

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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



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

**Материалы студенческой научно-технической конференции
в рамках Международного молодежного форума «Креатив и
инновации 2022»**

15 декабря 2022 года

**Минск
БНТУ
2022**

УДК 626, 627,627.8,629.12

ББК 3

СОСТАВИТЕЛИ:

Качанов И. В., Власов В. В.

В сборнике представлены материалы заочной 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.

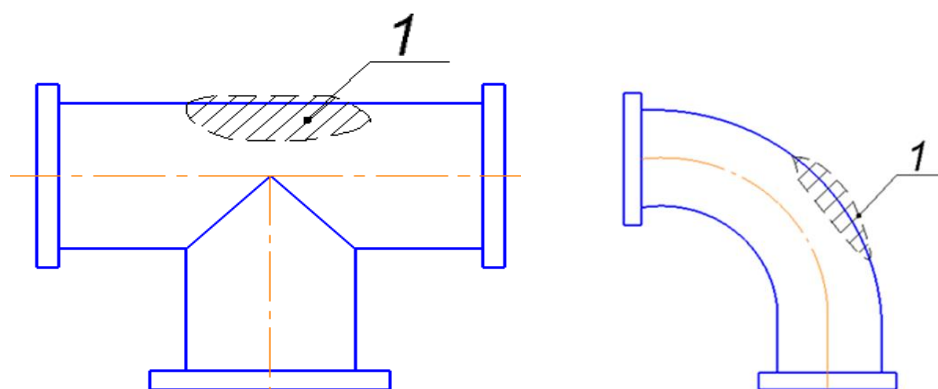
О МОДЕРНИЗАЦИИ ПОВОРОТНОГО УЧАСТКА ПУЛЬПОПРОВОДА ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА

И.В. Качанов, К.В. Хвитько, И.М. Шаталов, А.А. Скачко, Р.М. Колпаков

Белорусский национальный технический университет

На водных путях Республики Беларусь землесосные снаряды в навигационный период осуществляют различные виды работ: дноочистительные, дноуглубительные, а также добычу песчаного грунта со дна водоемов. Все вышеупомянутые работы сопровождаются большими трудовыми и энергозатратами. На предприятиях водного транспорта Республики Беларусь, в настоящий момент эксплуатируется около 30 земснарядов.

Тяжелые условия эксплуатации способствуют выходу из строя основных элементов земснарядов. Одним из таких элементов является напорный пульпопровод. В напорный пульпопровод при помощи грунтового насоса подается пульпа разного гранулометрического состава, поэтому на поворотных участках пульпопроводов происходит интенсивный износ внутренней поверхности (т.е. истирание его металлических стенок), что в свою очередь резко снижает производительность и энергоэффективность эксплуатации земснаряда. На рисунке 1 представлены схемы поворотных участков пульпопровода с зоной повышенного износа в виде тройника и колена.



1 – Зона повышенного износа

Рисунок 1– Поворотный участок пульпопровода

В настоящее время, в инженерной практике применяются 2 основных способа устранения данной проблемы: электронаплавка стенок пульпопровода высокотвердыми электродами и увеличение толщины стенок на поворотных участках пульпопровода. Следует также отметить, что при проведении ремонта пульпопровода необходимо полностью прекратить эксплуатацию

земснаряда в целом на неопределенный срок. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что современные способы увеличения срока эксплуатации земснарядов существенно снижают эффективность эксплуатации земснаряда в целом, уменьшая его производительность и энергоэффективность примерно в 1,5 раза.

Эту проблему можно решить путем применения на поворотных участках пульпопровода земснаряда овальную форму поперечного сечения, которая позволит снизить потери механической энергии (напора) при эксплуатации пульпопровода земснаряда, что в свою очередь позволит увеличить производительность и энергоэффективность работы земснаряда на 30-40%.

На рисунке 2 представлена предложенная форма поперечного сечения поворотного участка пульпопровода.

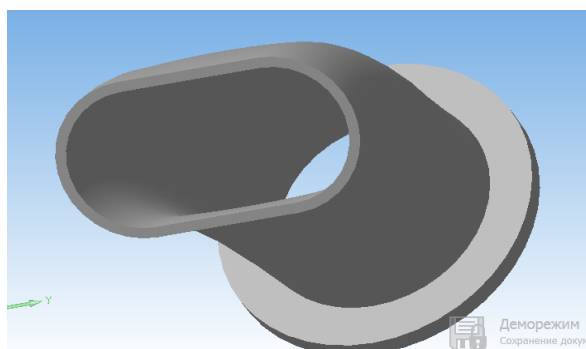


Рисунок 2– 3D-модель предложенной (овальной) формы поперечного сечения поворотного участка

В настоящее время в гидравлической лаборатории на кафедре ГЭСВТГ БНТУ были проведены предварительные испытания поворотных участков пульпопровода, которые подтверждают наличие эффекта снижения потерь напора на поворотных участках пульпопровода земснаряда и увеличения производительности и энергоэффективности земснаряда в целом на 25%. На рисунках 3,4,5,6 представленных ниже видно, что в зависимости от формы поперечного сечения меняется дальность отлета струи, ее компактность, величина потерь и соответственно энергоэффективность.



Рисунок 3 – Модель поворотного участка трубы земснаряда с круглой формой поперечного сечения



Рисунок 4 – Лабораторные испытания проведенные на модели поворотного участка трубы земснаряда с круглым поперечным сечением



Рисунок 5– Модель поворотного участка трубы земснаряда с овальной формой поперечного сечения



Рисунок 6 – Лабораторные испытания проведенные на модели поворотного участка трубы земснаряда с овальной формы поперечного сечения

Выводы:

Предварительные лабораторные гидравлические исследования показали, что, предложенная конструкция поворотного участка трубы земснаряда с овальной формой поперечного сечения может обеспечить: снижение потерь напора на поворотных участках земснаряда, увеличение производительности и энергоэффективности земснаряда в целом, увеличение дальности отлета струи и ее компактность.

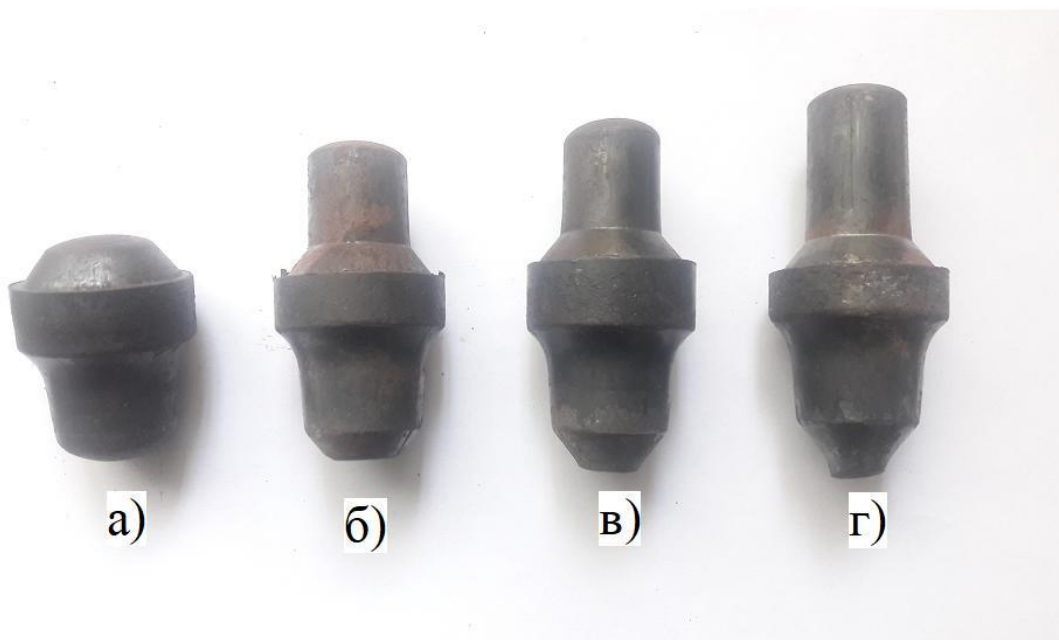
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДОРОЖНОГО РЕЗЦА

Асп. К.Ю. Быков, д.т.н., профессор И.В. Качанов, С.А. Ленкевич
студенты группы 11006122 Кундир М., Плюсин В.

Белорусский национальный технический университет

Экспериментальные исследования пластического течения металла при формообразовании дорожного резца включали в себя получение картины пластического течения, с нагревом заготовок из стали 40Х до температуры штамповки 1150 °С, с целью определения стадийности затекания металла в полости штампового инструмента в процессе горячего комбинированного выдавливания.

На рисунке 1 представлен внешний вид пластического течения при формообразовании дорожного резца в характерных сечениях штамповочных полостей на различных стадиях формообразования.



- а) начальная стадия выдавливания; б) стадия формирования корпуса головной части;
в) стадия формирования хвостовой части; г) завершающая стадия выдавливания

Рисунок 1 – Стадии формообразования дорожного резца комбинированным выдавливанием

Начальная стадия выдавливания характеризуется формированием двух разнонаправленных течений металла у торцев заготовки – в головную часть и хвостовую часть резца под действием усилия запрессовки (осадки). При этом остальной объем металла в деформации не задействован.

Стадия формирования корпуса головной части сопровождается более интенсивным заполнением металлом головной части корпуса резца даже по малому радиусу в месте перехода в наконечник, а в направлении хвостовой части формируется застойный участок вплоть до достижения плоскости сечения, в которой начинается формирование наконечника резца.

Следовательно, далее наступает стадия формирования хвостовой части, когда происходит смена направления скоростей деформации и более интенсивно металл течет в хвостовую часть резца, как за счет растягивающих напряжений во всем объеме хвостовика, так и радиально - сжимающих в приповерхностных слоях.

После формирования хвостовой части наступает завершающая стадия выдавливания, которая характеризуется сменой обратного выдавливания (хвостовик сформирован) на прямое и происходит формообразование наконечника рабочей части резца.

УДК 624.92.012.3/4

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВЕРТОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ И МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ

А.А. Симака

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

Высокий уровень социально-экономического развития РБ обеспечивается за счет устойчивого роста отдельных предприятий и отраслей экономики. Особую актуальность приобретает повышение эффективности функционирования предприятий воздушного транспорта. Спецификой функционирования данного вида транспортных коммуникаций является необходимость оборудования наземного аэродромного и вертодромного сообщения (взлетно-посадочных площадок).

В стране действуют 6 международных аэропортов, 9 сертифицированных аэродромов. В Государственном реестре гражданских воздушных судов РБ зарегистрировано более 300 воздушных судов.

Для обеспечения бесперебойного функционирования данного вида транспорта особенно значимо соответствие посадочных площадок требованиям по несущей способности. Комплексной проблемой является развитие деформаций в сооружениях в процессе эксплуатации, связанных с недочетами при проектировании и возведении взлетно-посадочных площадок.

Согласно [1], аэродром (вертодром) – земельный или водный участок, специально подготовленный и оборудованный для обеспечения взлета, посадки, руления, стоянки и обслуживания водных судов.

В связи с высокими динамическими нагрузками, по прошествии пары лет неизбежно возникает необходимость восстановления существующих покрытий. Ежегодно выявляются повреждения жестких покрытий ВПП (взлетно-посадочной полосы), в связи с чем ремонтные работы требуется проводить регулярно, и в перспективе может оказаться, что экономически целесообразно было бы провести полную реконструкцию существующего покрытия с наращиванием поверхностного слоя из асфальтобетона. Такая практика довольно популярна в странах Запада. Срок службы аэродромных одежд в странах СНГ существенно ниже, чем на аналогичных объектах за рубежом [2]. Причинами такого положения дел могут быть ошибки в проектировании, строительстве и невысокое качество эксплуатационного содержания и ремонта покрытий.

Основные причины возникновения дефектов площадок – высокие нагрузки от воздушного транспорта, включая температурные перепады, воздействие реактивных двигателей, агрессивное химическое воздействие (от топлива, и др. реагентов), сложные климатические и инженерно-геологические условия и «человеческий фактор» при проектировании и строительстве.

Наиболее часто встречаются следующие типы повреждений [3]:

- Сколы и трещины бетона, как в углах плит, так и в зоне деформационных швов;
- Шелушение верхнего слоя покрытия;
- Неравномерные усадки основания;
- Выключение из работы температурных швов.

Обязательным условием длительного сохранения эксплуатационной пригодности являются регулярные своевременные ремонтные работы, предотвращающие накопление дефектов до критического состояния.

Метод заделки трещин зависит от причины их возникновения. В качестве материалов применяют эпоксидные смолы, асфальтобетонные смеси и цементно-песчаные растворы. Как отмечалось выше, повреждения покрытия неизбежны, что связано не в последнюю очередь с засорением температурно-деформационных швов, например из-за запыления под действием турбулентности при взлете и посадке судна, либо неправильным выбором мест их устройства. В результате, помимо развития трещин, образуются сколы и шелушения на поверхности плиты. Основная контрмера – устройство

компенсационных швов с перераспределением напряжений в плите и устранение уже возникших дефектов.

Если повреждения вызваны особенностями грунтов основания, рекомендуется оградить ВПП от притока поверхностных вод и провести осушительные мероприятия для понижения влияния грунтовых вод.

