



Sakhalin Energy Investment Company Ltd.
Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.

Новинский б-р, 31, г. Москва, 123242, Россия
Tel./Тел.: +7 (495) 956 17 50
Fax/Факс: +7 (495) 956 17 60
www.sakhalinenergy.ru

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**

Освоение месторождений на шельфе ледовитых морей сопряжено с рядом проблем, одной из которых является динамическое действие дрейфующих ледяных полей (ЛП) на опоры морских ледостойких стационарных платформ (МЛСП). Возникновение вибрации конструкций в процессе прорезания ЛП опорами снижает уровень безопасности МЛСП, о чем свидетельствует ряд аварий с платформами. Однако в нормативных документах отсутствуют указания по расчету параметров циклического разрушения льда и величин динамических нагрузок. К таким параметрам относятся максимальное пиковое значение силы контактного давления льда и период их повторения (частота). Поэтому актуальность рассматриваемой в диссертации научной проблемы определения вышеупомянутых параметров очевидна.

Целью исследования является разработка новой научно обоснованной методологии определения расчётных параметров циклической ледовой нагрузки на основе энергетического подхода.

В работе автор приводит решения поставленных взаимосвязанных задач для достижения поставленной цели. К наиболее значимым результатам их решения следует отнести комплекс моделей, методов и способов, представляющих в совокупности методологию получения расчетных параметров циклической ледовой нагрузки:

- энергетический критерий динамической прочности льда – плотность эффективной удельной энергии его механического разрушения E_{cr} , как интегральный параметр динамической прочности льда в зоне его взаимодействия с жесткими

преградами, а также метод экспериментального определения значений этого критерия;

- феноменологическая энергетическая имитационная модель описания контактного разрушения льда интегральным энергетическим критерием разрушения морского льда \mathcal{E}^* , а также методика определения расчетных параметров циклической ледовой нагрузки на МЛСП при динамических испытаниях больших образцов льда сжатием или прорезании ЛП сооружением или моделью;
- метод верификации расчетных параметров цикла динамической ледовой нагрузки, получаемых в испытаниях больших образцов, сравнением с параметрами цикличности разрушения льда при прорезании ЛП сооружениями и моделями опор.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, не вызывает сомнений. В работе выполнен практически полный обзор как экспериментальных, так и теоретических исследований как отечественной, так и зарубежной литературы в области механики разрушения льда в зоне контакта ЛП с вертикальными опорами МЛС.

Достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждена автором удовлетворительной сходимостью результатов расчетов параметров цикличности ледовой нагрузки с данными натуральных и полунатурных измерений, численным моделированием:

- экспериментальные исследования достаточно информативны, затрагивают весь диапазон параметров изучаемых процессов, выполнены на основе теории планирования экспериментов, а результаты верифицированы;
- эмпирические модели сопротивления льда разрушению при сжатии базируются на результатах обработки данных лабораторных испытаний с использованием методов теории вероятности и математической статистики;
- численное имитационное моделирование процессов разрушения льда в торцевой части ЛП, выполненные в программе LS Dyna с помощью 3D МКЭ-моделей, показали соответствие принятым гипотезам о последовательности развития напряженно-деформированного состояния льда в контактной зоне ЛП, и о формировании циклов разрушения льда.

Научная новизна работы заключается в разработке:

- энергетического концептуального подхода к методам решения

проблемы определения параметров цикличности ледовой нагрузки;

- интегрального критерия разрушения льда (эффективной плотности удельной упругой энергии \mathcal{E}^*), связанного с особенностями реологических свойств морского льда, инициирующего начало цикла его разрушения и регулирующий длительность этого цикла, определяющую период ледовой нагрузки на сооружение;

- универсальной феноменологической энергетической модели описания послойного разрушения ледового объема, описывающая несколько одновременно развивающихся в одном акте разрушения льда процессов различных типов его деформирования критическим значением универсального интегрального энергетического критерия разрушения;

- способа определения значений интегрального энергетического критерия разрушения льда путем испытаний больших образцов различной формы на динамическое сжатие;

- методики экспериментального определения расчетных параметров цикличности разрушения морского льда с использованием нового критерия.

Теоретическая значимость работы следует из важности математической модели описания сложного по набору одновременно протекающих и разных по природе типов стохастически развивающихся процессов в одном акте разрушения напряженного объема морского льда с помощью такого критерия как плотность эффективной удельной энергии механического разрушения льда.

