидроэнергетики для целей электрификации и всеобщего устойчивого промышленного развития также

остаются недооценёнными. Малые гидроэлектростанции производят значительное количество электроэнергии, однако первоначальные затраты, общественное восприятие (результат экологического и социального воздействия) снижают интерес к малой гидроэнергетике со стороны как государственных чиновников, так и частных инвесторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. LIU, D., LIU, H., WANG, X., and Kremere, E., eds. (2019). World Small Hydropower Development Report 2019. United Nations Industrial Development Organization; International Center on Small Hydro Power. A

УДК 699.82

К.У. Саидов

Белорусский национальный технический университет

ТИПЫ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Н.Н. Линкевич

Высокий уровень грунтовых вод (УГВ) вызывает подтопление и затопление территории. Поскольку построенные здания и сооружения затрудняют естественный отток грунтовых и поверхностных вод, то при отсутствии необходимых мероприятий УГВ поднимется до либо выше первоначальных отметок. Подземные бетонные и железобетонные конструкции зданий и сооружений постоянно или периодически находятся в контакте с водой или капиллярной влагой. Особенно подвержены подтоплению здания и сооружения с близким расположением водоупора.

Бетон обладает структурой, пронизанной порами, капиллярами и микротрещинами. Их наличие обусловлено рядом факторов: испарением воды во время схватывания бетона; высоким водоцементным отношением; внутренними напряжениями, возникающими из-за усадки бетона в процессе твердения, набора прочности и пр. Для того чтобы исключить возможность фильтрации воды через поры, капилляры и микротрещины в бетоне, необходимо обработать его внутреннюю поверхность раствором смеси гидроизоляционных материалов проникающего действия. Результатом обработки является заполнение пор, капилляров и микротрещин бетона дендритными нерастворимыми химически стойкими кристаллогидратами, что позволяет повысить показатель водонепроницаемости бетона, а также придать бетону свойство самозалечивания трещин раскрытием до 0,4 мм. Защищать необходимо все бетонные поверхности и конструкции зданий и сооружений, которые так или иначе могут контактировать с

водой, а также в местах, где омывающие или конденсатные воды могут негативно влиять на материал конструкции.

Существует два пути решения проблемы: гидроизоляция подземной части зданий и сооружений (традиционный способ защиты) и отвод грунтовых вод дренажем (выполняется крайне редко). Гидроизоляцией называют водонепроницаемые покрытия, защищающие конструкции зданий и сооружений от воздействия грунтовых, в том числе агрессивных, вод или от повышенной влажности окружающих грунтов. Назначение гидроизоляции – защита внутреннего объема подземных сооружений от проникновения капиллярной, грунтовой или поверхностной воды через ограждающие конструкции (противокапиллярная гидроизоляция, наружная и внутренняя противонапорная гидроизоляция, гидроизоляция от безнапорных поверхностных или фильтрационных вод) и защита элементов фундаментов и ограждающей конструкции от коррозии (антикоррозийная гидроизоляция). В ряде случаев устраивают гидроизоляцию для предотвращения проникновения воды и иных жидкостей из резервуаров, бассейнов и каналов в окружающий грунт.

Безнапорная гидроизоляция служит для защиты от просачивания воды. Если давление подземных вод невелико, то в подвальных помещениях можно устраивать внутреннюю проникающую гидроизоляцию. Если переувлажнение происходит за счет конденсационных и капиллярных вод, то устраивают противокапиллярную гидроизоляцию.

Наилучшим способом защиты фундаментных бетонных конструкций является наружная гидроизоляция и устройство пристенного дренажа. При невозможности либо экономической нецелесообразности устройства наружной гидроизоляции рекомендуется выполнять гидроизоляцию с внутренней стороны подвальных помещений из материалов проникающего действия.

Входы в цокольные этажи зданий зачастую не имеют надежной защиты от атмосферных осадков. Снег и дождь при попадании на площадки, находящиеся ниже поверхности земли, скапливается и увлажняет несущие стены подвальных помещений. Защита подвальных помещений ведется по нескольким направлениям:

- уменьшение попадания атмосферных осадков на отметки, находящиеся ниже поверхности земли путем устройства навеса или козырька и организованный отвод осадков;

- защита фундамента от намокания, увеличение пути фильтрации устройством отмостки из водонепроницаемых материалов (асфальта), предотвращающих намокание грунта у основания здания и насыщения влагой бетона;

Существуют различные виды гидроизоляции, которые различаются назначением, местом применения, а также материалами [1–3]. Гидроизоляционные покрытия подразделяют на пластичные и жесткие. К пластичным относят обмазочные, окрасочные, оклеечные и литые, к жестким – цементно-песчаные, асфальтовые и другие штукатурки и листовые покрытия.