Улучшить состояние грунтовых ВПП поможет повышение коэффициента уплотнения грунта, что понизит его водопроницаемость, а высадка газона специального назначения оградит сооружение от ветровой эрозии.

На практике встречается не какой-то один вид дефектов, а их сочетание. Очередность их устранения определяется проектом на основании заключения по обследованию конструкций. Все проекты по ремонту и реконструкции ВПП индивидуальны, тем не менее существует рекомендованный порядок действий: в первую очередь необходимо устранить проблему температурно-деформационных швов – зачистить их, выполнить устройство компенсационных швов и герметизацию, и лишь затем восстанавливать наиболее крупные пострадавшие участки плиты. Во вторую очередь зачищают и выравнивают покрытие: устраняют сколы и трещины, наращивают верхний слой и укрепляют его, зачастую доп. армированием и покрытием поверхности пропитками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 3.03.03-97. Аэродромы. – Введ. 01.06.1997 – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1997. – 22с.
2. Вишняков Н. В. Реконструкция автомобильных дорог и аэродромов: учебно-методический комплекс для специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»/ Н. В. Вишняков – Минск: БНТУ, 2019. – 210 с.
3. Юркин, Ю. А. Учеб. пособие Аэродромы и аэропорты: в 2 ч: / Ю. А. Юркин; под общ. ред. Г. В. Токаревой – М.: МГТУ ГА, 2012. – 2 ч. 41 с.

УДК 629.122

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ РЕЧНЫХ СУДОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

Ленкевич С.А., Власов В.В., Плюснин В.Д., Кундир М.А.

Белорусский национальный технический университет

Введение

Для эффективной работы речного флота необходимо создание речных судов и их составов, обладающих минимальным сопротивлением движению,

что в свою очередь тесно связано с оптимизацией конструктивных параметров корпуса морского или речного судна, или состава судов.

Окончательное решение о форме обводов корпуса любого судна или состава судов внутреннего водного транспорта следует принимать после сопоставления показателей сопротивления движению, полученных для нескольких вариантов проектируемого судна или состава судов, путем испытания моделей в гидродинамической лотке, т.к. статистические данные по построенным ранее однотипным судам не всегда позволяют получить обоснованное представление об элементах и обводах корпуса, обеспечивающих оптимальные пропульсивные качества.

Основная часть

Для определения оптимальных параметров корпуса судов для снижения сопротивлений движению в гидродинамической лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ по заказу ОАО «Белсудопроект» были проведены лабораторные экспериментальные исследования 3D-моделей одиночной несамоходной баржи грузоподъемностью 2300 т и барже-буксирного состава.

Для проведения испытаний в гидродинамической лотке была разработана 3D-модель несамоходной баржи грузоподъемностью 2300 т, состоящая из трех составных частей: базовый носовой элемент, базовый кормовой элемент и цилиндрическая вставка, а также съемные носовые и кормовые части с различными углами наклона к основной плоскости судна.

Данная составная модель позволила отработать наибольшее количество вариантов носовых и кормовых обводов, а также выявить оптимальные значения относительной длины несамоходного судна.

Для определения гидродинамических характеристик были разработаны цифровые модели несамоходного судна (далее – НС) исследуемой баржи грузоподъемностью 2300 т, которые в последствии были напечатаны на 3D-принтере.

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Разработка 3D-моделей производилось с учетом правильной развесовки НС, чтобы обеспечить на спокойной воде посадку судна в грузу (в соответствии с масштабом) прямо и на ровный киль и исключить дифферент на его оконечности.

На рисунках 1–3 представлена 3D-модели базовых элементов и цилиндрической вставки.

После проведения анализа реализованных проектов несамоходных барж и справочных данных были разработаны три «плоские» носовые части с различными углами наклона α носовой части к основной плоскости судна, а также одна ложкообразная носовая часть и три кормовые части с различными углами наклона β кормовой части к основной плоскости судна.

На рисунках 4–7 представлены 3D-модели носовых частей.

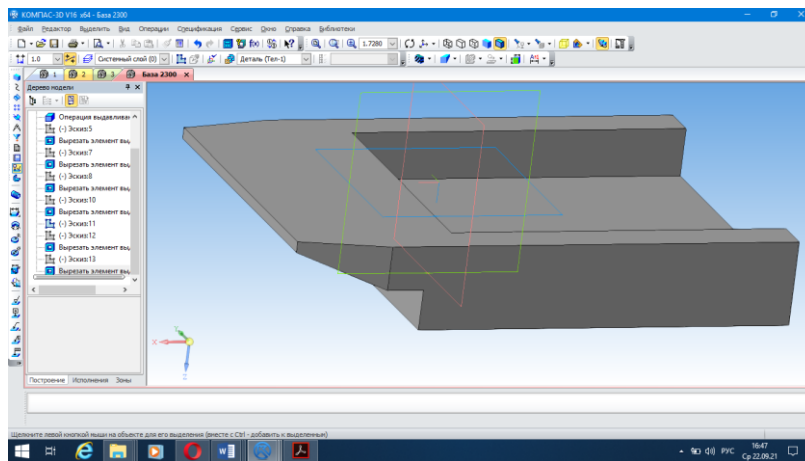


Рисунок 1 – Базовый носовой элемент для моделей НС

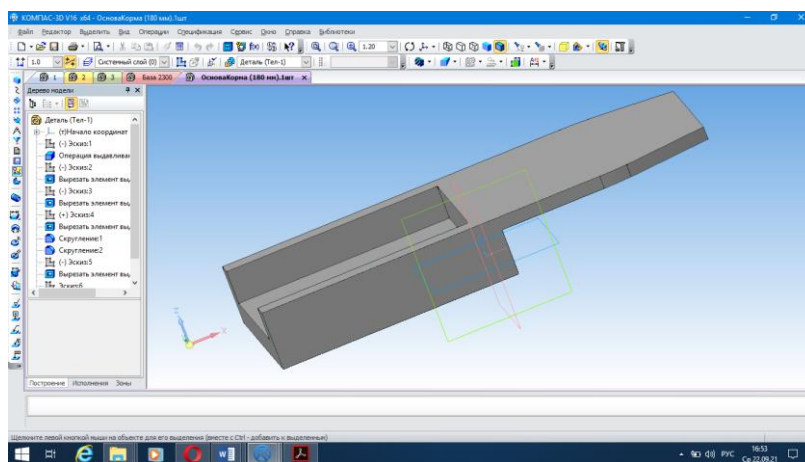


Рисунок 2 – Базовый кормовой элемент для моделей НС

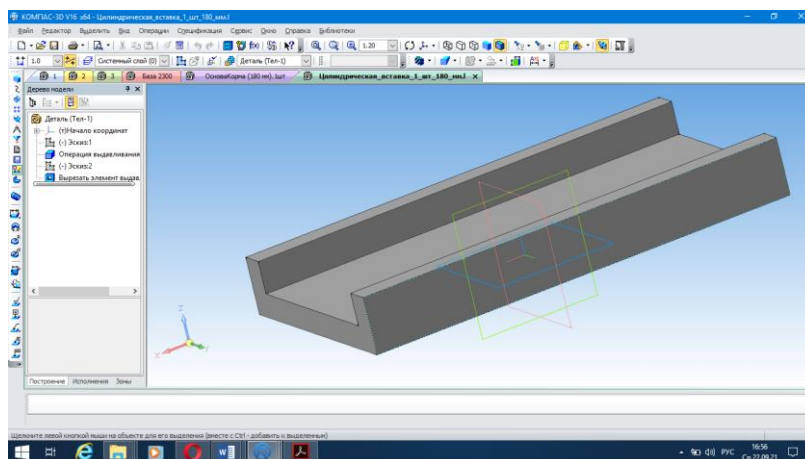


Рисунок 3 – Цилиндрическая вставка моделей НС

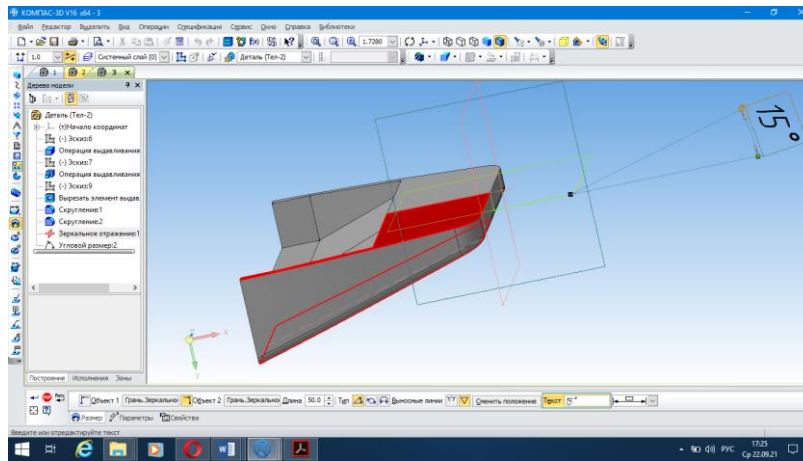


Рисунок 4 – Носовая часть с углом $\alpha = 15^{\circ}$ для модели прототипа №1

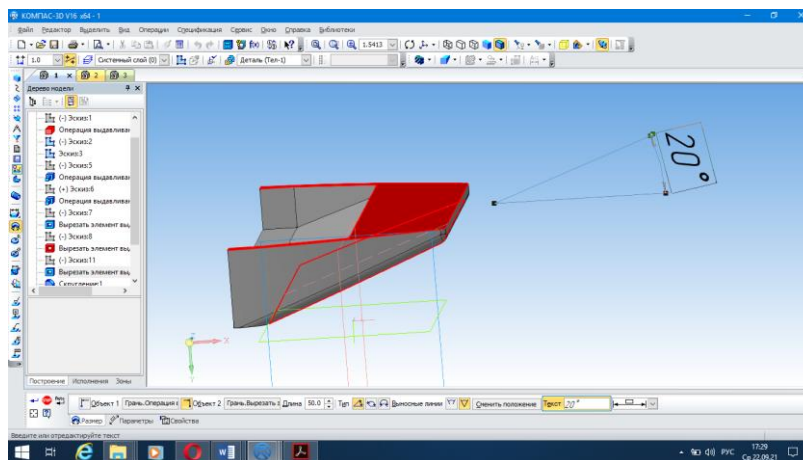


Рисунок 5 – Носовая часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ для модели прототипа №1

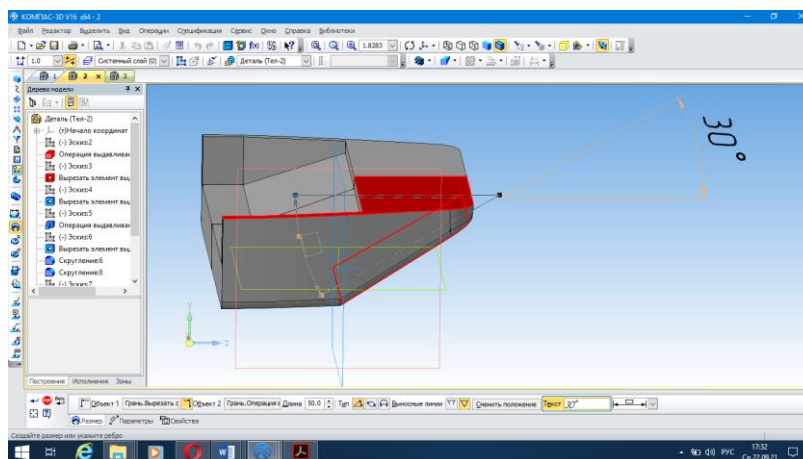


Рисунок 6 – Носовая часть с углом $\alpha = 30^{\circ}$ для модели прототипа №1

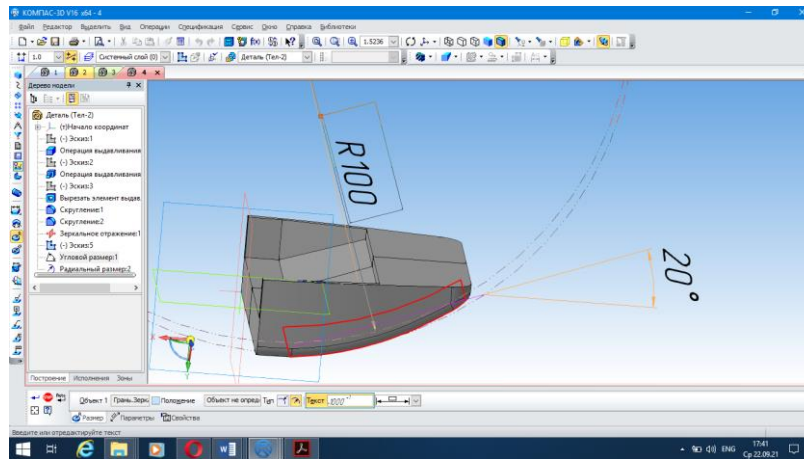


Рисунок 7 – Носовая ложкообразная часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ по хорде и криволинейной образующей $R = 100$ мм для модели НС

На рисунках 8–10 представлены 3D-модели кормовых частей. Для соединения основных элементов 3D-моделей использовали также съемные боковые планки, которые одновременно выполняли роль набора необходимой ширины несамходного судна и крепились с помощью саморезов (рисунок 11). На рисунке 11 представлен процесс сборки 3D-модели прототипа баржи грузоподъемностью 2300 т. На рисунке 12 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовыми частями баржи.

