УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ФГБУ «ААНИИ»
по научной работе, канд. геогр. наук

_____ И.М.Ашик

«___» _____ 2025 г.

МП

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Казунина Ивана Дмитриевича**

выполненную по теме **«Технология снижения ледовой нагрузки на гидротехнические сооружения закрытых акваторий портов с помощью иррегулярно вмораживаемых объектов»**, представленную в диссертационный совет 72.1.003.01 на соискание ученной степени кандидата наук по специальности 2.1.6 – Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования.

В настоящее время ведется активное освоение Российского континентального шельфа и развитие Северного морского пути. Для обслуживания судов и поставки ресурсов происходит развёртывание многочисленных гидротехнических сооружений (ГТС), одними из которых являются причалы, пирсы и другие портовые сооружения, адаптированные к специфике Арктических регионов РФ.

Необходимость повышения эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений и их гарантированного функционирования при отсутствии специализированных судов, требуют новых технологий по уменьшению ледовых воздействий на ГТС.

Таким образом, **актуальность работы** обусловлена:

1. Необходимостью повышения эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений на закрытых акваториях портов РФ, за счет снижения действующих на них ледовых нагрузок;

2. Необходимостью гарантированного функционирования морских арктических портов при отсутствии специализированных судов в их акватории для проведения ледокольных работ с целью обеспечения швартовки грузовых судов.

Цель диссертационной работы заключается в снижении передаваемых через

ледовый покров нагрузок на гидротехнические сооружения, путем уменьшения прочностных характеристик льда за счет перфорации с помощью предлагаемой технологии с использованием искусственно вмороженных в лед объектов (ИВО).

Научная новизна работы состоит в следующих положениях:

1. Разработана новая технология снижения ледовой нагрузки на портовые сооружения с помощью сквозной перфорации льда, создаваемой с помощью ИВО, что приводит к снижению передаваемых через ледовый покров нагрузок на гидротехнические сооружения.

2. Проведен анализ предлагаемой технологии, включающий теоретическую проработку взаимодействия различных наклонных поверхностей ГТС с чистым льдом и перфорированным льдом, который, по предложению автора, ослабляется с помощью искусственно вмороженных объектов (ИВО). С помощью выполненного анализа получены условия по разрушению льда изгибом, а также получены формулы для оценки снижения нагрузок, передаваемых через лед, на причальную стенку ГТС.

3. На основании сравнения результатов полевых испытаний и теоретического анализа, подтверждена правомерность предложенных автором выводов по снижению нагрузок, передаваемых на ГТС через перфорированный с помощью ИВО лед, по сравнению с чистым льдом.

4. Проведен анализ экспериментальных данных, полученных при проведении испытаний в ледовом бассейне ААНИИ, по взаимодействию судна ледового класса с чистым льдом и перфорированным льдом с помощью ИВО. В работе представлена статистическая оценка изменения плотности распределения ИВО по «акватории порта» после проводки судна ледового класса.

5. Разработана численная модель напряженно-деформированного состояния чистого льда и льда, перфорированного с помощью ИВО, прошедшая проверку сравнения результатов расчета с полученными экспериментальными данными. После проверки разработанной модели, при тех же параметрах льда и внешних условиях, проведены многовариантные расчеты по варьированию параметров ИВО. На основе созданных автором моделей, определены характеристики ИВО, которые позволят максимально снизить нагрузку, передаваемую на ГТС через лед.

6. Предложена методика определения характеристик ИВО (на базе модельных лабораторных данных) для использования предлагаемой автором технологии в реальных условиях и снижения нагрузок, передаваемых через ледовый покров на ГТС. Сформулированы ограничения использования ИВО, представлены области применения и основные принципы подбора и эффективной эксплуатации ИВО.

Практическая значимость

1. Разработана новая технология снижения нагрузок, передаваемых через лед, на ГТС, от внешних источников сил, которая может быть применена на закрытых акваториях портов для обеспечения длительного и устойчивого функционирования морских портов северных регионов без использования ледоколов.

2. В диссертации представлены многочисленные экспериментальные данные по разрушению чистого льда и перфорированного льда с помощью ИВО, которые могут быть использованы в практике исследований и проектирования.

3. В диссертации представлен декомпозиционный подход, примененный для создания численной модели в комплексе Abaqus FEA, который может быть использован для решения других задач, связанных с ГТС, с учетом погодных и технических условий их эксплуатации.