Выбор типа гидроизоляции производится с учетом величины действующего или ожидаемого гидростатического напора подземных вод и их химического состава, особенностей конструкций и назначения помещения.

При возведении новых подземных сооружений в условиях уже подтопленной территории при небольшой величине гидростатического напора над защищаемой поверхностью применяется наружная гидроизоляция.

При расположении подземных сооружений в зоне капиллярного увлажнения грунтов гидроизоляция может устраиваться как по внутренним, так и по наружным поверхностям защищаемых конструкций.

В существующих подземных сооружениях (в подвальных помещениях) без отрыва грунта по периметру может быть применена лишь внутренняя гидроизоляция.

Обмазочная гидроизоляция – сплошной водонепроницаемый слой из остывшей мастики (например, битумной), нанесенный на поверхность конструкции толщиной 2–4 мм, а окрасочная изоляция – более тонкий слой (0,2–0,8 мм) красящего состава (например, этиленового лака, смешанного с распушенным асбестом). Эти изоляции наносят на изолируемую поверхность (минимум в два слоя) распылителями, валиками или кистями. Их применяют главным образом для защиты конструкций от капиллярной влаги.

Для обмазочной гидроизоляции используют битумные, битумно-полимерные и полимерные составы. Покрытия могут быть горячими (окраска битумом, битумно-полимерными мастиками) и холодными (из эпоксидных лаков, красок и битумно-латексных смесей). Грунтовку выполняют из этих же материалов, но менее вязких. Поверхность перед окраской тщательно очищают, а при использовании разжиженного и горячего битума высушивают до воздушно-сухого состояния и затем грунтуют. Битумные эмульсии и пасты можно наносить на увлажненную поверхность. После окончания работы окрасочная гидроизоляция может быть покрыта защитным слоем.

Оклеечная гидроизоляция – сплошной водонепроницаемый ковер из рулонных или гибких листовых материалов, наклеенных в 1–4 слоя на изолируемую поверхность с помощью специальных мастик (битумных, дегтевых) или клеев. Такую изоляцию применяют при больших гидростатических напорах воды.

Гидроизоляцию всегда наклеивают на поверхность сооружения с напорной стороны, перед наклейкой поверхность очищают пескоструйными аппаратами и электрифицированными щетками, затем поверхность промывают струей воды и просушивают.

Горячую мастику сначала наносят на изолируемую поверхность, а затем на рулонный материал слоем толщиной 1–2 мм. Наклеивание последующего слоя производят с разбежкой стыков с нижележащим слоем не менее чем на 0,2 м и перекрытием смежных продольных стыков полотнищ на 0,1, а поперечных – на 0,2 м. Наклеенный рулонный материал разглаживают и прикатывают легким катком.

Одним из путей повышения уровня индустриализации строительства является замена многослойных изоляционных покрытий из традиционных рулонных битуминозных материалов (пергамин кровельный, толь кровельный, рубероид, гидроизол, изол, бризол) однослойными полимерными мембранами из стойких к окислению и морозостойких полимерных компонентов. Существует множество рецептур и технологических процессов производства полимерных мембран, которые широко используются для устройства кровель и долговечной гидроизоляции различных ответственных сооружений, например для изоляции резервуаров технической и питьевой воды, очистных сооружений, транспортных тоннелей, мостов, подземных частей зданий и др. Для герметичного соединения полотнищ мембран применяются специальные клеи и ленты.

Как правило, в стационарных (заводских) условиях предварительно собираются из вулканизированных полотнищ большие мембраны (ковры) площадью от 100 до 1000 м². Для соединения укрупненных элементов в условиях строительства применяются малогабаритные передвижные сварочные установки (для горячей вулканизации) и клеевые композиции (метод холодной вулканизации).

Литая гидроизоляция устраивается в основном из асфальтовой массы, наносимой на горизонтальные и наклонные (не более 45°) поверхности, а также в виде шпонок в щелях и температурно-усадочных швах.

Литую асфальтовую гидроизоляцию применяют для защиты подземных и подводных частей сооружений в особо ответственных случаях. Горячий асфальтовый материал подают на очищенный изолируемый участок, разливают и разравнивают одним-двумя слоями общей толщиной 15–40 мм. Чтобы исключить образование швов в покрытии, раствор подают непрерывно. Стыки выполняют с предварительным прогревом краев ранее уложенного слоя на длине 0,1–0,15 м. Готовую поверхность гидроизоляции посыпают песком и затирают гладилкой. Вертикальные поверхности предварительно грунтуют,

затем заливают асфальтовую массу в щель, образованную опалубкой, шириной 30–50 мм слоями 0,2–0,4 м. Каждый последующий слой заливают после остывания материала предыдущего слоя, примерно через 2–3 ч.