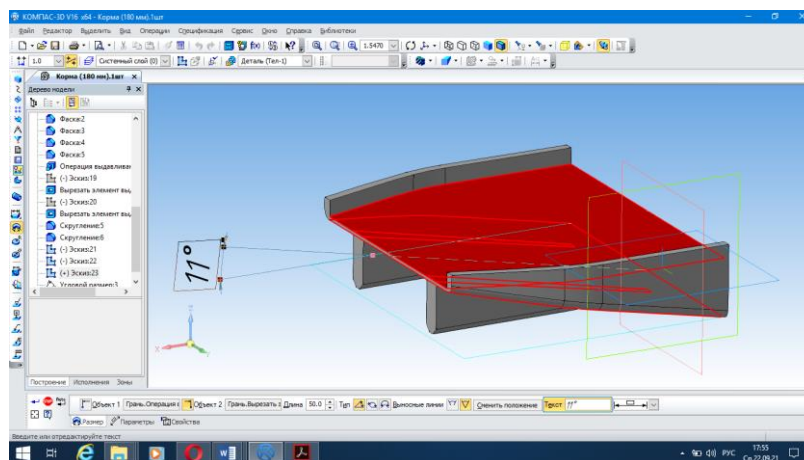


Рисунок 8 – Кормовая часть с углом $\beta = 11^{\circ}$ для модели НС

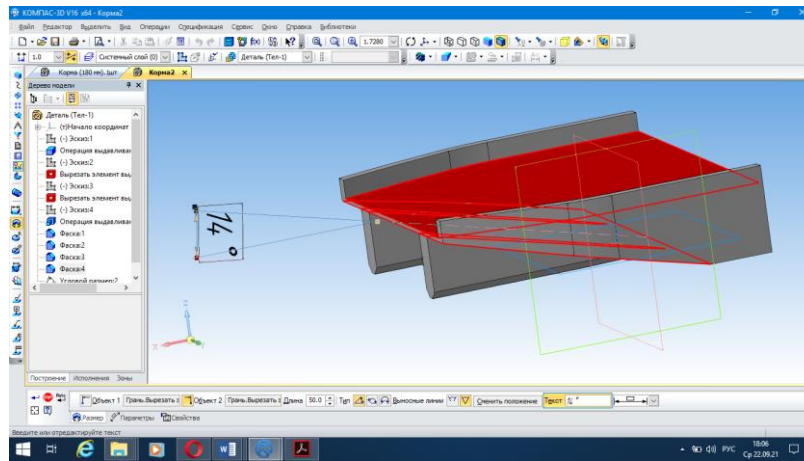


Рисунок 9 – Кормовая часть с углом $\beta = 14^{\circ}$ для модели НС

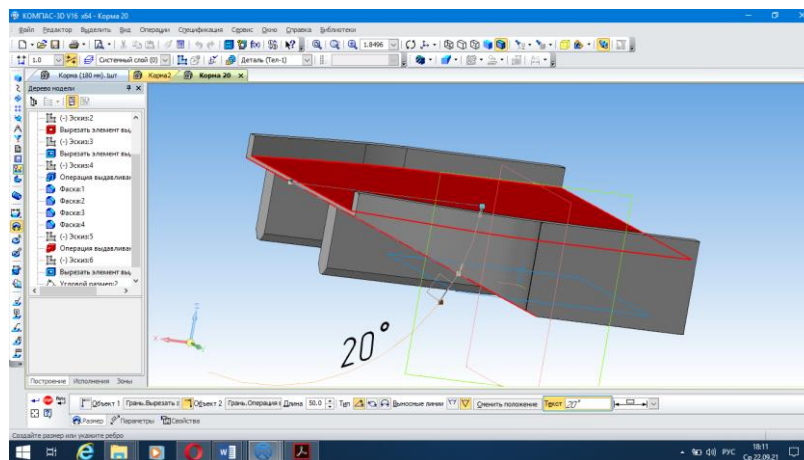


Рисунок 10 – Кормовая часть с углом $\beta = 20^{\circ}$ для модели НС

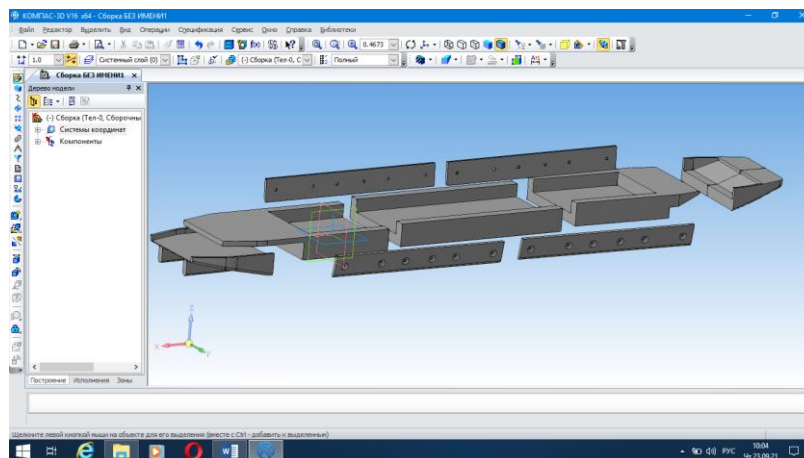


Рисунок 11 – Процесс сборки основных элементов, носовой и кормовой частей 3D-модели НС

На рисунке 12 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовыми частями прототипа №1. Подобные модели были созданы и для других прототипов.

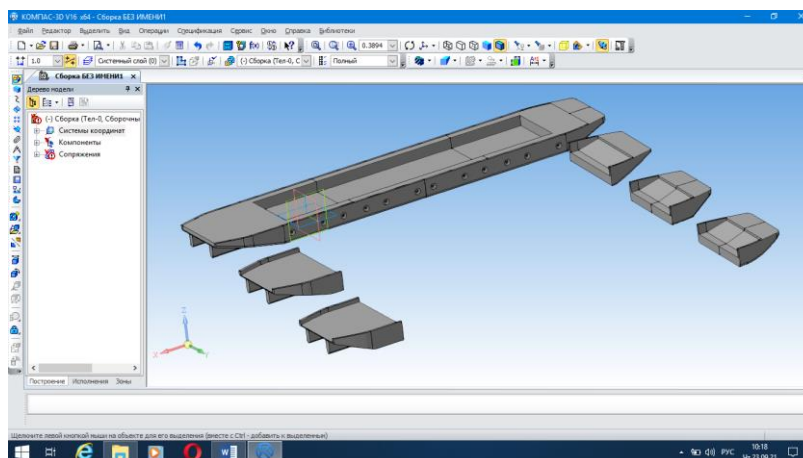


Рисунок 12 – Внешний вид 3D-модели в сборе и сменные части оконечностей (нос и корма)

Заключение

Все изготовленные модели были подвергнуты гидродинамическим испытаниям для установления оптимальных параметров обводов проектируемой баржи.

Проведенные лабораторные экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке 3D-моделей судов позволили определить их оптимальные главные размерения, а также оптимальные обводы носовой и кормовой оконечностей несамоходной баржи, при которых сопротивление движению будет минимальным.

УДК 62-757.73

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОПЕРАЦИЮ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

д.т.н., профессор И.В. Качанов¹, ст. преподаватель И.М. Шаталов¹,
В.С. Ковалевич², студенты группы 11006122 Кундир М., Плюсин В.

¹*Белорусский национальный технический университет*

²*ОАО «Белсудопроект»*

На основании проведенных экспериментальных исследований по разработке новых наукоемких, ресурсосберегающих технологий гидроабразивной обработки металлических поверхностей установлено, что

большими потенциальными возможностями обладает использование бентонитовой глины, полиакриламида, кальцинированной соды в качестве компонентов рабочей жидкости в технологии гидроабразивной обработки. Использование указанных компонентов в составе рабочей жидкости на основе воды способно привести к повышению производительности и созданию поверхностей с защитной антикоррозионной пленкой, служащей как для защиты обработанной металлической поверхности от процессов повторной коррозии в течение 1 года, так и для повышения производительности лазерной резки (ЛР).

В производственных условиях ОАО «Агат – электромеханический завод» на высокотехнологичном комплексе TRUMATIC (рисунок 1) были проведены экспериментальные исследования влияния гидроабразивной очистки металлических поверхностей на операцию лазерной резки.

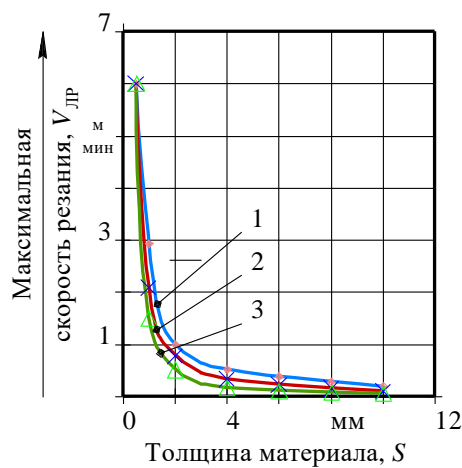


1 – задвижная крышка; 2 – панель управления; 3 – паллета; 4 – устройство подачи листов

Рисунок 1 – Внешний вид комплекса лазерной резки TRUMATIC L2530

Для оценки влияния параметров режимов ГАО на подготовку поверхности под лазерную резку были проведены производственные испытания по ЛР для трёх сравнительных групп стальных образцов:

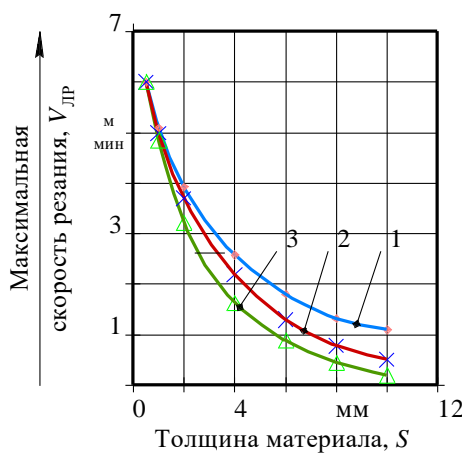
-первую группу составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм, толщиной $S = 0,5-10$ мм, параметрами качества поверхности: шероховатостью $Ra = 30-50$ мкм, микротвердостью $H_{\mu 0} = 1800-1900$ МПа и отсутствием очистки образцов от атмосферной коррозии. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 2;



1 – Ст3пс; 2 – Ст20; 3 – Ст45

Рисунок 2 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины листа (отсутствие очистки поверхности от продуктов коррозии)

- вторую группу для сравнительных испытаний составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм и толщиной $S = 1-10$ мм очищенные по заводской технологии (дробеструйная очистка) до параметра шероховатости $Ra = 0,2-0,4$ мкм с микротвердостью $H\mu = (1,3-1,4) H\mu_0$. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 3.



1 – Ст3пс; 2 – Ст20; 3 – Ст45

Рисунок 3 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины листа (дробеструйная обработка)

- третью группу составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм и толщиной $S = 0,5-10$ мм, очистка которых производилась по новой разработанной технологии с применением запатентованного состава (патент Республики Беларусь 13312 «Способ создания кавитирующей струи жидкости», автор – И.В. Качанов), содержащего в качестве основного компонента бентонитовую глину ($K_б = 2-3$ %), полиакриламид ($K_п = 10-5$ %), кальцинированную соду ($K_{к.с} = 2$ %), остальное вода. Давление рабочей жидкости на входе в конфузор $p_{вх} = 30$ МПа, диаметр

конфузора $d_k = 1$ мм, скорость струи $V_{стр} = 250$ м/с, расстояние до очищаемых образцов $L = 50$ мм. Обработка производилась до значений шероховатости $Ra = 0,2-0,4$ мкм и микротвердости $H\mu = (1,05-1,1)$ $H\mu_0$. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 4.

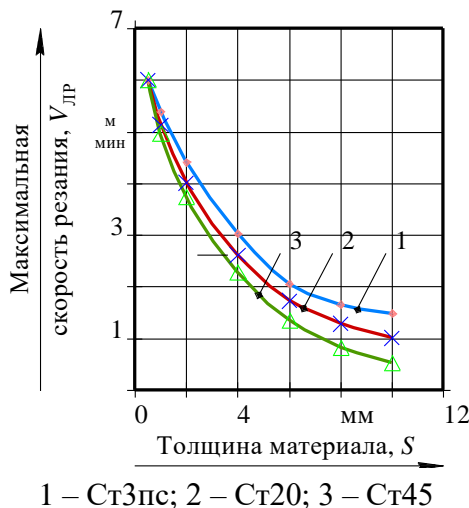


Рисунок 4 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала (образец, обработанный по технологии ГАО $Ra = 0,2 - 0,4$ мкм)

Кривые 1, 2, 3, приведенные на рисунках 2 – 4, получены для стальных заготовок (1 – Ст3пс; 2 – Ст20; 3 – Ст45) с толщиной листа в диапазоне значений 0,5–10 мм, при условии отсутствия грата на поверхности реза и при максимальной скорости лазерной резки. При этом для проведения испытаний использовались образцы с различным качеством поверхности по параметрам шероховатости (от $Ra = 30-50$ мкм до $Ra = 0,2-0,4$ мкм) и упрочнения (от $H\mu_0 = 1800-1900$ МПа до $H\mu = (1,3-1,4)$ $H\mu_0$ и $H\mu = (1,05-1,1)$ $H\mu_0$).

