

## О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Цуприка Владимира Григорьевича  
«Методология определения расчетных параметров циклической ледовой  
нагрузки на морские сооружения на основе энергетического подхода»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство

### **Структура и содержание диссертации**

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения и приложений. Она содержит 341 страницу текста, 172 рисунок, 14 таблиц, список литературы из 387 источников на 20 страницах.

**Во Введении** диссертации приводится обоснование актуальности выбранной диссертантом темы научного исследования и степень ее разработанности; сформулирована проблема, требующая научного решения и поставлена цель по получению такого решения, выделены объект, предмет и задачи исследования. Также во введении обозначены: научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов выполненных исследований; показаны методы исследований, выносимые на защиту результаты исследований, их достоверность и апробация; показаны личный вклад автора в исследования, структура и содержание диссертации.

**Актуальность темы исследования** не вызывает сомнений, поскольку все возрастающие потребности мировой экономики в энергоресурсах требуют освоения новых месторождений нефти и газа на континентальном шельфе арктических и субарктических морей, что ведет к необходимости строительства уникальных по размерам и стоимости технических средств для бурения, добычи и транспортировки углеводородов. Это обуславливает поиск новых научных решений в области проблем обеспечения безопасности деятельности в суровых ледовых условиях. Не только нефтегазопромысловые платформы, но и морские маяки, отдельно стоящие палы-причалы, имеющие, в основном цилиндрическую форму и вертикальные поверхности контакта со льдом, возводимые на замерзающих акваториях – это, как правило, стационарные ледостойкие инженерные сооружения, подверженные экстремальным ледовым нагрузкам и воздействиям.

Поэтому, разработка адекватной реальным процессам разрушения морского льда параметров цикличности ледовой нагрузки актуальна и злободневна. Для корректной оценки параметров циклической ледовой нагрузки на отдельно стоящие сооружения необходимо предварительно решить еще целый комплекс исследовательских задач.

**В первой главе диссертации** ее автор, помимо описания ледовых условий функционирования морских ледостойких сооружений (МЛС) и их характерных конструкций,

выполнил анализ уровня разработанности темы исследования и обеспеченности нормативного сопровождения проектирования таких сооружений. Здесь показано, что построения действующих нормативных моделей изначально не предусматривали учета времени процесса взаимодействия дрейфующих ледовых образований с опорами оснований сооружений в моделях расчета нагрузки ото льда, т.е. существующие нормативные модели – статические и детерминированные. Эти модели не предназначены для описания нарастания контактной силы во времени до ее пиковых значений с последующими ее сбросами. Поэтому автор делает вывод о том, что учет параметра времени взаимодействия ледового поля с сооружением может дать энергетический подход к рассмотрению процесса формирования циклической ледовой нагрузки на сооружения. Он предлагает искать решение проблемы путем рассмотрения энергетического баланса системы лед – сооружение в контактной зоне с выделением критериальной части энергии, затрачиваемой на разрушение льда. Это обстоятельство определяет экспериментальный характер работы, а также поиск и определение подходящего критерия разрушения (критерия прочности), который в максимальной степени соответствуют условиям взаимодействия льда и МЛС.

**Вторая глава** диссертации посвящена анализу результатов исследования определяющего физического явления, которое создает циклический характер ледовой нагрузки на МЛС. Автор определил, что это механизм циклического разрушения льда. Соискатель проанализировал практически все известные на текущее время экспериментальные работы по исследованиям закономерностей развития разрушения всех типов, выполнявшихся в разных странах в лабораторных и в натуральных условиях, при разрушении образцов природного льда и при внедрении моделей в «рабочую грань» натурального ледового покрова или его модели в опытовых ледовых бассейнах. Во второй части этой главы автором выполнен анализ результатов исследований параметров циклическости ледовой нагрузки на реальных сооружениях: на опоры речных сооружений, на основания морских маяков и нефтегазопромысловых платформ как свайного типа, так и гравитационные основания.