Жесткая гидроизоляция представляет собой затвердевший, прочно сцепившийся с изолируемой поверхностью слой цементно-песчаного раствора или асфальтового штукатурного материала толщиной до 20–25 мм или сплошное сварное водонепроницаемое ограждение строительных конструкций из стальных или пластмассовых листов. Цементно-песчаную гидроизоляцию осуществляют двумя способами: торкретированием и оштукатуриванием. В растворы добавляют противоусадочные и уплотняющие добавки, среди которых наиболее распространены церезит и жидкое стекло. Церезит вводят в состав цементного раствора, а жидкое стекло является и поверхностным покрытием, и добавкой в растворы.

Горячую асфальтовую штукатурную гидроизоляцию применяют для защиты поверхности напорных граней гидротехнических сооружений, опускных колодцев, железобетонных свай, трубопроводов, а также при аварийных и ремонтных работах. Не рекомендуется применять ее на влажном или гибком основании, а также при раскрытии в нем трещин более 0,3 мм. Горячую асфальтовую штукатурку готовят из мастики, состоящей из битума (25–30 %), асбеста (5–8 %), заполнителя в виде молотого известняка или цемента (30–40 %), мелкого песка (около 40 %). Для асфальтовой гидроизоляции используют битумы.

Горячую гидроизоляцию наносят на вертикальную и потолочную поверхности, предварительно очищенные и просушенные, двумя-тремя слоями, толщиной каждого слоя 4–7 мм, с помощью специальных установок – асфальтометов. Материал наносят горизонтальными полосами сверху вниз, покрывая с одной позиции участок шириной 1 м, высотой 1,4–1,8 м. Последующий слой наносят после остывания предыдущего. При возможном раскрытии трещин в основании гидроизоляционного покрытия более 0,1 мм, а также для исключения отрыва покрытия от основания между первым и вторым слоем прокладывают гибкую армированную ткань. При работе в зимних условиях поверхность предварительно прогревают струей горячего воздуха. При нанесении на горизонтальную поверхность гидроизоляцию разравнивают и уплотняют с помощью вибрационных гладилок, виброреек или легких катков.

Холодную асфальтовую штукатурную гидроизоляцию применяют для защиты подводных и подземных поверхностей бетонных и железобетонных сооружений, в зоне переменного уровня, для противокоррозионной защиты бетонных конструкций от агрессивных вод, а также для заполнения деформационных швов. Ее можно устраивать на влажном основании.

Гидроизоляция представляет собой пластичный штукатурный покров из нескольких слоев холодной асфальтовой мастики, нанесенных на вертикальные, горизонтальные, наклонные или потолочные поверхности.

Холодную мастику наносят на очищенную поверхность слоями толщиной 5–10 мм с помощью асфальтометов, растворометов или насосов. Каждый последующий слой наносят на предыдущий лишь после его отвердения. Асфальтовые смеси наносят снизу вверх ярусами высотой 1,5–2,5 м. Сопряжение ярусов выполняют внахлестку с перекрытием на 0,3–0,4 м, с разбежкой стыков в разных местах. При необходимости покрытие армируют стеклосеткой или антисептированной мешковиной, расстилая их на поверхности свеженанесенного слоя и прикатывая до выступления мастики на поверхности ткани.

Таким образом, защита подземной части зданий и сооружений от проникновения капиллярной, грунтовой или поверхностной воды существенно увеличивает срок службы зданий и сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: учеб. пособие / А. А. Шилин [и др.]. – Тверь : Русская Торговая Марка, 2003. – 396 с.

2. Подтопление территорий грунтовыми водами при строительстве и их инженерная защита : сб. науч. тр. / ВИНТИ РАН. – М. : ВИНТИ, 1982. – Т. 8. – 110 с.

3. Попченко, С. Н. Гидроизоляция сооружений и зданий / С. Н. Попченко. –Л. : Стройиздат, Ленинг. отд-ние, 1981 – 304 с.

