

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Зими́на Анто́на Игоре́вича

«Численное моделирование размыва связного грунта»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация А.И. Зими́на «Численное моделирование размыва связного грунта» посвящена задачам о размыве связного грунта и движению поверхностных волн вблизи морских сооружений. Автор предлагает рассматривать намокший связный грунт, как некоторую жидкость с большими, чем у воды значениями вязкости и плотности, а для описания системы «воздух-вода-грунт» использовать односкоростную трехкомпонентную модель динамики вязкой несжимаемой жидкости.

К основным особенностям этой модели относится учет намокания и диффузии грунта в воде и возможность рассмотрения задач с одновременным движением свободной поверхности воды и связного грунта на дне.

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время растет интерес к запасам нефти и газа, залегающим на континентальном шельфе Российской Федерации. Для добычи таких полезных ископаемых обычно используют специальные платформы, удерживающиеся на шельфе за счет своей огромной массы. Для безопасности и экономической целесообразности добычи очень важно обеспечить устойчивость платформы. То есть необходимо понимать какие существуют риски размыва донного грунта и каким образом этого можно избежать.

В представленной диссертационной работе рассматривается вариант, когда размыву вблизи водного препятствия подвергается связный грунт под действием поверхностных волн и внутреннего течения. Вследствие недостаточной разработанности моделей намокания и переноса связного грунта с одной стороны и запроса на решение большого количества различных задач об определении размыва связного грунта с другой, актуальность темы исследования не вызывает сомнения.

**Основная цель диссертационной работы.** Целью диссертационного исследования является разработка модели намокания и переноса связного грунта под действием поверхностных волн и внутреннего течения. Для достижения данной цели, автором диссертации были поставлены следующие задачи: разработать соответствующую дифференциальную модель переноса связного грунта; разработать численные методы решения дифференциальной модели; разработать численный алгоритм намокания грунта в воде; применить предложенный подход к задачам о размыве связного грунта, распространению поверхностных волн и их взаимодействию со связным грунтом на дне.

**Краткое содержание диссертации.** Диссертация А.И. Зими́на изложена на 154 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 176 наименований и перечня иллюстраций из 82 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и основные задачи исследования, описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач, проводится обзор существующих научных достижений в изучаемой области. Кроме того, дается краткое изложение

содержания диссертации.

Первая глава посвящена выводу односкоростной модели динамики трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости с наличием диффузии между компонентами, применимой к задачам размыва и переноса связного грунта, и разработке численного алгоритма ее решения. Для верификации проводится тестирование на нескольких известных задачах.

Во второй главе рассматриваются двух- и трехмерные задачи о размыве связного грунта под действием внутреннего течения. Для учета процесса намочания твердых слоев связного грунта в воде предлагается и тестируется на лабораторных данных специальный численный алгоритм.

Третья глава посвящена задачам образования и распространения волн на поверхности жидкости, в том числе в результате движения связного грунта по дну. Также в ней предлагается модель образования и распространения одиночной волны в гидроволновом лотке «23 ГМПИ» и рассматриваются задачи взаимодействия поверхностных волн и препятствия.

В заключении автором диссертации сформулированы основные результаты проведенных исследований.

В целом диссертация А.И. Зимина является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач об определении картины размыва донного грунта для обеспечения устойчивости морских сооружений.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.** Обоснованность и достоверность полученных результатов обусловлена методами моделирования математической физики, применяемыми в гидродинамике, сходящимися итерационными методами решения и сравнением полученных результатов с результатами других авторов и лабораторными экспериментами.

**Научная новизна исследования.** В диссертации А.И. Зимина представлены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- Автором получена новая модель динамики односкоростной трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости, применимая к задачам размыва и переноса связного грунта.
- Для учета процесса намочания твердых слоев связного грунта разработан и реализован численный алгоритм.
- С помощью разработанного программного комплекса, получены результаты решения задач размыва связного грунта вблизи препятствия, набегания одиночной волны на берег, распространения поверхностной волны в результате движения связного грунта по наклонному дну.

**Теоретическая и практическая значимости работы.** Предложенная А.И. Зиминим математическая модель и численные алгоритмы позволяют исследовать процесс размыва связного грунта под действием разных факторов. Численные эксперименты могут быть использованы для получения картины размыва без проведения дорогостоящих натурных и лабораторных исследований. Результаты, представленные в работе, использовались при выполнении проектной части государственного задания Министерства науки и образования 1.630.2014/К «Моделирование течения жидкости с переменной плотностью и вязкостью при решении прикладных задач» и при реализации научного проекта № 17-31-50065 «Численное моделирование взаимодействия поверхностных волн и препятствия, стоящего на связном грунте» при поддержке РФФИ.

**Апробация результатов.** Результаты диссертационной работы докладывались на 23 научных конференциях, обсуждались на научных семинарах. В приведённом библиографическом списке содержится 31 ссылка автора диссертации на опубликованные им работы. Из них 5 работ опубликованы в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus; 1 – в журнале, рекомендованном ВАК; 24 – в тезисах докладов и сборниках трудов конференций. Также имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Замечания к диссертационной работе.** По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Для получения результатов численного моделирования используется разработанный и реализованный автором комплекс программ. В тексте диссертационной работы не приводится подробное описание архитектуры и пользовательского интерфейса этого комплекса.
2. Возможно, для описания процесса переноса и размыва связного грунта лучше подошла бы многоскоростная модель взаимодействия компонент.
3. На стр. 49 в строке 6 снизу в формулах не расшифрованы величины  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ .
4. Имеется небольшое количество опечаток, например, стр. 21 строка 7 сверху; стр. 31 строка 10 сверху; стр. 45 строка 4 сверху; стр. 48 строка 3 снизу.

**Заключение по диссертационной работе.** Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования А.И. Зимина.

Автореферат и опубликованные статьи достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. Основные результаты работы, полученные в диссертации, вполне отвечают сформулированной автором цели и поставленным задачам.

Считаю, что диссертационная работа «Численное моделирование размыва связного грунта» соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор – Зимин Антон Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории красивых задач механики сплошных сред федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН)

07.06.2021

Трунц

Дмитрий Алексеевич Прокудин

Шифр специальности, по которой защищена кандидатская диссертация Дмитрия Алексеевича Прокудина: 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 15  
Эл. почта: prokudin@hydro.nsc.ru  
Телефон: +7 (383) 333-31-99

Подпись Прокудина Д. А. заверяю  
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН, к.ф.н.



Хе А. К.

07.06.2021