Из анализа проведенных испытаний, было установлено, что для исследованных групп образцов, например из стали Ст 45 с толщиной $S = 2$ мм отмечалось увеличение скорости лазерной резки с 0,4 м/мин (резка образцов первой группы, см. рисунок 2), до 4,0 м/мин (резка образцов третьей группы, см. рисунок 4). Отмеченные скорости были получены, как указывалось выше, из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза.

При равной скорости резки (4,5 м/мин) для образцов третьей группы (сталь Ст 45) грат отсутствует, в результате чего технологическая операция по зачистке грата нецелесообразна, а например, для первой группы образцов из этой же стали (рисунок 2) лазерная резка проходила с образованием грата длиной 2 мм.

При сопоставлении образцов второй и третьей группы по такому параметру как скорость лазерной резки видно, что применение ГАО с рабочей

жидкостью на основе бентонитовой глины для предварительной очистки поверхности обеспечивает, в конечном счете, повышение скорости ЛР в среднем на 10–20 %.

УДК 627.8-1

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗОН ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СУДОХОДНЫХ РЕКАХ БЕЛАРУСИ

Афанасьев А.П., Шаталов И.М., Щербакова М.К.,

Калиновский И.В., Максимович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Введение

В Республике Беларусь на больших и средних водотоках постоянно проводятся дноуглубительные работы с целью организации бесперебойного движения водного транспорта и работы по добыче сыпучих строительных материалов. Вышеуказанные работы связаны с постоянной эксплуатацией землесосных снарядов. При их работе происходит интенсивное взвешивание частиц грунта, слагающих русло водотока. Далее взвешенные частицы переносятся потоком воды вниз по течению водотока, оказывая вредное воздействие на объекты животного мира и среду их обитания. За гибель ихтиофауны, снижение ее численности и продуктивности при утрате или нарушении среды обитания, вследствие проведения дноуглубительных работ на водных объектах, предусмотрены компенсационные выплаты в соответствии с «Положением о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении».

Основная часть

С этой целью был выполнен анализ современной научно-технической литературы по вопросам транспортирующей способности взвесенесущих потоков и разработаны на ГЭС ВТГ БНТУ три методики расчета расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на водотоках Республики Беларусь. Все три методики могут использоваться в инженерных расчетах размеров зон вредного воздействия. Причём выбор той или иной методики зависит от вида водотока и его основных геометрических и гидродинамических параметров, наличия достоверных исходных данных, гранулометрического состава взвеси, климатических факторов и т.д.

Для поддержания необходимых судоходных глубин на внутренних водных путях ежегодно выполняется большой объем дноуглубительных работ,

в процессе которых оказывается воздействие на окружающую среду (ОС). В дельтах рек по сравнению вышерасположенными участками гидрологический режим, русловые процессы, а также условия миграции и концентрации загрязняющих веществ существенно отличаются. Если на вышерасположенных участках рек преобладают повышенные скорости течения, песчаные осадки, вынос мелких фракций взвесей и загрязняющих веществ, то в дельтах за счет снижения скорости течения происходит осаждение мелких фракций взвесей, образование илистых осадков и аккумуляция в них загрязнений. Процессы трансформации гидрологического режима и русловых процессов под влиянием дноуглубительных работ в руслах свободных рек хорошо изучены [1-2], а углубление русла в песчаных осадках не вызывает существенного загрязнения водного объекта. В дельтах рек при углублении русла, сложенного илистыми осадками, наряду с переформированием гидрологического режима и русловых процессов существенное значение приобретает загрязнение практически всех компонентов водного объекта: воды, взвеси, донных отложений, гидробионтов. Поэтому при выполнении дноуглубительных работ в дельтах судоходных рек актуальными являются комплексная оценка современной экологической ситуации, выявление основных факторов воздействия на ОС и оценка их влияния на водные объекты, определение экологически допустимых параметров углубления и расширения русел рек [3].

Общеизвестно, что взвешенные частицы образуются как естественным путем – в весенний период и при дождевых паводках, так и от разнообразных антропогенных факторов – при строительстве мостов, прокладке нефте- и газопроводов, забивке свай, устройстве дамб, проведении дноуглубительных работ. Во всех случаях образуются зоны повышенной мутности как кратковременные, так и длительнопериодичные, иногда постоянные. При этом взвеси различаются по концентрации, структуре взвешенных частиц, длительности осаждения и степени негативного влияния на живые организмы, хотя общий характер их воздействий однотипен [4].

Было произведено исследование пространственно-трехмерной модели транспорта и осаждения взвеси в прибрежной зоне с учетом изменения рельефа дна. Модель учитывает следующие процессы: адвективный перенос, обусловленный движением водной среды, микротурбулентную диффузию и гравитационное осаждение частиц взвеси, а также изменение геометрии дна, вызванное осаждением частиц взвеси или подъемом частиц донных отложений. Данная модель может представлять ценность при прогнозе распространения загрязнений и изменения рельефа дна, как при антропогенном воздействии, так и в силу естественно протекающих природных процессов в прибрежной зоне [1-2].

В последнее время зачастую предлагается применение численных моделей для оценки изменений гидродинамики, транспорта и морфологии донных отложений и связанных с ними внутриводных сред обитания в различных масштабах. Например, численные гидродинамические модели могут применяться в качестве инструментов для оценки, разработки сценариев и

определения среднесрочных и долгосрочных последствий дноуглубительных работ и осаждения материалов. На основе результатов предлагаемой стратегии мониторинга и моделирования можно оценить осуществление и экологические последствия дноуглубительных работ и последующего сброса, а также определить параметры, позволяющие оценить временную и пространственную изменчивость процессов в рамках экологически ориентированной концепции комплексного управления дноуглубительными работами во внутренних портах и связанными с ними сбросами наносов в крупных реках [5-7].

Методика №1 является основной расчетной методикой и была разработана на основе теории турбулентного массопереноса и турбулентной диффузии [8]. Преимущество методики №1 заключается в том, что она учитывает основные геометрические и гидродинамические параметры самого русла водотока (его геометрические размеры, относительную шероховатость дна и стенок русла, скорость движения потока воды, среднюю глубину воды, гранулометрический состав взвеси и ее гидравлическую крупность и т. д.). В случае невозможности применения в инженерных расчетах методики №1 следует обратиться к методикам №2 и №3.

Методика № 2 была разработана на основе эмпирической теории движения наносов [9] и позволяет определить расстояние, на котором произвольно взятая частица падает на дно, если известна ее гидравлическая крупность и мутность по глубине потока.

Эта методика дает, как правило, ориентировочные и зачастую существенно завышенные значения расстояний выпадения на дно взвешенных частиц, так как она не учитывает основные геометрические и гидродинамические параметры самого русла, которое существенно стесняет поток и меняет гидродинамику взвесенесущей среды. Эту методику необходимо использовать лишь при невозможности использования методики №1 и при отсутствии достоверных данных или наличии ограниченных данных по водотоку в месте проведения дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта.

Методика № 3 была разработана на основе теории расчета гравитационных отстойников с использованием осреднённых параметров взвесенесущих потоков [10] и проста в использовании, но дает приблизительные значения расстояний выпадения взвешенных частиц, которые, в принципе, хорошо коррелируют с данными расчета по основной методике №1. Эта методика может быть использована в качестве основной для расчетов размеров зон вредного влияния, в случае невозможности использования методики №1.

Ниже приведены некоторые результаты расчетов по определению расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при работе землесосного снаряда на реке Сож Республики Беларусь, а также зон вредного влияния землесосного снаряда, разработанные для ОАО «Белсудопроект».

Схемы зон вредного воздействия и результатов расчетов приведены на рисунках 1-6.

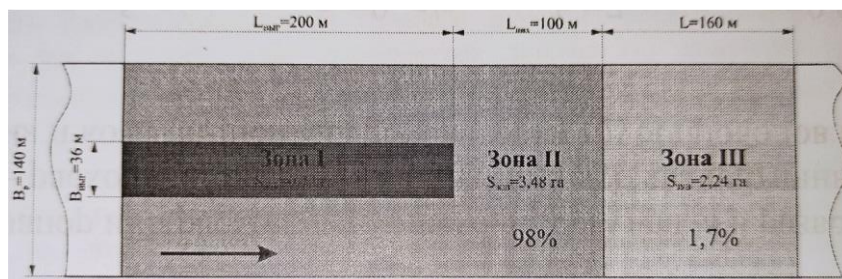


Рисунок 1 – Зоны вредного воздействия на перекате «Никольский – 3» прорезь №1

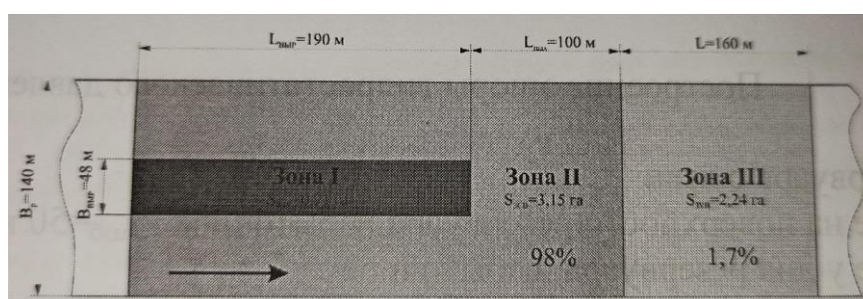


Рисунок 2 – Зоны вредного воздействия на перекате «Никольский – 3» прорезь №2

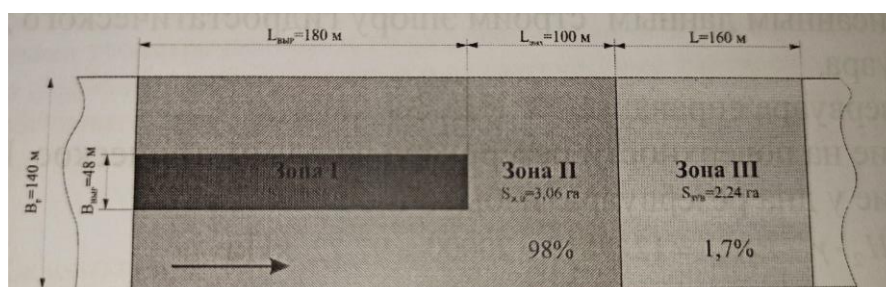


Рисунок 3 – Зоны вредного воздействия на перекате «Никольский – 3» прорезь №3

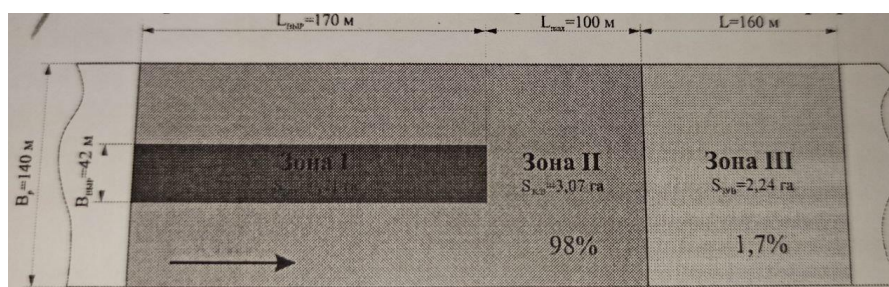


Рисунок 4 – Зоны вредного воздействия на перекате «Скиток – 1» прорезь №1

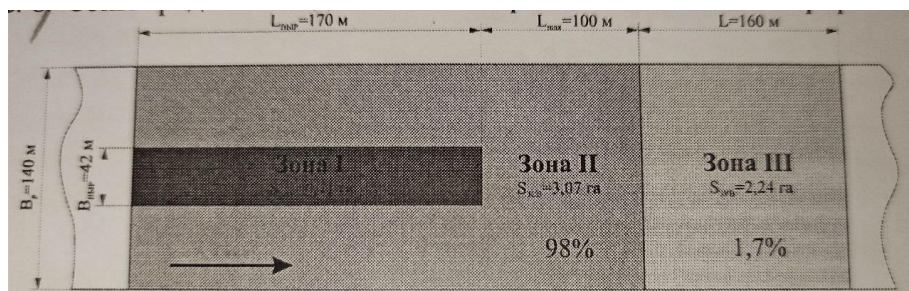


Рисунок 5 – Зоны вредного воздействия на перекате «Скиток – 1» прорезь №2

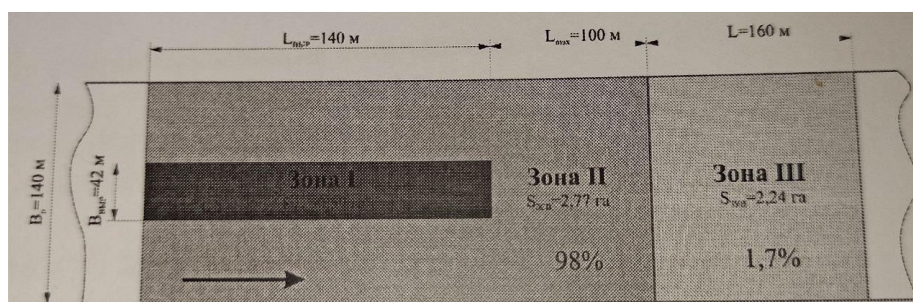


Рисунок 6 – Зоны вредного воздействия на перекате «Скиток – 1» прорезь №3

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: методика №1, разработанная на основе теории турбулентного массопереноса и турбулентной диффузии, позволяет с достаточной точностью определить графоаналитическим методом искомые расстояния и размеры зон вредного воздействия. Однако эта методика дает достоверные данные по значениям расстояний выпадения взвешенных частиц лишь при относительной гидравлической крупности в пределах $w_r = 0,1 \div 5$.