Выводы, полученные в первой и второй главе позволили автору указать на необходимость описания процесса взаимодействия ледяного покрова с поверхностью опоры МЛС *во времени* и с учетом механизма разрушения упруго сжатого локального объема льда. Особенностью этого процесса, как справедливо указывает автор, является сброс упругих деформаций в этом объеме при достижении в нем предельного значения плотности упруго запасенной энергии.

Основываясь на этих выводах, автор сформулировал цель работы и основные задачи, решение которых должно дать общее решение рассматриваемой в ней проблемы.

**Третья глава диссертации**, с учетом данных выполненных в первых главах аналитических исследований, направлена на детальное рассмотрение процесса взаимодействия ледяного покрова с МЛС во времени как взаимосвязанных элементов одной механической системы, с учетом изменений кинематических параметров ее элементов. Для формального описания этого сложного комплексного процесса были систематизированы все его элементы, установлены их иерархия и взаимодействие, а также последовательность протекания. В этой главе определена роль энергетического критерия разрушения льда  $\mathcal{E}^*$ , обеспечивающего расходование кинетической энергии ледяного покрова на разрушение льда и на упругое отклонение МЛС в процессе их взаимодействия.

На основе этого критерия автором в заключительной части этой главы разработана концептуальная феноменологическая модель разрушения льда, как полупространства из упруго-хрупкого материала, в поверхность которого внедряется индентор. Использование этой концептуальной модели позволило сформулировать базовую гипотезу, состоящую в том, что энергетический критерий разрушения льда – эффективная плотность удельной энергии механического разрушения льда  $\mathcal{E}^*$ , которая

- определяется значением критической плотности упругой внутренней энергии, затраченной на разрушение единицы объема льда, отнесенным к единице его массы;
- интегрально учитывает и описывает все виды его разрушения с его феноменологическими свойствами в реальном физическом состоянии и реальных условиях;
- определяет как максимальное значение пика силы ледового давления, так и период достижения этого значения, то есть частоту разрушения льда.

**Глава 4** является одной из наиболее интересных в работе. Здесь детально и полно описан полнофакторный эксперимент по получению значений критерия разрушения льда  $\mathcal{E}^*$ , в ходе которого варьировалась масса и скорость индентора и температура льда. В качестве экспериментального метода автором был принят метод «свободно падающих сфер», который основан на гипотезе отображения всех процессов, происходящих при разрушении льда в объеме остаточного отпечатка. Автор выяснил, что при внедрении сферы в поверхность ледяного покрова, лед может проявлять различные свойства в зависимости от его температуры. В случае «теплого» льда сфера внедряется в лед без выраженного циклического характера разрушения. При температуре ниже минус  $-8^{\circ}\text{C}$  морской лед практически всегда разрушается хрупко, поэтому в расчетах ледовой нагрузки на препятствия механизм его разрушения может описываться как разрушение упруго-хрупкого материала. В результате был получен важный вывод о том, что значения удельной энергии механического разрушения морского льда  $\mathcal{E}^*$  зависят только от температуры.

При анализе полученных данных автор выдвигает и обосновывает гипотезу о полойном циклическом разрушении льда, которая представляется перспективной и интересной.

В главе дано подробное описание условия достижения момента начала разрушения единичного объема льда в принятой в данной работе энергетической концепции, когда плотность упругой энергии, с учетом ее прироста за время деформирования хотя бы в одном, случайном единичном объеме деформируемого массива льда достигнет предельного значения  $\mathcal{E}_{cr}$ . При этом произойдет разрушение этого, наиболее напряженного элементарного объема льда и далее – спонтанный процесс разрушений в некотором макрообъеме.

