

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВМиМГ СО РАН)

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@sscc.ru
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

09.06.2021 № 15301/ 1-03-33

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИВМиМГ СО РАН,
д.ф.-м.н., профессор РАН
_____ М.А. Марченко
« 9 » июня 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Зимина Антона Игоревича
«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

Диссертационная работа А.И. Зимина посвящена решению двух- и трехмерных задач по размыву связного грунта в результате действия внутреннего течения, поверхностных волн, процессов намокания и диффузии грунта в воде. Для этого была построена односкоростная модель трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости, где компоненты моделируют поведение воздуха, воды и намокшего связного грунта соответственно. Особенностью модели является то, что твердые слои связного грунта могут намокать в воде и переходить в жидкое состояние, а сам связный грунт переносится в воде не только благодаря конвективным потокам, но и при помощи процесса диффузии.

Актуальность. Диссертация направлена на решение актуальной задачи по определению картины размыва связного грунта вблизи сооружений, установленных на дне акваторий. Относительная сложность описания и моделирования размыва связного грунта обуславливается тем, что механизм эрозии таких грунтов включает в себя различные физико-химические процессы. Кроме того, размыв может происходить в результате действия разных факторов, что необходимо учитывать при постановке и решении подобных задач.

Проведение лабораторных экспериментов для таких задач связано с большими затратами, поскольку отбор, хранение, транспортировка монолитов грунта, проведение детальных лабораторных опытов очень трудоёмки, дороги и длительны, а также, чаще всего, дают определенный ответ только при постановке узких конкретных задач. Геолого-инженерные методы и нормативные документы, к сожалению, не позволяют получить общие достоверные инженерные рекомендации по определению величины размыва грунта, которые подходили бы для любой

формы водного сооружения в любых рассматриваемых условиях. Существующие математические подходы моделируют размыв связного грунта только в результате действия внутреннего течения, тогда как важными факторами размыва могут стать продолжительные штормовые волнения на поверхности воды, намокание и диффузия грунта в воде.

Таким образом, является актуальным построение модели, которая будет моделировать свободную поверхность между водой и воздухом, движение грунта на дне и их взаимодействие между собой и учитывать процессы намокания и диффузии грунта в воде.

Цель и задачи диссертационной работы. К цели работы относится построение математической модели движения трехкомпонентной среды (воздух, вода и намокший связный грунт), и применение представленной модели к задачам размыва связного грунта и распространения волн на поверхности воды.

Для достижения поставленной цели была выведена дифференциальная модель односкоростной трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости, разработан численный алгоритм ее решения, построена численная модель намокания связного грунта в воде и проведены расчеты двух- и трехмерных задач по размыву связного грунта, распространению поверхностных волн на воде и взаимодействию донного грунта и поверхностных волн.

Структура и основное содержание диссертационной работы. Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит введение, три главы, заключение, список литературы из 176 наименований и список иллюстративного материала из 82 рисунков. Приведенный список литературы содержит 31 ссылку автора диссертации на опубликованные им работы.

В первой главе содержится вывод системы дифференциальных уравнений предлагаемой модели на основании общих законов сохранения в сплошной среде. Рассматриваемая среда является смесью трех несжимаемых жидкостей с постоянными плотностями и вязкостями и моделируют поведение воздуха, воды и намокшего грунта соответственно. Для решения системы дифференциальных уравнений предлагается и тестируется численный алгоритм.

Вторая глава посвящена рассмотрению задач о размыве связного грунта внутренним течением. В ней предлагается и тестируется на двух- и трехмерных задачах численный алгоритм размыва твердых слоев связного грунта. После этого проводится валидация алгоритма на результатах лабораторного эксперимента.

Третья глава посвящена задачам образования и распространения волн на поверхности вязкой тяжелой жидкости, а также взаимодействию поверхностных волн и придонного связного грунта. Для валидации модели в главе представлены сравнения с лабораторными данными по задачам обрушения столба жидкости, распространение одиночной волны в гидроволновом лотке и образование волны вследствие движения связного грунта по наклонному дну.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Получена новая модель односкоростной трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости с переменными вязкостью и плотностью, и наличием диффузии массы между компонентами для задач размыва и переноса связного грунта.
- Разработан и реализован численный алгоритм намокания твердых слоев связного грунта.
- При помощи двух- и трехкомпонентной версий модели получены результаты решения задач размыва связного грунта под действием внутреннего течения, распространения волн на поверхности жидкости и взаимодействия поверхностных волн и донного связного грунта.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая ценность исследований обуславливается разработкой математической модели и ее применение к задачам по размыву связного грунта и распространению поверхностных волн. Предложенные математическая модель, алгоритмы и вычислительная программа, могут применяться для исследования процессов размыва связного грунта вблизи подводного препятствия, набегания волны на препятствие и берег, а также возникновения волн в результате движения донного грунта.