4. Предложена методика по использованию ИВО, с целью перфорации льда, в реальных масштабно-климатических условиях. Для этого в работе представлены результаты внедрения в моделирующую среду на базе порта Сабетта, которые могут быть использованы для облегчения реализации технологии перфорации льда в реальных условиях.

Достоверность результатов исследований обеспечивается использованием фундаментальных законов физики, общепринятых методов механики деформируемого тела и механики разрушения; использованием проверенного оборудования в аккредитованной лаборатории; корректным использованием результатов других авторов; выполнением обработки результатов статистическими методами; использованием сертифицированных программных комплексов для численного моделирования.

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки.

1. Соискателем предложены значимые, для эксплуатационных и конструкторских задач, формулы для расчета горизонтальных усилий, передаваемых на ГТС Арктических регионов через перфорированное с помощью ИВО ледовое поле.

2. Представлены практические результаты характеристик льда при разрушении изгибом, которые могут использоваться другими авторами при проектировании ГТС.

3. На базе проведённого полевого эксперимента, создана численная многослойная модель напряженно-деформированного состояния чистого льда и перфорированного льда с помощью ИВО, включающая параметризацию свойств льда, которая может использоваться

для проведения оценочно-сравнительных расчетов композиционной модели льда.

4. Соискателем были представлены, преобразованные им теоретические формулы по определению теоретических характеристик льда в эквивалентные функции для сохранения непрерывности и отсутствия разрыва первой производной в области расчета, которые позволяют использовать их в вычислительных пакетах и при решении много вариативных оптимизационных задач.

5. Соискателем предложена методика по использованию ИВО, с целью перфорации льда, в реальных масштабно-климатических условиях, для порта Сабетта, которая может быть использована для упрощения процесса проверки по внедрению технологии перфорации льда в реальных (для данного порта) условиях.

6. Полученные результаты имеют значение для развития гидротехнической отрасли в связи с направленностью исследований на снижение ледовой нагрузки на ГТС и обеспечение надежности как эксплуатируемых, так и проектируемых сооружений.

Соответствие диссертационной работы критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней». Результаты рассмотрения диссертационного исследования, актуальность работы, практической значимости, научной новизны и обеспечения достоверности полученных результатов соискателя Казунина И.Д. показали, что они соответствуют пунктам 1, 8, 10 и 22 паспорта специальности 2.1.6 – «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология» (технические науки):

П.1. Теория и методы обоснования, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции плотин из грунтовых материалов, бетонных и железобетонных водоподпорных гидротехнических сооружений, водопроводящих и водопропускных гидротехнических сооружений, гидротехнических сооружений мелиоративных систем, сооружений речных и морских портов, сооружений на континентальном шельфе, возводимых в различных природно-климатических условиях, в том числе в Арктике и в зонах сейсмической опасности.

П.8. Геотехнические и динамические исследования, методы физического и математического моделирования работы портовых сооружений и сооружений континентального шельфа. Прогнозирование расчетных нагрузок и воздействий: волновых, ледовых и от судов. Определение резонансных свойств и водообмена портовых акваторий.

П10. Напряженно-деформированное состояние системы «гидротехническое сооружение - основание»; нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения;

обоснование надежности и безопасности гидротехнических сооружений. Обновление нормативной базы расчетного обоснования и проектирования гидротехнических сооружений.

П.22. Гидроледотермика природных и искусственных водных объектов, портовых акваторий, бьефов речных гидроузлов. Моделирование воздействий льда на гидротехнические сооружения.

В диссертационной работе соискателя Казунина И.Д. рассматривается снижение передаваемых через ледовый покров нагрузок на гидротехнические сооружения, путем уменьшения прочностных характеристик льда за счет перфорации с помощью предлагаемой технологии с использованием искусственно вмороженных в лед объектов (ИВО).

Практическая значимость подтверждается использованием полученных результатов для управления ледовой обстановкой акваторий рядом предприятий, что отмечено в приведенных в диссертации актах внедрения.