В начале **пятой главы работы** содержатся материалы по учету в имитационной модели разрушения льда неодновременности протекания процессов разрушения льда по всей зоне его контакта с опорой сооружения, так и неравномерности распределения контактных давлений по этой зоне. Описываются возможные виды разрушения льда, на которые может быть расходована основная часть потока энергии ледяного покрова. Автор использует опыт ряда современных исследователей, опубликовавших в последние годы. Предложенная автором модель – развитие «расщепляющих» массив льда горизонтальных и вертикальных магистральных трещин, трещин сдвига (скола), дробления и смятия средних блоков льда, превращения их в крупные и мелкие обломки и в крошку с последующим вытеснением крошки льда из зоны контакта. Работа, совершаемая переменной силой, выражается площадью под кривой «сила-перемещение», которая равна затраченной на разрушение льда энергии. Используемый автором энергетический подход к разрушению льда, позволяет ему весь этот сложный комплексный процесс описать единым интегральным критерием разрушения  $\mathcal{E}^*$ , характеризующим это явление не по видам механизмов разрушения, а по объему затрачиваемой на один цикл разрушения льда порции кинетической энергии ледового поля.

В **главе 6** рассматривается порядок определения параметров циклической ледовой нагрузки на вертикальные сооружения шельфа с использованием энергетического критерия разрушения льда. Здесь диссертантом конкретизирован «расчетный» механизм разрушения льда для разработанной имитационной модели и разработан эмпирический способ определения численных значений критерия разрушения  $\mathcal{E}^*$  путем испытаний больших образцов на динамическое сжатие. Предложена методика расчета значений параметров циклической ледовой нагрузки на МЛС. Даны рекомендации по применению нового критерия динамического механического разрушения льда в расчетах параметров циклическости процесса. Выполненное численное моделирование картины разрушений льда в контактной зоне.

Основная часть **шестой главы** посвящена описанию примера функционирования разработанной имитационной модели и определения двух «искомых» параметров, харак-



теризующих циклический характер разрушения льда: максимального значения контактной силы и частоты ее появления в процессе прорезания опорой МЛС кромки ЛП.

Сравнение расчетных и натуральных данных по значениям частот разрушения льда показало сопоставимость их величин. На основе выполненных экспериментальных исследований и расчетов по предлагаемой методике сделаны выводы о том, что предложенные автором критерий разрушения льда, способ определения его значений, имитационная модель и методика расчетов параметров цикличности ледовой нагрузки на МЛС хорошо описывают реальные природные явления.

**В Заключении** автор в 14 пунктах приводит его результаты и констатирует, что все задачи, охватывающие широкий круг теоретических вопросов и их практических приложений, намеченные для достижения цели, решены.

### **Общие выводы по рассмотренной диссертации**

**Достоверность и научная новизна** результатов исследований и сделанных выводов, базирующихся на физических законах и обширном эмпирическом материале, полученном автором по данным собственных экспериментов, не вызывают сомнения. Большинство экспериментальных данных, использованных в работе, получены лично соискателем, все эксперименты тщательно продуманы и спланированы, результаты доведены до логических выводов.

**Теоретическую значимость** диссертационного исследования имеет модель описания одновременно протекающих и разных по природе развивающихся процессов в одном комплексном акте разрушения напряженного объема морского льда единым интегральным энергетическим критерием его разрушения – плотностью эффективной удельной энергии механического разрушения льда –  $\mathcal{E}_{cr}$ , для получения численных значений которого автор обосновал экспериментальный способ определения.

**Практическая значимость** исследования состоит в прикладных аспектах полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований механизма разрушения льда для расчетно-проектной практики, а именно в возможности выполнения расчетов параметров цикличности ледовой нагрузки.

Наряду с отмеченными достоинствами рассмотренной диссертации, необходимо показать и ряд замеченных недостатков и замечаний.