УДК 629.563.424

А. В. Максимович¹, И. В. Калиновский¹

¹*Белорусский национальный технический университет,*

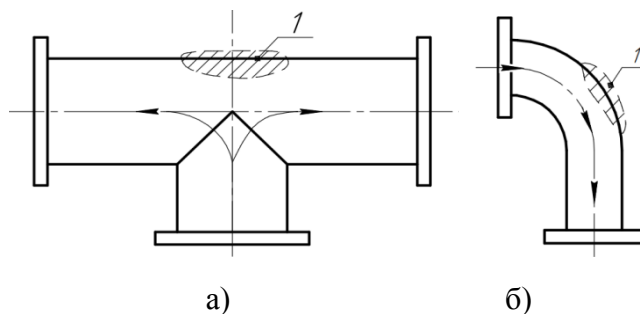
РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВОРОТНОГО УЧАСТКА ТРУБЫ ЗЕМСНАРЯДА

*Научные руководители: К. В. Хвилько¹, И. В. Качанов¹,
С. Г. Короткевич²*

²*Государственное учреждение образования "Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь",
Минск, Республика Беларусь*

На водотоках и водоемах Республики Беларусь землесосные снаряды (земснаряды) осуществляют дноочистительные и дноуглубительные работы, а

также добычу строительного песчаного грунта различного гранулометрического состава. В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется около 30 земснарядов, которые постоянно сталкиваются с проблемой низкой производительности и энергоэффективности из-за износа и существенного увеличения гидравлического сопротивления нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда, особенно его фасонных элементов. К фасонным элементам обычно относят: переходники, тройники и поворотные участки нагнетательной трубы (рисунок 1) [1].



1 — Зона повышенного износа
а) тройник; б) плавный поворот

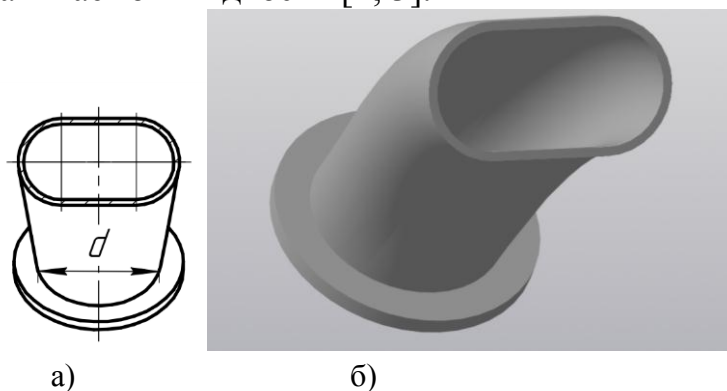
Рисунок 1 — Поворотный участок пульпопровода

Анализ научно-технической литературы и патентно-информационных источников [2] показывает, что снижение гидравлических сопротивлений трубопроводных систем различного назначения и особенно их фасонных элементов является весьма актуальной задачей. Наибольший интерес в этом плане вызывают поворотные участки труб, снижение гидравлических сопротивлений которых позволяет снизить общие потери напора в трубопроводных системах в среднем на 15-20 %. На величину гидравлических сопротивлений поворотных участков, кроме общеизвестных геометрических параметров (диаметра трубы d , радиуса R и угла α поворота), существенное влияние оказывает форма поперечного сечения трубы поворотного участка [4], так как стандартная круглая форма поперечного сечения не является оптимальной с гидравлической точки зрения. Подбор оптимальной формы поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда в перспективе позволит оптимизировать процесс совместной работы грунтового насоса и нагнетательной линии и определить рабочую точку с максимальной производительностью и минимальными энергозатратами при эксплуатации земснаряда.

На кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ (ГЭСВТГ БНТУ) было разработано инновационное отечественное устройство для улучшения гидродинамики перекачиваемой жидкости на поворотных участках трубопроводов путем использования на этих участках поперечного сечения овальной формы (рисунок 2).

На основании указанного устройства и предварительных экспериментальных данных, полученных в лаборатории кафедры ГЭСВТГ

БНТУ была установлена перспективность использования на поворотных участках поперечных сечений овальной формы для снижения потерь напора при движении перекачиваемой жидкости [2; 3].



а) схема поперечного сечения колена овальной формы; б) компьютерная 3D-модель колена овальной формы

Рисунок 2 — 3D-модель предложенной (овальной) формы поперечного сечения поворотного участка

Использование поперечного сечения трубы овальной формы на поворотных участках может существенно (примерно в 1,5 раза) снизить гидравлическое сопротивление поворотного участка (колена) и уменьшить потери напора (механической энергии) при перекачке любой жидкости (в том числе пульпы в нагнетательной трубе грунтового насоса земснаряда), что в свою очередь приведет к увеличению производительности и энергоэффективности работы земснаряда в целом на 20—30%, а также попутно снизить износ поворотных участков.