Практическая ценность работы заключается в том, что математическая модель, алгоритмы и вычислительная программа могут применяться совместно с лабораторными экспериментами для получения различных вариантов проектных решений при проектировании морских объектов.

Результаты, представленные в работе, использовались в рамках государственного задания министерства науки и образования, проект № 1.630.2014/К «Моделирование течения жидкости с переменной плотностью и вязкостью при решении прикладных задач» под руководством д.ф.-м.н., профессора Ю.Н. Захарова в части моделирования процесса размыва связного грунта, а также при реализации научного проекта № 17-31-50065 при поддержке гранта РФФИ «Численное моделирование взаимодействия поверхностных волн и препятствия, стоящего на связном грунте» под руководством д.ф.-м.н., профессора Л.Б. Чубарова. Кроме того, результаты моделирования задач по возникновению и распространению поверхностных волн использовались совместно с ФИЦ ИВТ в рамках работы по государственным заданиям № 0316-2016-0001 проекта № 2 «Разработка и тестовые испытания новых элементов математической технологии решения фундаментальных и прикладных задач зарождения, трансформации и воздействия на побережье длинных поверхностных волн в природных и искусственных акваториях (в акваториях различного масштаба)» и № 0316-2019-0001 «Разработка и исследование новых элементов вычислительной технологии решения фундаментальных и прикладных задач аэро-, гидро- и волновой динамики» в части изучения движения волн цунами на береговые сооружения.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях российского и международного уровня.

Основные результаты диссертации являются новыми, научно обоснованными и отражены в 31 работе, в том числе 3 в журналах, индексируемых в базе данных Scopus; 1 в журнале, индексируемом в базах данных Web of Science и Scopus; 1 в журнале, индексируемом в базе данных Scopus и рекомендованном ВАК; 1 в журнале, рекомендованном ВАК; 1 свидетельство государственной регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте; 24 в тезисах докладов и сборниках трудов конференций.

Результаты работы обсуждались на научных семинарах кафедры ЮНЕСКО по Информационным вычислительным технологиям КемГУ «Математические модели, методы решения», Кемерово (рук. проф. Ю.Н. Захаров); ИВТ СО РАН «Информационно-вычислительные технологии», Новосибирск (рук. акад. Ю.И. Шокин и проф. В.М. Ковеня); Инженерно-строительного института СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург (рук. проф. Н.И. Ватин); ИВМиМГ СО РАН «Математическое моделирование больших задач», Новосибирск (рук. проф. В.А. Вшивков).

Содержание автореферата соответствует основному содержанию диссертации, а основные результаты работы, полученные в диссертации, вполне соответствуют сформулированной автором цели и поставленным задачам.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В работе представлены в основном результаты двумерных задач, тогда как куда больший интерес для моделирования процесса размыва связного грунта вызывает трехмерная постановка.
2. В диссертации нет подробного описания архитектуры и интерфейса зарегистрированного комплекса программ для расчета задач по размыву связного грунта

Заключение. Указанные недостатки не снижают достоинств работы, которая выполнена на высоком уровне и соответствует всем квалификационным требованиям.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что диссертационная работа Зимина Антона Игоревича «Численное моделирование размыва связного грунта» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа А.И. Зими́на на тему «Численное моделирование размыва связного грунта» заслушана и обсуждена на научном семинаре «Математическое моделирование больших задач» лаборатории Суперкомпьютерного моделирования Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН 17 мая 2021 года. В работе семинара приняли участие 17 человек, в том числе 3 доктора наук, 6 кандидатов наук. Результаты голосования по диссертации: «за» -17, «против» - нет, воздержавшихся нет.

Отзыв подготовил главный научный сотрудник лаборатории Суперкомпьютерного моделирования Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН доктор физико-математических наук профессор Вшивков Виталий Андреевич.

Главный научный сотрудник
лаборатории Суперкомпьютерного моделирования
ИВМиМГ СО РАН, д.ф.-м.н., профессор



Вшивков Виталий Андреевич

09.06.2021

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)

630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 6;

+7 (383) 330 83 53; director@sscc.ru; icmmg.nsc.ru