Методика №2, разработанная на основе эмпирической теории движения наносов, учитывает основные параметры взвешивающего паточка такие, как мутность потока по его глубине, средняя скорость движения взвесенесущего потока, размеры и количество наносов и т.д. Главным недостатком данной методики является то, что она не учитывает влияние самого русла (его геометрических и гидродинамических характеристик) на взвесенесущий поток и дает значительное завышение расстояний выпадения на дно взвешенных частиц.

Методика №3, разработанная на основе теории расчета гравитационных отстойников, дает возможность разработать сокращенную методику определения расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта. Следует отметить, что все три разработанных методики могут быть использованы при расчете размеров зон вредного воздействия. Основной методикой является методика №1. В случае невозможности ее применения используется методика №3. Для предварительной оценки зон вредного воздействия можно использовать методику №2. Очередность использования методик должна быть обязательно

согласована с типом водотока, его основными геометрическими и гидродинамическими параметрами, с гранулометрическим составом взвеси и его гидравлической крупностью и климатическими факторами.

Расчетные методики были использованы при определении расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ на реках Березина и Сож, Днепр и Неман.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сухинов А.И., Сидорякина В.В. Построение и исследование корректности математической модели транспорта и осаждения взвесей с учетом измерения рельефа дна // Вестник Донского государственного технического университета. – 2018. – Т. 18. – №. 4.
2. Лещев А.В. Влияние судоходного канала порта архангельск на перенос взвешенных веществ в зоне смещения «река–море» устья реки Северной Двины // Проблемы региональной экологии. – 2018. – №. 2.
3. Хорванский А.Д., Латун В.В., Хорошев О.А., Денисов В.И. Оценка воздействия на окружающую среду углубления и расширения судоходных каналов в дельтах рек // Естественные науки. – 2018. – №. 1.
4. Зиновьев Е.А., Китаев А.Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Полезные ископаемые – 2015. – Т. 17. – №. 5.
5. Haimann M. et al. Monitoting and modelling concept for ecological optimized harbor dredging and fine sediment disposal in large rivers // Hydrobiologia. – 2018. – Т. 814. – №. 1. – С. 89-107.
6. Vogt C., Peck E., Hartman G. Dredging for Navigation, for Environmental Cleanup, and for Sand/Aggregates // Handbook on Marine Environment Protection. – Springer, Cham, 2018. – С.189-213.

УДК: 532.543

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ВОЛНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО СУХОМУ РУСЛУ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ПРИ ПРИЗМАТИЧЕСКОМ ПРОРЫВЕ ПЛОТИНЫ

Стриганова М.Ю., Шаталов И.М., Щербакова М.К.,

Максимович А.В., Калиновский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Введение

Причинами разрушения грунтовых плотин являются – сейсмические воздействия; фильтрация воды через тело плотины, перелив воды через гребень плотины; аварийное её состояние; неэффективная работа дренажа 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 (10–20 м/км) значительно превышает уклон равнинных русел (1 м/км). Высокогорный рельеф при разрушении плотин способствует возникновению бурного потока, движущегося с большой скоростью и сносящего все на своем пути. Опасность появляющейся при этом волны перемещения обусловлена и тем, что она захватывает грунт, составлявший тело размывтой 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 и увеличивается в конечном створе. Для определения основных параметров такого потока были проведены лабораторные исследования в гидродинамическом лотке кафедры ГЭС ВТГ БНТУ.

Основная часть

Лабораторный метод исследования на моделях используется достаточно давно при проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений. Конечная цель данного эксперимента при переносе его результатов на натуральный объект (высокогорную грунтовую плотину) – оценка возможных последствий, обусловленных распространением волны перемещения, которая возникает при разрушении этого объекта.

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.

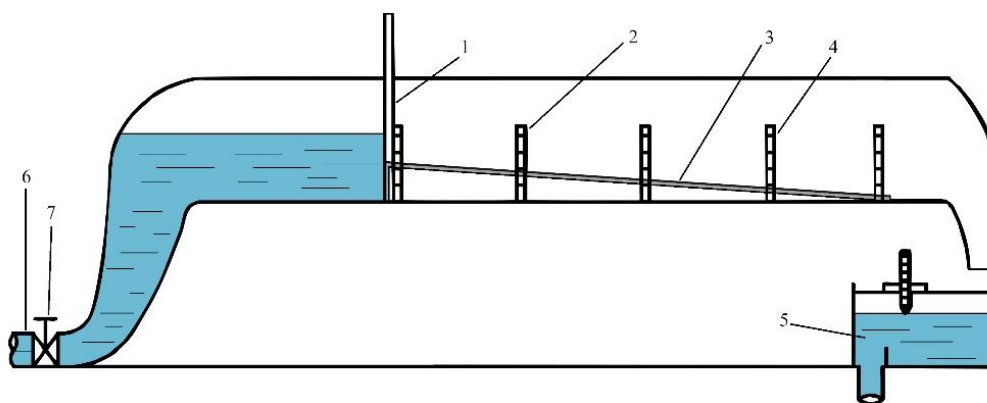
Динамическое подобие выражается через число Фруда, Fr :

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

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

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

Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямооточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рисунок 2). Поток снимали неподвижной камерой.



1 – подвижный затвор; 2 – уровенные рейки (мерные линейки); 3 – модель сухого русла; 4 – гидравлический лоток; 5 – металлический лоток с водосливом Томсона; 6 – питающая труба; 7 – задвижка

Рисунок 2 – Схема экспериментального лабораторного стенда

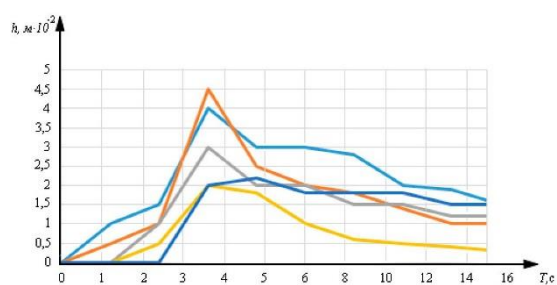
Вода в гидравлический лоток 4 подавалась из водооборотного бассейна насосом по питающей трубе 6. Уровень воды (напор) в лотке регулировался

затвором 7. Вода, поступающая в лоток, накапливалась перед подвижным затвором 1. Установленный уровень соответствовал нормальному подпорному уровню (НПУ) водохранилища перед плотиной. Затвор 1 имел возможность перемещения в вертикальной плоскости, что позволило смоделировать аварию на гидротехническом сооружении с образованием волны перемещения. Из гидравлического лотка вода сбрасывалась в водоприемный лоток 5, в котором был установлен измерительный водослив Томсона для определения расхода воды [2]. Далее вода снова поступала в водооборотный бассейн.

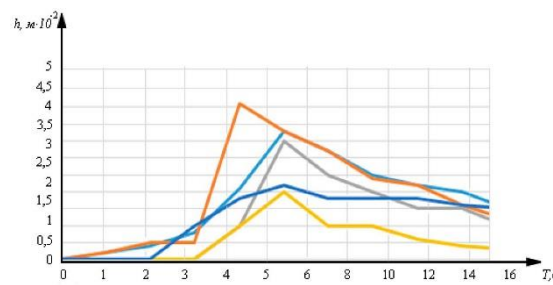
На дно лотка, под нижней гранью затвора 1, была установлена модель сухого русла в масштабе 1:1000, расположенного в нижнем бьефе имитационной модели гидротехнического сооружения. Лоток по длине модели сухого русла был разделен на участки мерными линейками (уровенные рейки) 2 для измерения глубины движущегося потока. Места установки уровенных реек считались измерительными створами. Первый створ располагался в месте расположения затвора 1. По результатам видеосъемки определялись визуальные показания на уровенных рейках и фиксировалось перемещение потока воды (т.е. волны перемещения) в створах до и после поднятия затвора 1.

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.

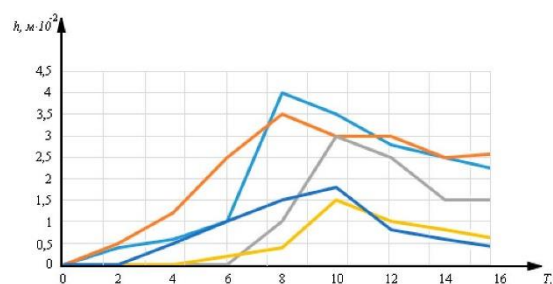
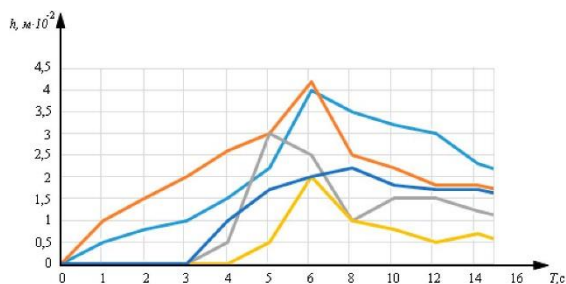
Всего было определено шесть серий экспериментов с пятикратным повторением каждой серии. Далее была проведена обработка результатов измерений и наблюдений, для того чтобы в дальнейшем провести сопоставление с результатами теоретических расчетов и уточнить количественные значения полученных параметров. 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 3).



а – открытие затвора 2 с



б – открытие затвора 4 с



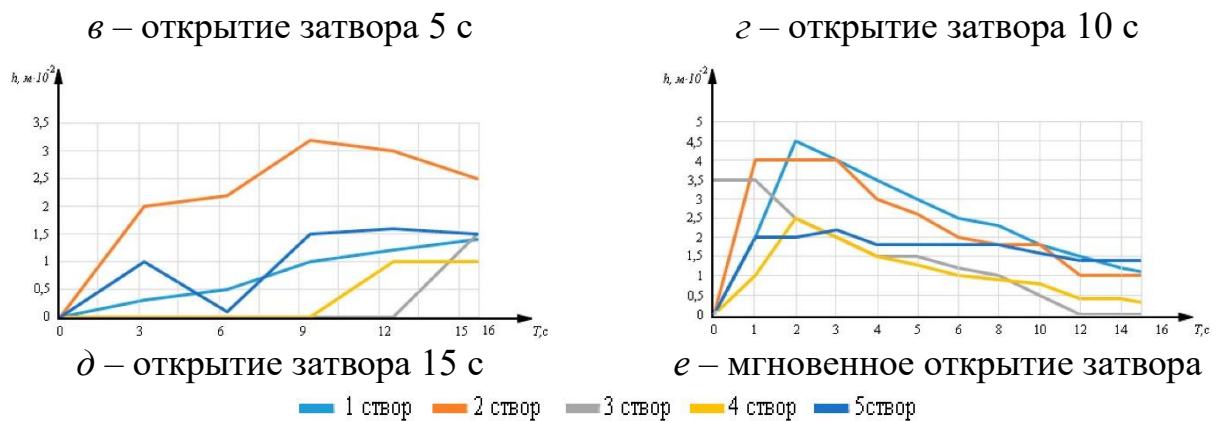


Рисунок 3 – График изменения глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

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 3 $a-d$). Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины h и увеличением средней скорости v потока (рисунок 4). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения, о которой упоминалось в ранее опубликованных работах [3; 4]. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора I (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока (рисунок 3 $e, б$).



Рисунок 4 – 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 5), у которой глубина увеличивается, что в природных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.



Рисунок 5 – Общий вид обратной волны

Заключение

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 [3; 4] 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.

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. Бонч-Осмоловская, Н.Е. Механика жидкости и газа. Лабораторный практикум: учеб. пособие / Н.Е. Бонч-Осмоловская [и др.]; под ред. И.В. Качанова и В.Н. Юхновца. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: БНТУ, 2007. – 295 с.
3. 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.

4. 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: ВВННОВ.

УДК 621.1.016:536.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ БАРЖЕ- БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ НА ВОДОТОКАХ БЕЛАРУСИ

*профессор, д т. н И.В. Качанов, доцент, к. т. н В.А. Ключников научный
сотрудник НИЛ ОМД С.А. Ленкевич., студент Климович В.А., студент Махнач Н.А.
Белорусский национальный технический университет*

Введение

Один из основных принципов рациональной эксплуатации составов судов состоит в наиболее эффективном использовании режимов движения в различных условиях плавания, что становится возможным лишь в том случае, если достаточно точно известны силы сопротивления среды движению судов при определенных условиях [1–3].

Сопротивление состава судов можно определить как по аналитическим выражениям, так и с помощью натуральных и модельных испытаний. Наиболее полную и достоверную картину можно получить с помощью модельных испытаний в опытовых бассейнах или гидродинамических лотках.