Основное содержание диссертационной работы отражено в опубликованных автором в 3-х изданиях из перечня рецензируемых ВАК, в 2-х публикациях в материалах международных конференций и других изданиях, в том числе патент, свидетельства о регистрации программ. В них достаточно полно отражено основное содержание выполненных исследований, раскрыты и подтверждены обоснованность разработанных научных положений диссертационного исследования.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты и выводы диссертационной работы по снижению передаваемых через ледовый покров нагрузок на гидротехнические сооружения, путем уменьшения прочностных характеристик льда за счет перфорации с помощью с помощью ИВО, рекомендуется применять для закрытых акваторий портов, с целью снижения передаваемых через лед нагрузок на причальную стенку ГТС, а также в последующих теоретических изысканиях.

Структура и содержание работы

Рассматриваемая диссертационная работа Казунина И.Д. состоит из введения, списка сокращений и условных обозначений, пяти глав, заключения, списка литературных источников и приложения. Работа изложена на 162 листах, содержит 14 таблиц, 57

рисунков и список литературы из 101 наименований. Диссертация изложена корректным профессиональным языком, все главы диссертационной работы логически выстроены и системно взаимосвязаны, дают полное представление о предмете, объекте и результатах научного исследования.

Во введении представлены актуальность темы исследований, степень ее разработанности, научная новизна, практическая и теоретическая значимость, цель и задачи исследований, защищаемые положения, общая характеристика и структура работы.

Первая глава посвящена обзору литературы по теме исследования. Проведен подробный анализ отечественного и мирового опыта (как современного, так и опыта прошлых лет) по разработке и применению технологий снижения ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения (ГТС) на акваториях портов, которые сопоставлены с существующей классификацией технологий; выделены наиболее распространенные способы по борьбе с обледенением акваторий. Приведены основные недостатки существующих технологий.

Во второй главе дается описание предлагаемой технологии, которая заключается в перфорации льда, с помощью иррегулярно вмораживаемых объектов (ИВО), размещенных на закрытых акваториях портов.

Автором проведен теоретический анализ взаимодействия сплошного и перфорированного с помощью ИВО льда с ГТС с учетом граничных условий по прочности на изгиб ледяного покрова. Определены углы наклона причальной стенки ГТС, которые позволяют разделить условия обеспечения разрушения льда изгибом от разрушения льда сжатием (которые не возникают в условиях решаемой задачи), что в свою очередь является дополнительным граничным условием. Приведены основные варианты взаимодействия льда с ГТС и выделены наиболее важные случаи, которые и рассматриваются в работе.

На базе механической теории адгезии (проникновение одного материала в другой), для эквивалентного безразмерного сравнения влияния материала ИВО на прочностные характеристики перфорированного ледового покрова автор вводит безразмерный коэффициент адгезии, что является разумным подходом в рамках диссертационного исследования в области ГТС. Внедрение таких коэффициентов, не меняют основу физического смысла базовых формул, а лишь указывают на качественное (безразмерное) влияние адгезионных свойств ИВО на прочность ледового покрова.

По результатам теоретического анализа, представлены формулы, показывающие степень влияния перфорации льда на снижение горизонтальных усилий, передаваемых от внешних источников на ГТС.

В третьей главе содержится описание и результаты полевых испытаний и исследований в ледовом бассейне клавиш льда.

Проведенный автором полевой эксперимент в полной мере соответствует целям и задачам, поставленным в работе. В рамках эксперимента были применены ИВО двух видов, раскрывающие их базовое влияние на прочность льда при изгибе и способность ледового покрова передавать максимальную горизонтальную нагрузку на ГТС. Учтены как разное положение ИВО в воде и условия вмораживания ИВО в лед.

Автором выполнен сравнительный анализ результатов полевых испытаний с теоретическими решениями главы 2, который подтвердил правильность сделанных в ней предположений. Результаты полевого эксперимента представлены в понятном и общепринятом виде, с помощью графиков, показывающих влияние площади сечения (перфорации ИВО) на процесс излома льда.

Описанный в работе и выполненный в ААНИИ лабораторный эксперимент отвечает на основной эксплуатационный вопрос по изменению плотности расположения ИВО на поверхности акватории после прохождения судна через поле льда с ИВО и доказывает практическую реализуемость предложенной автором технологии.

В четвертой главе выполнен в достаточном объёме анализ открытых источников по свойствам льда, для создания автором численной схемы 4х-слойной модели льда и определены зависимости, характеристик многослойного льда в зависимости от температуры, солености. В результате исследований, получены необходимые исходные данные для реализации, предложенной автором расчетной схемы.