1. Оппонент не согласен с неоднократно подчеркнутым в работе «жестким» разграничением силового и энергетического подходов. В механике эти подходы эквивалентны. Невозможность описания циклических процессов, например, формулой Коржавина определяется не силовым подходом к проблеме, а использованной автономной математической моделью (явно не зависящей от времени) силы. Использование неавтономной математической модели ледовой силы в принципе позволяет решать все рассмотренные задачи в рамках силового подхода. Выбор того или иного подхода к реше-

нию задачи определяется удобством решения поставленной задачи, анализа массива имеющихся экспериментальных данных и другими причинами.

2. При анализе факторов, влияющих на величину плотности эффективной удельной энергии механического разрушения льда, автором была рассмотрена температура льда. Соленость льда не рассматривалась. В то же время, в работе автор указывает на влияние текстурных особенностей льда на характеристики его разрушения. Хорошо известно, что текстурные особенности во много определяются величиной относительного объема рассола, которая определяется температурой и соленостью льда. Прочностные характеристики льда обычно описываются в функции от этой величины. К сожалению, влияние этой важной характеристики льда в работе не исследовано.

3. В работе автор неоднократно указывал, что использует системный подход к анализу взаимодействия МЛС и ледяного покрова. Однако свойства сооружения никак не фигурируют в итоговых результатах. Остается не ясным, влияет ли «податливость» сооружения на величину максимальной силы и частоту ее появления?

4. В работе почти не содержится примеров конкретного применения полученных результатов к реальным объектам, например, к маякам.

5. Имеются также и замечания по оформлению диссертационной работы: ряд ссылок на источники в работе не соответствуют их нумерации в списке источников, а некоторые ссылки вообще не указаны в списке литературы; в главе 4 не вписан ряд формул.

#### **Заключение:**

Сделанные замечания не дают основания сомневаться в ценности, представленной к защите диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном и методическом уровне в целом оценивается положительно.

Выполненная автором диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку. Диссертация подготовлена и написана автором самостоятельно, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, все материалы которой опубликованы, а содержание автореферата в полной мере отражает ее содержание.

Таким образом, рассмотренная диссертация *Цуприка Владимира Григорьевича «Методология определения расчетных параметров циклической ледовой нагрузки на морские сооружения на основе энергетического подхода»*, соответствует паспорту специальности 05.23.07 «Гидротехническое строительство» и направлена на совершенствование конструкций гидротехнических сооружений путем разработки новых расчетов, методов проектирования, возведения и эксплуатации конструкций сооружений на континентальном шельфе;

Рассмотренная диссертация соответствует также критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, в частности, выполненный автором комплекс исследований следует однозначно квалифицировать как научное достижение, позволившее решить важную научную проблему, поэтому, учитывая изложенное, диссертант *Цуприк Владимир Григорьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.07 «Гидротехническое строительство».*

Официальный оппонент,  
доктор технических наук



Сазонов Кирилл Евгеньевич

16.05.2022

Сведения об оппоненте:

Сазонов Кирилл Евгеньевич,

Ученая степень: доктор технических наук;

Ученое звание: старший научный сотрудник;

Диссертация к.т.н.: «Метод расчета ледового сопротивления и его применение для решения задач проектирования судов и их эксплуатации в ледовых условиях». 1995, Специальность 05.08.01 -Теория корабля.

Диссертация д.т.н.: «Управляемость судов во льдах: методы определения ледовых сил, действующих на движущийся по криволинейной траектории корпус, и зависимости показателей поворотливости судов от характеристик корпуса и внешних условий», 2004. Специальность 05.08.01 -Теория корабля

Должность: начальник лаборатории морской ледотехники

Тел.: 8 (812) 415-45-23. E-mail: [kirsaz@rambler.ru](mailto:kirsaz@rambler.ru).

Полное наименование учреждения:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр».

Почтовый адрес: 196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44.

Тел.: +7 (812) 415-46-07; E-mail: [krylov@ksrc.ru](mailto:krylov@ksrc.ru)

Заверение подписи: подпись К.Е. Сазонова подтверждаю.

Научный руководитель предприятия  
д.т.н., профессор



В.Н. Половинкин