Кроме того, развитие техники на данном этапе позволяет изготавливать модели с высокой точностью относительно теоретического чертежа благодаря применению 3D печати.

Гидродинамическое взаимодействие судов в составе оказывает существенное влияние на обтекание каждого судна в зависимости от места расположения его в составе, а также от формы и размеров последнего.

Основная часть

При выполнении научно-технического договора между кафедрой «ГЭСВТГ» БНТУ и ОАО «Белсудопроект» были проведены оценочные расчеты силы сопротивления движению барже-буксирных составов (буксир-толкач проекта 570 и баржа 775). Основные результаты расчета представлена в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Основные результаты расчёта силы сопротивления движению барже-буксирного состава в режиме буксировки

№ п/п	Наименование параметра	Численные значения параметра						
1	Скорость судна, км/ч	5,44	5,99	6,53	7,62	8,71	9,80	11,97

2	Полное сопротивление состава при буксировке, X, кН	18	22	26	36	47	62	105
---	--	----	----	----	----	----	----	-----

Таблица 2 – Основные результаты расчёта силы сопротивления движению барже-буксирного состава в режиме толкания

№ п/п	Наименование параметра	Численные значения параметра						
1	Скорость судна, км/ч	5,44	5,99	6,53	7,62	8,71	9,80	11,97
2	Полное сопротивление состава при буксировке, X, кН	13	16	19	25	33	44	79

Для анализа полученных результатов был построен сводный график (рисунок 1).

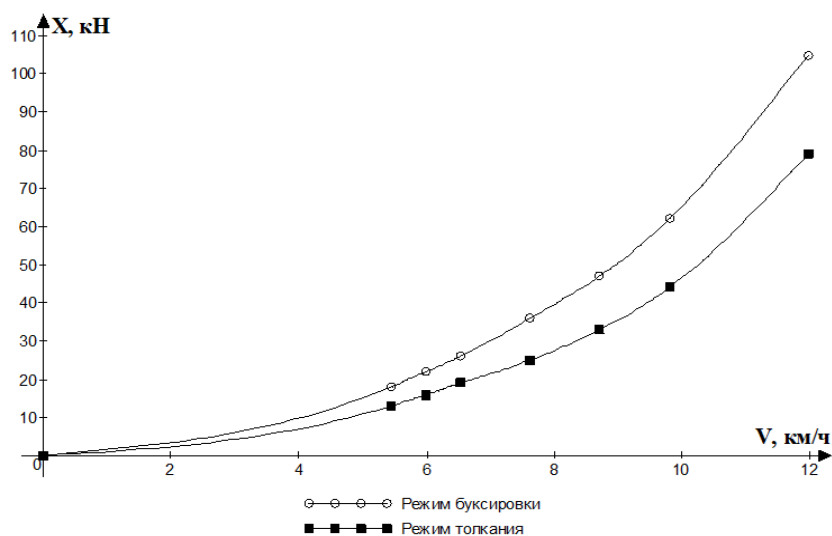


Рисунок 1 – График изменения силы сопротивления движению состава судов в режиме толкания и буксировки в зависимости от скорости движения состава

Из анализа графиков следует, что при эксплуатационной скорости барже-буксирного состава 8 км/час сила сопротивления движению в режиме буксировки на 36% больше чем в режиме толкания.

Далее были проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке при обращенном движении 3D-моделей барже-буксирных составов (буксир-толкач проекта 570 и баржа 775) (рисунок 2), которые эксплуатируются на водных путях РБ, в режиме буксировки и толкания.

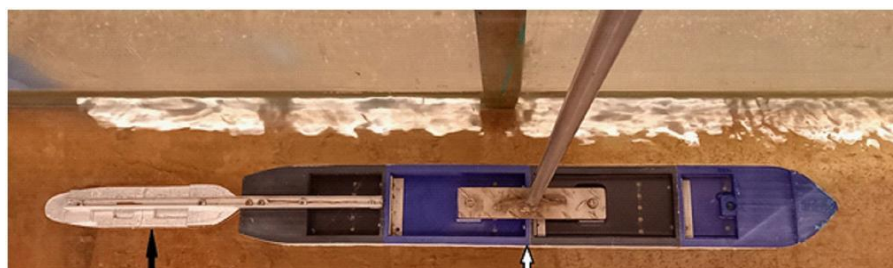


Рисунок 2 – Вид сверху 3D-модели состава судов из баржи проекта №775 и буксира-толкача проекта №570

Для сравнительного анализа были взяты значения силы сопротивления движению (X, H), полученные для режима буксировки при расстоянии между 3D-моделями баржи и буксира $L = 0,38$ м. Такое расстояние между моделями геометрически подобно реальной длине гака.

На рисунке 3 представлены графические зависимости изменения экспериментальной силы сопротивления (X, H) движению 3D-моделей состава в режимах буксировки и толкания в зависимости от средней скорости ($v, м/с$) воды в гидродинамическом лотке.

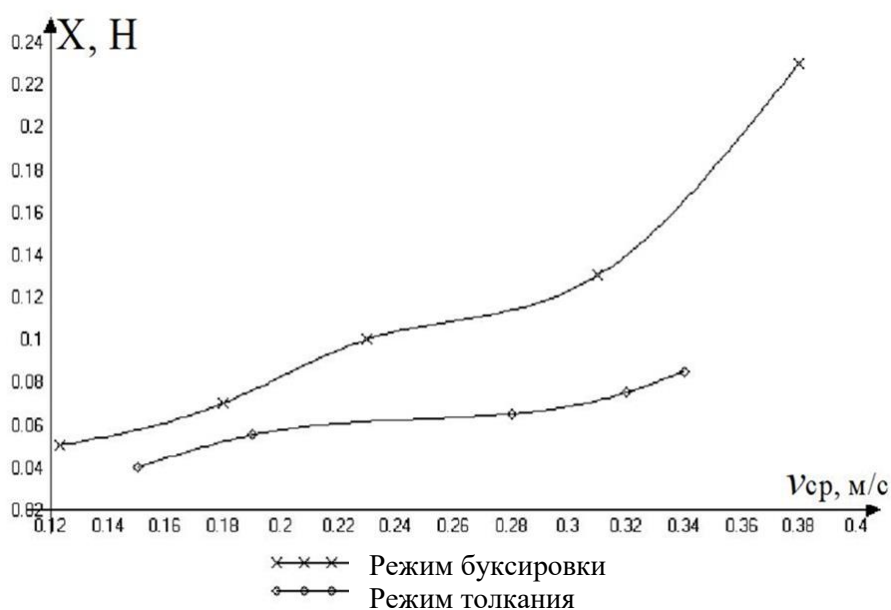


Рисунок 3 – Зависимость силы сопротивления (X, H) движению модели состава в режимах буксировки и толкания от средней скорости потока ($v, м/с$) в режиме обращенного движения

Анализ графиков показывает, что при скорости потока воды $v = 0,18$ м/с, сила сопротивления движению X моделей состава в режиме буксировки на 40% больше, чем при режиме толкания. С ростом скорости эта разница возрастает и при скорости $v = 0,28$ м/с сила сопротивления движению при буксировке, почти в два раза больше, чем при режиме толкания. Скорость $v = 0,18$ м/с обращенного движения соответствует эксплуатационной скорости барже-буксирного состава (порядка 7–8 км/ч). Сравнение результатов расчета (36%) и эксперимента (40%) показывает их достаточно хорошую сходимость (корреляцию).

Также исследовалась сила сопротивления X движению 3D-моделей модернизированных составов судов (барже буксирных составов) на основе оптимизации обводов носовой части и изменения отношения L/B корпуса баржи в режимах толкания и буксировки в гидродинамическом лотке.

На рисунке 4 представлен сравнительный график изменения экспериментальной силы сопротивления движению (X , Н) моделей составов прототипа (буксир пр. 570+баржа пр.775) и состава из буксира пр. 570 и модернизированной носовой части баржи пр. 775 с соотношением $L/B = 7,3$ в режимах толкания и буксировки.

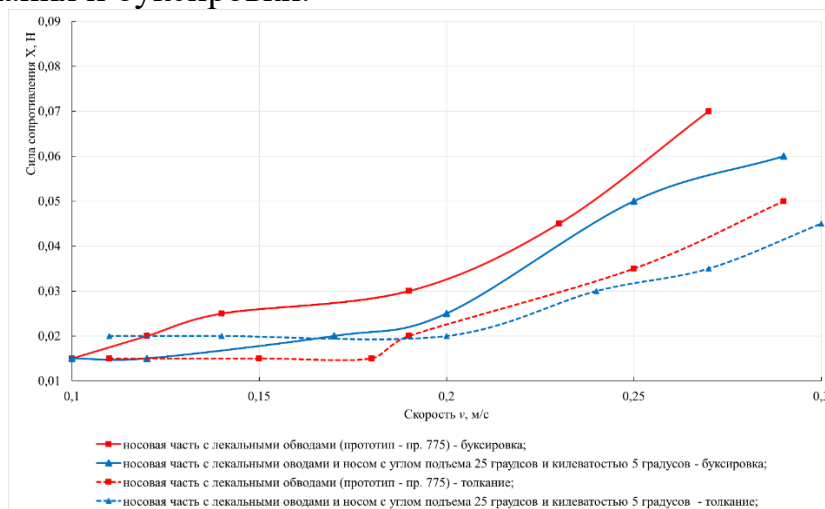


Рисунок 4 – График изменения силы сопротивления движению моделей состава судов в режимах толкания и буксировки при $L/B = 7,3$

Из рисунка 4 видно, что при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее порядка на 40% в сравнении с буксировкой для обоих составов.

На рисунке 5 представлен сравнительный график для составов с измененным соотношением $L/B = 5,43$ корпуса баржи и различными обводами носовой части в режимах толкания и буксировки.

Из рисунка 5 видно, что при малых скоростях (0,16–0,22 м/с) лекальные обводы повышают эффективность движения состава даже при режиме буксировки. Однако при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее для всех типов обводов, а при режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает.

Рассматривая зависимости на рисунке 5 следует учитывать, что в режиме толкания реальный состав будет двигаться в большей степени с повышенными скоростями и видимое на графиках преимущество буксировки при малых скоростях движения не актуально при выполнении реального рейса барже-буксирного состава.

Так, в зависимости от типа обводов режим толкания показывает в среднем на 25–30% снижение сопротивления движению состава с баржей с соотношением $L/B = 5,43$ в сравнении с ее буксировкой.

Также проводились исследования симметричной формы обводов корпуса баржи (плоский нос с углом подъема 22°), в режимах толкания и буксировки в зависимости от средней скорости (v , м/с) набегающего потока в режиме обращенного движения (рисунок 6). Данный тип обводов рассматривался с точки зрения эффективности реверсивного движения баржи.

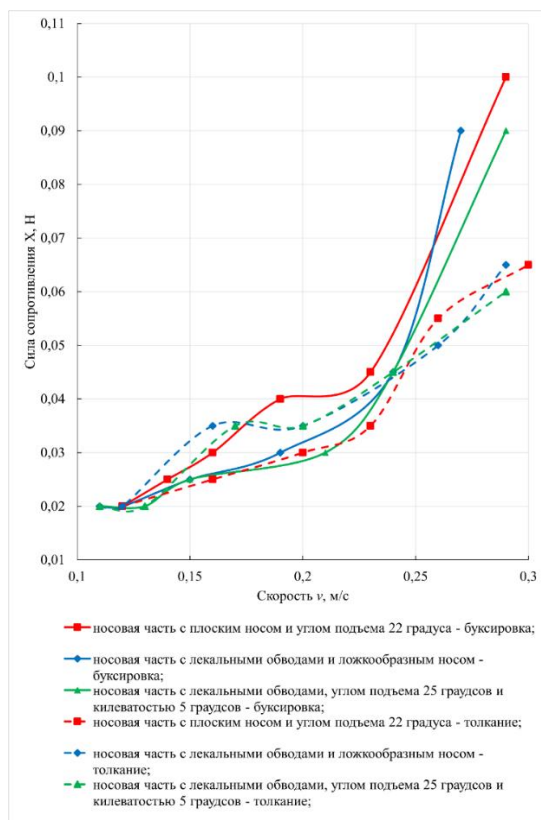


Рисунок 5 – График изменения силы сопротивления движению моделей состава судов в режимах буксировки и толкания при $L/B = 5,43$

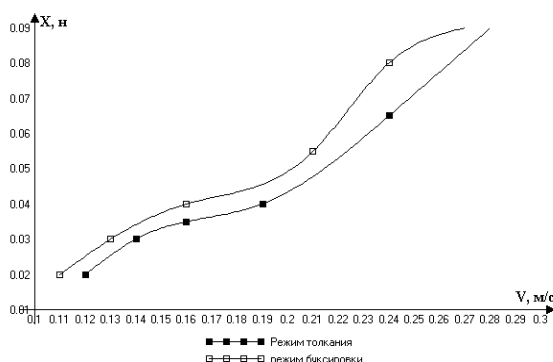


Рисунок 6 – График изменения силы сопротивления (X , Н) движению 3D-моделей состава, для симметричной формы обводов корпуса баржи, в режимах толкания и буксировки в зависимости от средней скорости набегающего потока (v , м/с) в режиме обращенного движения

Анализ графиков (рисунок 6) показывает, что сила сопротивления движению у модели с симметричными обводами корпуса баржи в режиме толкания меньше, чем в режиме буксировки. Однако значения сопротивления движению значительно выше в сравнении с другими типами обводов и для рекомендации симметричных обводов требуются дополнительные исследования с другими типами обводов.