Практическое значение работы. Результаты исследований могут быть использованы для дополнения нормативных документов по расчету МЛСП на циклическую ледовую нагрузку от дрейфующих ЛП с применением новой методологии, в основе которой лежит имитационная модель комплексного послойного разрушения морского льда на контакте опоры МЛСП с кромкой ЛП. Модель включает энергетический критерий разрушения льда, определяемый по результатам лабораторных испытаний больших образцов льда на динамическое сжатие. Разработанная методология расчета параметров цикличности ледовой нагрузки от воздействий дрейфующих ЛП позволяет обеспечить требуемую проектную надежность МЛСП путем выполнения их динамических расчетов с использованием корректных исходных данных.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Во введении и первой главе достаточно аргументированно обоснована актуальность работы. Дан краткий обзор типов конструкций МЛСП, построенных на шельфе ледовитых морей. Аналитический обзор нормативного обеспечения расчетов ледовой нагрузки на МЛСП показал, что, в отличие от области ее статических расчетов, диапазон динамических расчетов нормативной базой не обеспечен.

Во второй главе проанализированы характеристики морского льда, как материала кристаллической структуры и сложной текстуры. Приведен анализ результатов большого числа исследований механизмов разрушения морского льда на контакте с вертикальными опорами сооружений. Автором абсолютно справедливо показано, что разрушение льда – это сложный, комплексный процесс, на развитие субпроцессов в котором оказывают влияние множество факторов.

В третьей главе выполнен системно-методологический анализ работы системы ЛП–МЛСП. Механизм разрушения льда представлен как процессор системы. Это позволило концептуально определиться с выбором типа модели взаимодействия ЛП с МЛСП с учетом механизма циклического разрушения льда и далее рассматривать решение проблемы на базе энергетического подхода к описанию исследуемых процессов.

С учетом результатов анализа существующих моделей разрушения материалов и классической энергетической теории прочности, по аналогии с критерием Гриффитса, автор разработал оригинальную концептуальную энергетическую модель генерации циклической нагрузки от ЛП на МЛСП, положив в основу модели критерий объемного разрушения льда, описывающего динамический процесс нарастания плотности упругой энергии в единичном напряженном объеме льда до ее критического значения, которое принято автором в качестве энергетического критерия разрушения льда.

Автор выдвинул гипотезу, что энергетический критерий разрушения льда, интегрально учитывающий не только прочность льда в условиях динамического сжатия, но и диссипацию упругой энергии в напряженном объеме льда, затрачиваемой на пластическое деформирование его структуры и на потери в других процессах, является главным элементом механизма разрушения льда. Он регулирует и определяет все параметры цикличности процесса, включая, прежде всего, максимальное значение контактной силы и их частоту.

В четвертой главе автор приводит данные по экспериментальным исследованиям определения расчетных значений динамического критерия

разрушения льда ϵ^* . В качестве экспериментального метода принят метод «свободно падающих сфер» (далее – DBT). Данный метод частично отражает весь комплекс разрушений льда (дробление, смятие и экструзию продуктов разрушения, трещинообразования в массиве, сдвиги, преодоление сил трения на контакте и т.д.) в объеме остаточного отпечатка (лунки). Выполнен обзор аналогичных работ российских и зарубежных исследователей. Существенная часть выполненных экспериментальных исследований направлена на процедуры по верификации DBT с целью определения удельной энергии механического разрушения льда.

Анализ результатов выполненных автором экспериментов подтвердил принятую гипотезу о циклическом процессе упруго–хрупкого разрушения льда, связанном с природой послойного разрушения при накоплении упругой энергии в слое льда в напряженной зоне до критического значения ее плотности ϵ^* . Автор выявил, что «волнообразный» характер графика зависимости ϵ^* от энергии ударяющего индентора затрудняет получение ϵ^* с гарантированной достоверностью в полевых условиях.

Пятая глава работы посвящена разработке динамической имитационной модели циклической ледовой нагрузки на базе энергетического критерия разрушения льда. В главе 6 дан пример определения расчетных параметров циклической ледовой нагрузки на вертикальные опоры МЛСП с использованием энергетического критерия разрушения льда. Здесь показано, что разработанная методика позволяет определять значения расчетных параметров циклической ледовой нагрузки на сооружение:

- интенсивность (амплитуда) пика силы давления ледового покрова на опору МЛСП;
- закон изменения нагрузки во времени или характерные частоты и, при необходимости – распределения спектральных плотностей мощностей разрушения льда на опоре сооружения.

Выполненная верификация разработанной автором методологии путем сравнения фактических натурных данных циклической ледовой нагрузки на основание маяков и других реальных сооружений, а также модельного полунатурного эксперимента и результатов расчетов по предложенному алгоритму, показало хорошее их соответствие.

