



## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу студента Макарова Олега Артуровича, обучающегося в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Дальневосточном Федеральном Университете по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», магистерская программа «Шельфовое и прибрежное строительство (Offshore and Coastal Engineering)», группа М3118-08.04.01шпс.

Тема ВКР: «Численное моделирование процессов формирования ледовых нагрузок на вертикальные опоры шельфовых сооружений».

Выпускная квалификационная работа Макарова Олега Артуровича рассматривает современную проблему оценки воздействия ледовых образований на вертикальные опоры шельфовых сооружений, а именно вопрос формирования ледовых нагрузок. Работа соответствует направлению подготовки «Строительство» и магистерской программе «Шельфовое и прибрежное строительство», имеет четкую структуру и изложена грамотным научным языком.

Тема исследования является актуальной в связи с увеличением темпов строительства комплексов добычи углеводородов в замерзающих Арктических морях и, соответственно, необходимостью качественной оценки воздействий дрейфующего льда. Для достижения цели диссертации Макаров Олег Артурович сформировал ряд задач, которые были представлены в логической последовательности и успешно решены в ходе выполнения выпускной квалификационной работы. В качестве основного метода исследований студент использовал численное моделирование в современном программном комплексе SIMULIA Abaqus, что также является современным и перспективным способом решения поставленных задач, обладающем рядом преимуществ перед аналитическими методами.

В ходе работы магистрантом был выполнен обзор по теме исследований, раскрывающий современное состояние проблемы. Олег Артурович учёл опыт различных российских и зарубежных авторов, выделил недостатки их исследований и сформировал методологию численного моделирования воздействий льда на вертикальные сооружения. В качестве численного метода был принят метод конечных элементов с явным методом интегрирования уравнений динамики. Такой выбор обоснован необходимостью использования маленького приращения времени расчета для детального описания процесса формирования ледовой нагрузки, но имеет свои недостатки в части затраты вычислительных ресурсов. В качестве подхода к моделированию разрушения льда принят метод связанных элементов, который способствует формированию качественной картины взаимодействия, но также требует большей вычислительной мощности компьютера, что является объективным недостатком.

Выбор конститутивных моделей упругости, пластичности и разрушения материала льда были хорошо обоснованы магистрантом. Метод расчета прочностных и деформационных характеристик льда включает в себя зависимости, полученные различными авторами на основе многолетнего опыта лабораторных и полевых испытаний. Метод удобен в использовании, поскольку позволяет определить необходимые параметры модели, основываясь на небольшом количестве исходных данных.

Методология выполнения численных экспериментов, разработанная Олегом Артуровичем, была исследована со стороны некоторых особенностей метода конечных элементов, что является логичным путем усовершенствования модели. В итоге разработанная численная модель была верифицирована двумя способами. Величины ледовой нагрузки, полученные автором работы, хорошо согласуются с аналитическими методами расчета. Характер формирования нагрузки был оценен с помощью моделирования лабораторного эксперимента и в приемлемой степени соответствует лабораторным данным.

В целом можно сформировать следующие замечания и рекомендации к данной выпускной квалификационной работе:

1. Принятый явный метод интегрирования уравнений динамики, а также метод моделирования разрушения льда с помощью связанных элементов, требуют применения мощного вычислительного оборудования, особенно для моделирования долго протекающих процессов воздействия льда, что является основным недостатком разработанной студентом методики. Однако при её использовании для решения реальных задач проектирования и расчетного обоснования шельфовых сооружений, современные ресурсы проектных и научных организаций позволяют выполнять подобные вычисления. Кроме того, быстрый рост вычислительной мощности современных ЭВМ позволит в скором времени выполнять подобные расчеты с большой эффективностью.

2. Поскольку в данной работе рассматривались только сооружения цилиндрической формы, рекомендуется оценить применимость разработанной методики для моделирования воздействий на другие формы вертикальных опор.

3. Верификацию разработанной методики рекомендуется выполнить путем моделирования случаев воздействия льда на реальные сооружения, в случае наличия таких данных.

В целом выпускная квалификационная работа, выполненная Макаровым Олегом Артуровичем, соответствует требованиям, предъявляемым к соискателю степени магистра. Направление дальнейших исследований, сформированное студентом в заключении диссертации, является перспективным. Работа студента заслуживает оценки отлично.

Зав. отделом расчетных исследований  
ЗАО НИЦ СтаДиО, канд. техн. наук



Д. С. Дмитриев

Москва, 2020