Заключение

Из вышеперечисленного следует, что наличие толкача за составом улучшает обтекание кормовой оконечности концевого (последнего в составе)

судна и тем самым снижает коэффициент счала, т.е. при прочих равных условиях коэффициент счала толкаемых составов всегда меньше, чем буксируемых. Поэтому для толкания состава требуется меньшая мощность, чем для его буксировки на тросе.

Толкаемые составы имеют меньшее сопротивление воды движению, по сравнению с буксируемыми, вследствие отсутствия влияния потока, отбрасываемого движителем, и рыскливости состава относительно толкача, а также из-за того, что толкач находится в зоне попутного потока от состава.

Из анализа полученных графиков следует, что при скорости потока воды $v = 0,22-0,27$ м/с (эксплуатационная скорость прототипа 8–10 км/час), сила сопротивления движению моделей состава в режиме буксировки на 40 % больше, чем при режиме толкания.

Следует отметить, что исследования, проведенные Нижегородским институтом инженеров водного транспорта, показали, что метод толкания по сравнению с обычной буксировкой судов на тросе дает увеличение скорости буксировки на 8–15%, увеличивает упорную силу толкача по сравнению с силой тяги на гаке на 12–29%, буксировочный к.п.д. возрастает на 20–51%, себестоимость перевозки снижается на 10–34%. При толкании судов улучшаются надежность управления и маневровые качества караванов [4].

Выводы, сделанные нижегородским институтом инженеров водного транспорта, полностью коррелируют с данными, полученными кафедрой «ГЭСВТГ» БНТУ при выполнении договора № 2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ваганов, Г.И. Тяга судов (Методика и примеры выполнения судовых тяговых расчетов). Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Ваганов, В.Ф. Воронин, В.К. Шанчурова. – М.: Транспорт, 1986. – 199 с.
2. Войкутинский, Я.И. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители/Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с., ил.
3. Басин, А.М. Гидродинамика судна / А.М. Басин, В.Н. Анфимов. – Л.: Речной транспорт, 1961. – 684 с.
4. Ермолаев, Г.Г. Морское судовождение / Г.Г. Ермолаев [и др.]; под ред. Г.Г. Ермолаева. – 3-е изд. – Москва: издательство «Транспорт», 1970. – 265 с.

ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ОБВОДОВ БАРЖИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ СОСТАВА СУДОВ НА ОСНОВЕ БУКСИРА-ТОЛКАЧА ПРОЕКТА 570 И БАРЖИ ПРОЕКТА 775

*профессор, д т. н И.В. Качанов, доцент, к. т. н В.А. Ключников научный
сотрудник НИЛ ОМД С.А. Ленкевич,, студент Климович В.А., студент Махнач Н.А.
Белорусский национальный технический университет*

Введение

В настоящее время на водных путях в Республике Беларусь достаточно интенсивно эксплуатируются барже-буксирные составы в режиме толкания и буксировки. Эксплуатируемые составы, как правило, включают в себя буксир проекта 570 и баржу проекта 775. Рациональное и эффективное использование подобных составов судов является весьма актуальной задачей для предприятия речного транспорта Республики Беларусь. Решение этой задачи в свою очередь тесно связано со снижением сопротивления движению составов во время их эксплуатации на белорусских водотоках (Днепр, Зап.Двина, Неман, Сож, Припять, Березина, Днепро-Бугский водный путь и т.д.).

С этой целью был проведен достаточно детальный анализ влияния форм и обводов баржи на сопротивления движению баржи-буксирного состава в целом и даны рекомендации по модернизации состава на примере выбора оптимальной формы обводов баржи проекта 775 и соотношения основных размерений баржи проекта 775.

Особенности судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания обусловлены экономическими требованиями и специфическими условиями эксплуатации. Их размерения жестко ограничиваются глубиной фарватера, габаритами шлюзов и извилистостью судового хода внутренних водных путей.

Поэтому изложенные ниже данные о влиянии геометрических элементов судна на величину сопротивления воды следует рассматривать как общие указания, надлежащее выполнение которых позволяет принять за основу определенный тип обводов корпуса, оптимальный с точки зрения ходовых качеств судна. Выбранные таким образом обводы корпуса проектируемого судна путем сравнительно небольших изменений можно привести в соответствие с другими требованиями, предъявляемыми к судну.

Основная часть

Так как баржи относятся к тихоходным судам, то введение цилиндрической вставки позволяет упростить технологический процесс корпусных работ, снизить стоимость постройки судна и придать более удобную конфигурацию грузовым трюмам, а также несколько заострить оконечности судна при неизменном значении коэффициента продольной полноты. Последнее обстоятельство может привести к более благоприятной

интерференции поперечных волн носовой и кормовой групп и к снижению волнового сопротивления тихоходных судов с полными обводами корпуса.

На величину сопротивления воды влияет форма носовой и кормовой ветвей строевой по шпангоутам, определяющая в известной мере характер обводов корпуса судна в оконечностях. Наибольшее сопротивление возникает при использовании клинообразных обводов в оконечностях. Наименьшая величина сопротивления воды движению несамходных судов при различных условиях плавания получается в случае применения носовых обводов ложкообразной формы и кормовых обводов типа «плоская ложка». Санеобразная форма оконечностей занимает промежуточное положение.

Для тихоходных судов с полными обводами корпуса рекомендуется применять строевые по шпангоутам, имеющие выпуклую или прямую носовую ветвь, а кормовая ветвь должна иметь вид прямой линии [1].

Выбор формы носовой ветви грузовой ватерлинии должен производиться в зависимости от относительной скорости судна, определяющей характер распределения наибольших гидродинамических давлений в районе расположения первого гребня носовой группы волн, а следовательно, и величину волнового сопротивления.

Результаты экспериментальных исследований в гидродинамическом лотке кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ показывают, что при сравнительно малых относительных скоростях движения ($Fr < 0,22$) граница зоны наибольших гидродинамических давлений, обусловленных действием судовых волн, находится от форштевня на расстоянии, не превышающем 10–15% длины судна. Таким образом, в нашем случае должно выполняться условие, при котором длина носовой оконечности будет находиться в пределах 7,5–11 м.

Для уменьшения заливаемости судна на волнении носовые шпангоуты должны иметь достаточный развал бортов в надводной части, начинающийся не очень близко от грузовой ватерлинии. Повышению мореходных качеств судна также способствует наклон носовой ветви батоксов в сочетании с наклонным форштевнем.

Качество кормовых обводов определяется в гидродинамическом отношении тем, насколько выбранная форма этих обводов обеспечивает плавный, безотрывный сход струй с кормовой оконечности судна.

Этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют обводы типа «плоская ложка» или «сани», которые позволяют придать необходимую плавучесть кормовой оконечности и обеспечить плавный сход струй с корпуса. Для обеспечения этих условий прежде всего необходимо, чтобы кормовые ветви батоксов были достаточно пологими с углами притыкания в кормовой оконечности судна (в плане) не более 12° .

У баржи проекта 775 кормовая оконечность имеет обводы типа «сани» с углами притыкания в кормовой оконечности судна 11° , поэтому можно рекомендовать сохранение кормовой оконечности без изменений.

Экспериментальные исследования влияния формы обводов баржи на сопротивление движению состава проводились в два этапа.

Первый этап экспериментальных исследований проводился для модели базирующейся на прототипе баржи проекта 775 с изменением носовой оконечности и сохранением остальных размерных величин без изменений.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом в режиме буксировки продемонстрировала результат худший в сравнении с прототипом баржи проекта 775, а в режиме толкания при выходе на рабочие скорости показала снижение сопротивления движению порядка 14% (см. рисунок 1).

Модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью показала наилучший результат как в сравнении с прототипом, так и моделью с плоским носом. Снижение сопротивления движению при буксировке в сравнении с прототипом достигало 13%, а в режиме толкания – 14%.

Таким образом, можно рекомендовать форму обводов с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью для модернизации баржи проекта 775 (рисунок 2).

Второй этап экспериментальных исследований проводился для модели с возможностью увеличения ее грузоподъемности. Модернизация в данном случае предусматривает увеличение длины баржи до $L = 75$ м и ширины судна до $B = 13,8$ м ($L/B = 5,43$), что позволит увеличить грузоподъемность до порядка 1700 т.

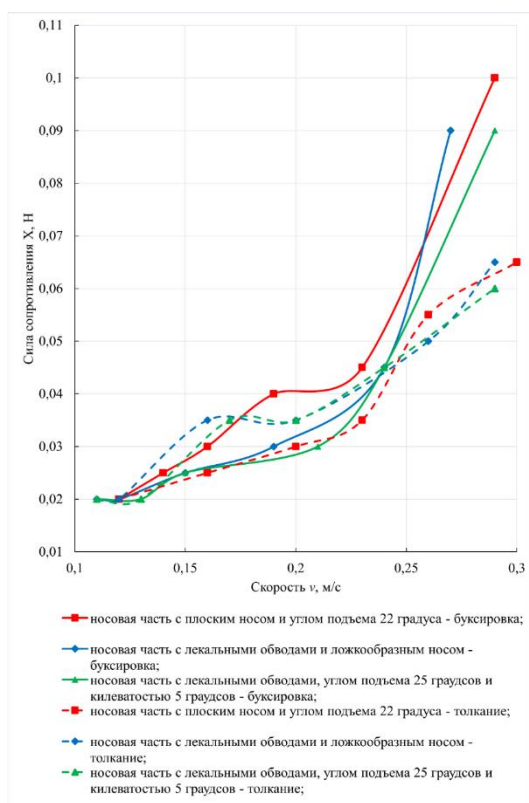


Рисунок 1 – График изменения силы сопротивления движению моделей состава судов в режимах буксировки и толкания при $L/B = 5,43$

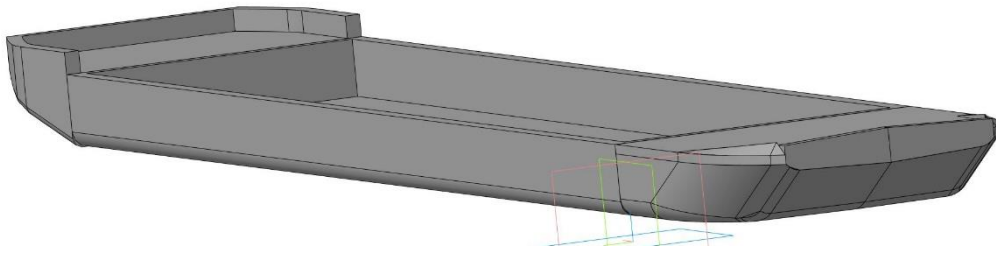


Рисунок 2 – Рекомендуемая форма обводов при модернизации баржи проекта 775 с заменой носовой части

С учетом того, что ранее было установлено преимущество режима толкания, следует учитывать при рекомендации формы обводов повышение реальных рабочих скоростей состава. Поэтому из зависимостей, представленных на рисунке 1 при разработке рекомендаций следует рассматривать участок исследований для чисел Фруда в диапазоне $Fr = 0,22-0,27$ (8–10 км/ч), который отражает преимущественный эксплуатационный режим состава.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом и углом подъема 22° в режиме толкания демонстрирует преимущество при числах Фруда до значения $Fr = 0,25$, а при дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению возрастает на 10% в сравнении с моделями с лекальными обводами. К тому же плоская форма обводов подвержена повышенному силовому воздействию на корпус в носовой части при движении на открытой воде, что сужает возможности транспортировки грузов по районам плавания. Тем не менее, данную форму обводов можно рекомендовать для судов эксплуатирующихся на мелководье с низкими скоростями передвижения, либо в качестве второго судна в баржевом кильватерном составе с расширением районов плавания (рисунок 3).

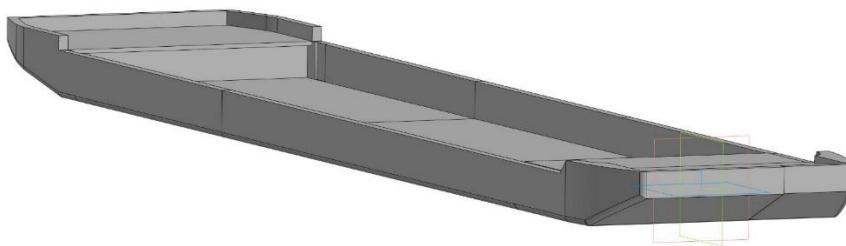


Рисунок 3 – Рекомендуемая форма обводов баржи для эксплуатации на мелководье (носковая часть с плоским носом и углом подъема 22°)

Модели с лекальными обводами при скоростях эксплуатации демонстрируют практически паритет по значениям сопротивления движению (рисунки 4–5).