Для проверки теоретических предположений о гидродинамике перекачиваемой жидкости на поворотных участках нагнетательной трубы земснаряда, на кафедре ГЭСВТГ БНТУ было проведено компьютерное моделирование и предварительные экспериментальные исследования в гидравлической лаборатории поворотных участков (колена с углом поворота на 90°) нагнетательной трубы с различными поперечными сечениями: круглой, прямоугольной и овальной.

В результате, проведенные компьютерное моделирование и лабораторные гидравлические исследования, позволили сделать следующие выводы:

1. Стандартная круглая форма поперечного сечения колена напорной трубы земснаряда не является оптимальной с точки зрения минимизации гидравлического сопротивления (потерь напора);

2. Наиболее оптимальными сечениями с точки зрения минимизации гидравлического сопротивления (потерь напора) является прямоугольное и овальное сечения;

3. По производительности прямоугольное сечение превосходит круглое на 5—10 %, а по снижению гидравлического сопротивления — на 10—15%;

4. Использование овального сечения позволяет увеличить производительность на 10-15% по сравнению с круглым и снизить гидравлическое сопротивление на 15—25%;

5. Установлен характер изменения контактной поверхности «парного вихря» для различных форм поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы земснаряда;

6. Установлено влияние формы поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы земснаряда на его основные гидравлические характеристики (дальность отлета струи $h_{\text{под}}$, расход жидкости Q , средняя скорость v).

Проведенные компьютерное моделирование и лабораторные гидравлические исследования моделей поворотных участков (колен) нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда показали, что наиболее оптимальной формой поперечного сечения колена является овальная форма, которое позволяет увеличить производительность земснаряда минимум на 10—15%; уменьшить гидравлическое сопротивление на 15—20%, с последующим возможным снижением износа поворотного участка нагнетательной трубы земснаряда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шкундин Б.М. Землесосные снаряды : учебн. пособие / Б.М. Шкундин.— 2-е изд. перераб.— М. : Энергия, 1973. — 272 с.

2. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И. В. Качанов [и др.] // Чрезвычайные ситуации : предупреждение и ликвидация. - 2013. - № 2. — С. 156-164.

3. Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах промышленного и гражданского назначения / И. В. Качанов [и др.] // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке : сборник докладов XIX Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17 марта 2017 г. : в 3 т. / Тюменский государственный университет ; редкол.: А. Б. Храмцов (отв. ред.) [и др.]. —Тюмень, 2017. – Т. 1. — С. 59-64.

СОДЕРЖАНИЕ

«Эколого-экономическая оценка эффективности научно-исследовательского проекта по развитию водомётного судна с регулируемой реактивной насадкой» Магистрант группы 51014022 Ковалёнок Н.А. Научный руководитель: д.т.н, профессор БНТУ Качанов И.В.	3
«Энергосбережение и использование альтернативных источников энергии на предприятиях водного транспорта» Студент гр.11006121 Н.А. Махнач Научный руководитель – ст. преподаватель И.В. Недашковская	6
«Энергосбережение на водном транспорте» Студент гр.11006121 А.Н. Сныткин Научный руководитель – ст. преподаватель И.В. Недашковская	10
«Способы и средства локализации радиоактивных отходов» А.А. Стафинцов Научный руководитель –к.т.н., доцент И.Ч. Казьмирук	15
«Теоретические исследования параметров процесса скоростного выдавливания заготовок изделий медицинского назначения» Р.М. Колпаков, И.Д. Лохан, А.А. Сахарчук Научные руководители профессор, д.т.н. И.В.Качанов, ассистент С.А. Ленкевич	17
«Экспериментальные исследования волны перемещения при гидродинамической аварии в условиях высокогорья» А.В. Максимович, И.В. Калиновский Научные руководители ст. преподаватели И.М. Шаталов, М.К. Щербакова	23
«Актуальность использования гидроэнергетического потенциала малых гидроэлектростанций в Беларуси и мире» И. И. Назаров, Н.В. Седляр, Н.Я. Шпилевский	28
«Типы гидроизоляции подземных сооружений» К.У. Саидов Научный руководитель – доцент, к.т.н. Н.Н. Линкевич	30
«Результаты компьютерного моделирования и лабораторных исследований поворотного участка трубы земснаряда» Студенты: А. В. Максимович ¹ , И. В. Калиновский ¹ Научные руководители: К. В. Хвилько ¹ , И.В.Качанов ¹ , С. Г. Короткевич ²	35