Решение всех поставленных в диссертации задач позволило автору обоснованно утверждать об адекватности разработанной им методологии, а, следовательно и о достижении цели исследования – решении поставленной проблемы. Автор рекомендовал пути внедрения результатов работы в проектную практику, а также их использование при совершенствовании

нормативных документов по расчету нагрузок на МЛСП. Также важны рекомендации по проведению испытаний по определению энергетического критерия разрушения льда.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка источников и приложений. Она содержит 394 страницы, включая 172 рисунка, 14 таблиц, список литературы из 387 источников на 20 страницах, в т.ч. 230 публикаций иностранных авторов и 4 приложения на 25 страницах. Приложения содержат термины, условные обозначения и копии документов, подтверждающих внедрение и практическое использование результатов работы.

Автором опубликовано более 70 работ по теме диссертации, в том числе 15 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 17 в изданиях, индексируемых в базах WoS, Scopus; 3 в изданиях, индексируемых в базе «ядро РИНЦ», также получено 4 патента. Основные положения исследований более 35 раз докладывались и обсуждались на всесоюзных, всероссийских и международных конференциях.

Все это свидетельствует о том, что материалы диссертации полностью отражены в опубликованных работах и апробированы в научных докладах. Автореферат соответствует содержанию диссертации и реально отражает основные результаты научных исследований автора. Работа написана доступным и понятным языком, рисунки и таблицы в полной мере поясняют излагаемый материал.

Замечания по диссертации.

1. Автор изложил достаточно подробно материал анализа выполненных другими исследователями теоретических и экспериментальных исследований, что непропорционально увеличило размер первой и второй глав.

2. В разных местах работы автор по разному записывает «расшифровку» предложенного им для введения в практику расчетов динамической ледовой нагрузки на сооружения действительно нового и важного критерия разрушения льда: «удельная энергия разрушения льда»; удельная упругая энергия механического разрушения льда»; предельная плотность удельной упругой энергии и др. сочетания. Стоило, наверное, в первом упоминании об этой величине закрепить и далее применять единое определение критерия и терминологию.

3 Также можно было поступить и с применением в диссертации двух видов обозначений одного и того же типа морского ледостойкого гидротехнического сооружения понятными, но разными по написанию терминов «морское ледостойкое основание» и «морское ледостойкое сооружение» (МЛО и МЛС).

4 В диссертации автором не указано конкретно, как он позиционирует свою работу в соответствии с пунктом 9 «Положения о присуждении ученых степеней ...», является ли работа научным достижением, либо в работе решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение и т.д.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК.

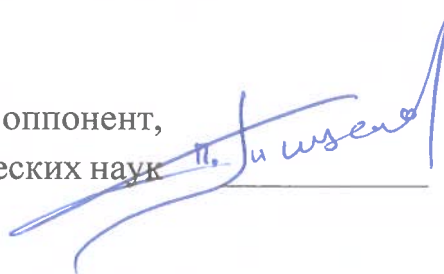
Следует отметить, что высказанные замечания не снижают общей положительной оценки работы и могут рассматриваться как рекомендации к дальнейшему развитию темы исследований.

Достигнутые результаты и сформулированные основные положения и выводы получены автором лично в результате теоретических исследований, подтвержденных эмпирическим путем, являются новыми, вносят существенный вклад в развитие теоретических обоснований расчетных методов определения параметров цикличности ледовой нагрузки на МЛСП.

Выполненная оценка диссертационного исследования и полученного в ней результата, позволяет считать, что диссертационная работа является самостоятельным и завершенным научным трудом, обладающим внутренним единством и имеет теоретическую и практическую значимость, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Разработанный автором комплекс теоретических положений и экспериментальных испытаний можно квалифицировать как **решение важной научной проблемы** в области обеспечения надежности и безопасности морских ледостойких сооружений, эксплуатируемых в условиях динамического воздействия ледовых полей.

На основании изложенного Цуприк В.Г. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.07 - Гидротехническое строительство.

Официальный оппонент,
доктор технических наук



Трусков Павел Анатольевич

Сведения об оппоненте

Трусков Павел Анатольевич, начальник управления по взаимодействию с федеральными органами надзора и контроля «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд». Докторская диссертация по теме «Ледотехнические аспекты создания объектов обустройства морских месторождений нефти и газа: на примере Охотского моря» защищена по специальностям: 05.08.02 «Строительная механика корабля» и 11.00.08 «Океанология» в 1997 г.

Адрес: 123242, г. Москва, Новинский бульвар, д. 31.

Тел.: 8(495)956-78-69, email: pavel.truskov@sakhalinenergy.ru

Подпись Трускова П.А. удостоверяю
Специалист ОК

«11» мая 2022 г.



/Н.А. Оболенцева/