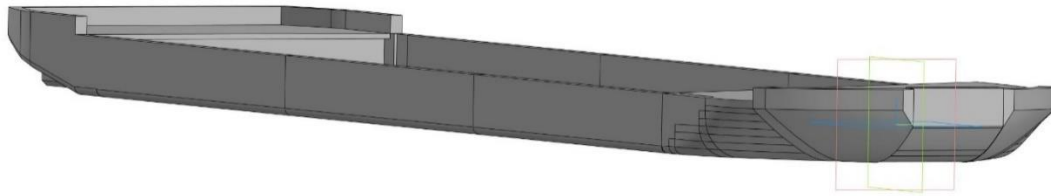


Рисунок 4 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (ложкообразная носовая часть)

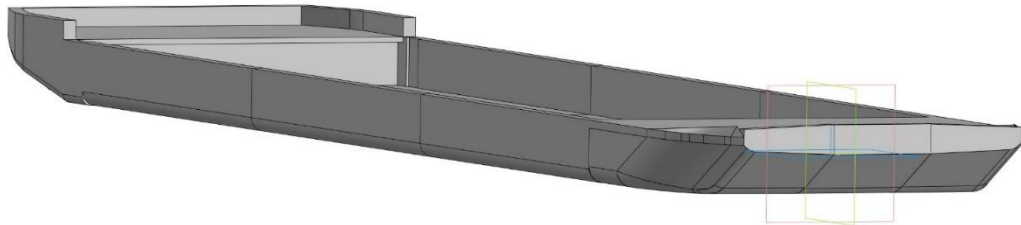


Рисунок 5 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (носовая часть с углом подъема 25° и малой килеватостью)

Однако при скоростях движения свыше 10 км/ч модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° с малой килеватостью показывает снижение сопротивления движению порядка на 8% в сравнении с моделью с лекальными обводами и ложкообразным носом.

Таким образом, оба варианта лекальной формы обводов можно рекомендовать для изготовления корпуса баржи. Причем, данные типы обводов можно рекомендовать в качестве обводов головной баржи в кильватерном составе с возможностью эксплуатации как на мелководье, так и на крупных водоемах и озерах.

Заключение

Анализ влияния формы обводов баржи на сопротивление движению состава на основе баржи проекта 775 позволил сделать следующие выводы:

1. Установлено, что для тихоходных судов с полными обводами корпуса рекомендуется применять строевые по шпангоутам, имеющие выпуклую или прямую носовую ветвь, а кормовая ветвь должна иметь вид прямой линии.

2. Для баржи проекта 775 кормовая оконечность имеет обводы типа «сани» с углами притыкания в кормовой оконечности судна 11°, поэтому можно рекомендовать сохранение кормовой оконечности без изменений.

3. По результатам экспериментальных исследований установлено, что модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью показала наилучший результат как в сравнении с прототипом баржи пр. 775, так и моделью с плоским носом. Снижение сопротивления движению при буксировке в сравнении с прототипом достигало 13%, а в режиме толкания – 14%. Следовательно, можно рекомендовать форму обводов с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью для модернизации баржи проекта 775.

4. По результатам экспериментальных исследований для моделей с измененным соотношением $L/B = 5,3$ и увеличенной грузоподъемности (до порядка 1700 т) установлено, что модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом и углом подъема 22° в режиме толкания демонстрирует преимущество при числах Фруда до значения $Fr = 0,25$ (8–9 км/ч), а при дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению возрастает на 10% в сравнении с моделями с лекальными обводами. К тому же плоская форма обводов подвержена повышенному силовому воздействию на корпус в носовой части при движении на открытой воде, что сужает возможности транспортировки грузов по районам плавания. Тем не менее, данную форму обводов можно рекомендовать для судов эксплуатирующихся на мелководье с низкими скоростями передвижения, либо в качестве второго судна в баржевом кильватерном составе с расширением районов плавания.

5. Установлено, что модели при $L/B = 5,3$ с лекальными обводами при скоростях эксплуатации демонстрируют практически паритет по значениям сопротивления движению. Однако при скоростях движения свыше 10 км/ч модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° с малой килеватостью показывает снижение сопротивления движению порядка на 8% в сравнении с моделью с лекальными обводами и ложкообразным носом. Таким образом, оба варианта лекальной формы обводов можно рекомендовать для изготовления корпуса баржи. Причем, данные типы обводов можно рекомендовать в качестве обводов головной баржи в кильватерном составе с возможностью эксплуатации как на мелководье, так и на крупных водоемах и озерах.

6. При определении предпочтительной формы лекальных обводов и разработке проекта баржи с соотношением $L/B = 5,3$ и увеличенной грузоподъемности следует руководствоваться наибольшей технологичностью изготовления корпуса баржи, а также возможностью использования для постройки части годных материалов и конструкций корпусов судов подлежащих списанию.

При разработке проекта следует руководствоваться наибольшей технологичностью изготовления корпуса баржи, а также возможностью использования для постройки части годных материалов и конструкций корпусов судов подлежащих списанию.

УДК 691.1

НОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Т.В. Шатуха, И. И. Назаров, О.А. Шавловская

Белорусский национальный технический университет

Строительство развивается в области модульных и экологичных подходов с использованием передовых строительных материалов, которые

дополняют новые технологии и разработки в строительной отрасли. Многие инновационные и экологически чистые материалы заменяют старые, такие как бетон и базальт, напечатанные на 3D-принтере. Все более и более популярными становятся материалы, изготовленные из живых организмов, благодаря самовосстанавливающемуся бетону, в котором используются микроорганизмы: бактерия *Bacillus cohnii*. Более того, экологически чистые материалы, такие как композиты с мицелием, биопластики и биопена, также являются частью этой тенденции в строительной отрасли. Следующая категория инновационных материалов включает аэрогель, графен, паучий шелк, углеродные композиты, гидрокерамику и наноматериалы. Эти материалы более экологичны, легкие и обладают более высокой водоудерживающей способностью. Современные деревянные и алюминиевые материалы, такие как бамбук, поперечно-клееная древесина, прозрачная древесина и пена алюминия обладают более высокой прочностью и способностью к биологическому разложению. Стартапы исследуют новые экологически чистые материалы, которые отличаются прочностью, не требуют особого ухода и энергоэффективны.

Испанские специалисты разрабатывают методы для внедрения графена в известные материалы или создания новых материалов на основе графена, используемых в строительной отрасли. Графен – это двумерная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, своеобразные сетки. Графен в двести раз прочнее стали, поэтому ему находят применение и в строительстве. Поэтому включение графена в состав стальных конструкций делает их не только прочнее, но и легче. Кроме того, добавление графена в бетон удваивает прочность полученного композита и в четыре раза повышает его водонепроницаемость. Стартап занимается разработкой архитектурно-строительных изделий на основе графена, включая защиту от солнца, сборку компонентов и ветровые фасады. Graphenglass – это компактный графен, обладающий такими свойствами, как гидрофобность поверхности, огнестойкость, постоянство цвета для наружной экспозиции, механическая прочность или предотвращение распространения микроорганизмов. Эти особенности делают его пригодным для использования в экстремальных условиях. Решение приносит пользу строителям и владельцам, а также окружающей среде повышая энергоэффективность зданий.

Новозеландский стартап **NZ Future Forest Products** внес свой вклад для строительной отрасли. Специалисты предлагают модульные решения на основе древесины для строительства. Стартап инженеры из поперечно-клееного бруса (CLT) и клееного бруса (GLT), которые используются в модульном строительстве. Альтернативы дереву обладают улучшенными свойствами, такими как долговечность, прочность, стабильность, сейсмостойкость, тепловые характеристики, огнестойкость, управление влажностью, диффузия пара и гибкость конструкции. NZ Future Forest Products стремится заменить

углеродоемкий бетон и сталь экологически чистыми деревянными материалами. Панели из поперечно-клееной древесины - современный строительный материал, который открывает новые возможности в деревянном массивном домостроении. Это относительно недорогой материал, который в последнее время все чаще используются в строительстве в Европе и Америке и спрос на него постоянно растет. Из них изготавливаются плиты перекрытий, стеновые панели, балки и несущие опоры

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красовский П. С. Строительные материалы / П. С. Красовский. – Москва, 2021. – 256 с.
2. Баллай Ф., Фрей Х., Хейн С. Строительные материалы и технические основы строительства. Учебник / «Фолиант», 2021. – 216 с.

УДК 697.1

ИННОВАЦИОННОЕ ОТОПЛЕНИЕ ДОМА ГРЕЮЩЕЙ ФОЛЬГОЙ ALSON

Т.В. Шатуха, И. И. Назаров, О.А. Шавловская

Белорусский национальный технический университет

Общие сведения

Пленочный инфракрасный обогреватель на основе греющей фольги Alson (Финляндия) используется в системах основного потолочного отопления и дополнительного напольного обогрева загородных частных домов, дач, квартир, административных зданий, медицинских и детских учреждений, промышленных и спортивных объектов.

В отличие от решений, представленных на рынке другими производителями инфракрасной пленки, греющая пленка Alson – это готовый к установке прибор с встроенными на заводе-изготовителе "холодными" проводами питания (присоединения).

Отопление регулируется при помощи термостата (Asmi EC , Alson T4360, AS•MI® TH132, CM 67 Chronotherm). Термостат контролирует температуру воздуха в помещении с помощью встроенного датчика и управляет процессом обогрева путем сравнения, установленной и фактической температуры.

Тепловая мощность такой системы отопления может быть от 60 до 100 Вт на 1 м² отапливаемой площади.

Таблица 1 – Основные положительные свойства данного вида обогрева

Свойство	Примечание
Монтаж	Отсутствие труб, проточек. Существующая отделка и обстановка никак не препятствует монтажу
Экономия	Обогреватели имеют КПД $\eta > 95\%$. Потребление энергии даже в сильный мороз не более 4 кВт
Инновационность	Дистанционное управление, совместимость с системами «умный дом»

Принцип работы

Работа данной системы отопления происходит за счёт лучистого теплообмена. Тепло распространяется непосредственно на поверхности пола, стен и предметов, расположенных в комнате, а далее, по принципу вторичного теплообмена, в окружающую среду. Системы потолочного обогрева, функционирующие на электричестве, обладают дешёвизной и простотой монтажа, высокой надёжностью и широкой областью применения. Температурой помещений обогреваемых с помощью такой системы можно управлять в достаточно широких пределах.

Находясь под напряжением, фольга нагревается до температуры 38-45 °С и активно распространяет со своей поверхности инфракрасное излучение в диапазоне длин волн 5-20 мкм (данные параметры достаточно благоприятны для здоровья и комфортного самочувствия для человека).

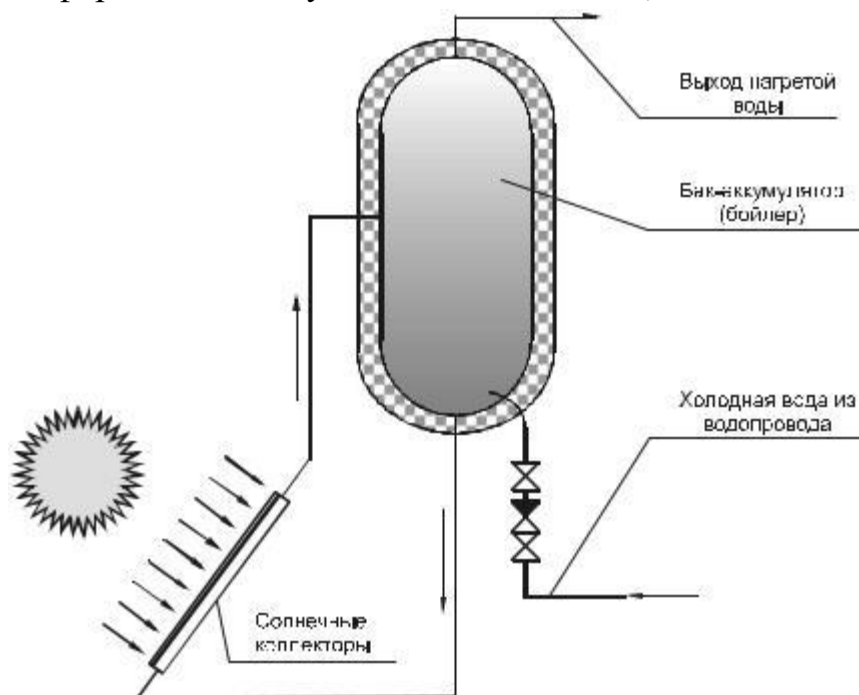


Рисунок 1 – Схема принципа работы греющей фольги Alson

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 288 с.: ил. – (Строительство и архитектура).

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» <i>Студенты:</i> А. В. Максимович ¹ , И. В. Калиновский ¹ <i>Научные руководители:</i> К. В. Хвитько ¹ , И.В.Качанов ¹ , С. Г. Короткевич ²	35
«Влияние формы обводов баржи на сопротивление движению состава судов на основе буксира-толкача проекта 570 и баржи проекта 775» профессор, д.т.н. И.В. Качанов, доцент, к.т.н. В.А.Ключников, С.А. Ленкевич. <i>Студенты:</i> Климович В.А., Махнач Н.А.	37
«Новые строительные материалы, применяемые в строительстве» Т. В. Шатуха, И.И. Назаров, О.А. Шавловская	42
«Инновационное отопление дома греющей фольгой Alson» Т.В. Шатуха, И.И. Назаров, О.А. Шавловская	44