В пятой главе приводится численная модель многослойного сплошного льда и льда с ИВО, ориентированная на сравнительные расчеты, с целью поиска оптимальных условий перфорации льда для различных эксплуатационных условий, а также приведены результаты ее настройки и работы с использованием результатов полевых экспериментальных данных главы 3. Результаты, полученные в ходе вычислений, изложены на хорошем научно-квалификационном уровне и представлены, в сравнительных графиках и таблицах, которые позволяют наглядно продемонстрировать изменение прочности льда на изгиб (график моментов) и влияние перфорации льда на способность передавать максимальную силу (график сил).

Автором, также даются рекомендации по определению параметров ИВО с учетом эксплуатационных особенностей и характеристик акваторий портов, судов. Сформулированы варианты и области использования предлагаемой технологии. Представлены результаты внедрения предлагаемой технологии в сертифицированную моделирующую среду для условий порта Сабетта в Обской губе. Рассмотрена динамика

движения ИВО и взаимодействие их с причальной стенкой при движении судна на разном удалении от ГТС.

В заключении показано, что цель работы достигнута, поставленные цели и задачи выполнены в полном объёме. Приводятся основные выводы и рекомендации по дальнейшему применения результатов работ, приводятся планы по использованию предлагаемой технологии: при сжатии, использование других конструктивных решений ИВО и других сфер их применения.

Замечания по диссертационной работе

1. Приведенные результаты теоретического исследования, носят больше качественный характер и требуют ряд уточнений, для использования в расчетах, в реальных условиях.
2. Полевой эксперимент проведен с использованием клавиш льда. Почему не был поставлен более полный эксперимент с причальной стенкой разного наклона?
3. В работе сделан акцент на закрытые акватории портов. Насколько применим предложенный метод для шлюзовых систем и каналов?
4. В работе сделан акцент на свободно плавающие ИВО, не рассматривалось ли закрепление их в акватории?
5. Некорректно сформулирована цель диссертации в тексте работы: «Цель диссертационной работы заключается в снижении передаваемых через ледовый покров нагрузок…». Специалистам Ведущей организации представляется, что цель диссертации направлена всё же **на создание технологии**, позволяющей снизить ледовые нагрузки.

Заключение

Диссертация Казунина Ивана Дмитриевича «Технология снижения ледовой нагрузки на гидротехнические сооружения закрытых акваторий портов с помощью иррегулярно вмораживаемых объектов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые технические и технологические решения по снижению передаваемых через ледяной покров нагрузок на гидротехнические сооружения, путем уменьшения прочностных характеристик льда за счет перфорации с помощью предлагаемой автором технологии, с использованием искусственно вмороженных в лед объектов (ИВО).

Диссертация выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Достоверность результатов и заключений обоснована, содержит полный набор необходимых составляющих: аналитические исследования ранее выполненных работ, теоретические исследования, лабораторные и полевые испытаний, численное моделирование для узловых элементов технологии и имитационное пространственное моделирование в рамках выбранного региона, сформулированы ограничения по использованию предлагаемой технологии. Диссертация написана грамотно, логически структурирована и аккуратно оформлена, содержит все необходимые ссылки на работы, результаты которых использовались. Автореферат достаточно полно раскрывает основные положения диссертации.

Диссертационная работа Казунина И.Д. «Технология снижения ледовой нагрузки на гидротехнические сооружения закрытых акваторий портов с помощью иррегулярно вмораживаемых объектов» соответствует критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2023 г. «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 - Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки).

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на семинаре Отдела ледовых качеств судов ФГБУ «ААНИИ» Протокол № 2 от 21 ноября 2025 г. Результаты голосования: «за» – 12 чел.; «против» – 0 чел.; «воздержались» – 0 чел.

Ученый секретарь
Ученого Совета ФГБУ «ААНИИ» М.А.Гусакова

Врио зав.отделом
ледовых качеств судов ФГБУ «ААНИИ» Н.А.Крупина

Старший научный сотрудник отдела
ледовых качеств судов ФГБУ «ААНИИ»,
канд. техн. наук И.А.Свистунов

Сведения об организации
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)
Фактический адрес: 199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38 литера А
e-mail: olks@aari.ru
Тел.: +7 (812) 337-3228
Сайт: https://www.aari.ru/