

Заключение диссертационного совета МГУ.011.5  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «22» сентября 2023 г. № 20

О присуждении Романовой Дарье Игоревне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Трёхмерное математическое моделирование природных склоновых потоков с учетом сложной реологии, турбулентности и захвата подстилающего материала» по специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите диссертационным советом 9 июня 2023 г., протокол № 20-П.

Соискатель Романова Дарья Игоревна, 1994 года рождения, в 2021 году окончила очную аспирантуру отделения механики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Соискатель работает младшим научным сотрудником в лаборатории вычислительных методов механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре гидромеханики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Эглит Маргарита Эрнестовна, профессор кафедры гидромеханики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Петров Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН, лаборатория механики систем, главный научный сотрудник;

Беликов Виталий Васильевич, доктор технических наук, Институт водных проблем РАН, лаборатория численного гидродинамического моделирования, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник;

Нуриев Артем Наилевич, кандидат физико-математических наук, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт математики и механики имени Н.И. Лобачевского, отделение механики, кафедра аэрогидромеханики, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, из них 4 статьи, опубликованных, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности.

1. Romanova D. et al. Optimization of turbulence model parameters using the global search method combined with machine learning / Barkalov K., Lebedev I., Usova M., Romanova D., Ryazanov D., Strijhak S. // Mathematics — 2022 — vol. 10 — No. 15 — Num. 2708 — DOI: 10.3390/math10152708 (WoS/Scopus, Q1, Impact Factor SJR: 0.54) (1.77 п.л./ авторский вклад 0.295 п.л.)

2. Romanova D. et al. Calibration of the k- $\omega$  SST turbulence model for free surface flows on mountain slopes using an experiment / Romanova D., Ivanov O., Trifonov V., Ginzburg N., Korovina D., Ginzburg B., Koltunov N., Eglit M., Strijhak S. // Fluids — 2022 — Vol. 7 — No. — 3 , Num. 111 — DOI: 10.3390/fluids7030111 (WoS/Scopus, Q3, Impact Factor SJR: 0.41) (1.23 п.л./ авторский вклад 0.14 п.л.)

3. Романова Д. И. Калибровка k- $\epsilon$  модели турбулентности в пакете OpenFOAM с помощью методов машинного обучения для моделирования потоков на склонах гор на основе эксперимента / Романова Д. И. // Труды Института системного программирования РАН — 2021 — Т. 33 — № 4. — С. 227–240 — DOI: 10.15514/ispras-2021-33(4)-16 (RSCI, Impact Factor РИНЦ: 0.19) (0.85 п.л./ авторский вклад 0.85 п.л.)

4. Романова Д. И. Архитектура программного средства с открытым исходным кодом для численного моделирования потоков на горных склонах / Романова Д. И. // Труды Института системного программирования РАН —

На диссертацию и автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался компетентностью данных ученых в области механики жидкости, газа и плазмы, имеющимися у них научными публикациями по теме диссертации, их способностью оценить научную и практическую значимость исследования.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научные результаты. В диссертации разработаны трёхмерная математическая и численная модели плотных геофизических потоков на склонах гор, учитывающие сложные реологические свойства материала потока, турбулентный режим движения, сложный реальный рельеф склона, а также возможное вовлечение потоком в движение донного материала. Сформулирован обобщенный на трехмерный случай критерий разрушения донного материала и вовлечения его в движение. Проведены серии расчетов, показывающих влияние реологических свойств материалов потоков на горных склонах. В частности, потоки могут останавливаться на наклонных склонах, что объясняется наличием предела текучести у материалов потока. Разрушение и вовлечение потоком в движение донного подстилающего материала приводит к увеличению скорости потока. Разработан решатель `avalancheFoam` для расчёта склоновых потоков с использованием созданной модели. На модельной задаче о потоке на склоне постоянного уклона исследовано влияние реологических параметров движущегося материала на скорость вовлечения подстилающего материала. На основе расчетов потоков в лотках, экспериментально исследованных учеными

в университете Исландии, а также потоков на созданной с участием автора экспериментальной установке в НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, проведено сравнение результатов, полученных с использованием  $k-\epsilon$  и  $k-\omega$  SST моделей турбулентности при моделировании склоновых потоков разработанным решателем `avalancheFoam`. Проведено трёхмерное моделирование снежной лавины как потока неньютоновской среды в 22-ом лавинном очаге горы Юкспор (Хибинь), показавшее хорошее совпадение с натурными данными. Проведено трёхмерное моделирование потока, вызванного прорывом ледникового озера Малый Азау (Центральный Кавказ), продемонстрировавшее предсказание эрозии донного материала потоком. Разработан алгоритм для оптимизации коэффициентов турбулентной модели по результатам эксперимента на базе методов машинного обучения, показавший в среднем улучшение точности расчётов на 5%.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработанная трёхмерная математическая и численная модель плотных геофизических потоков на склонах гор и ее реализация в дополненном пакете `OpenFoam` дают возможность рассчитать поток на склоне с реальным рельефом с учетом неньютоновских свойств материала потока, турбулентного режима движения и вовлечения потоком донного материала.

2. Сформулированный критерий вовлечения массы на границе поток-подстилающий материал, основанный на сравнении величин интенсивности сдвиговых напряжений на этой границе и предела прочности подстилающего материала, обобщает предложенное ранее условие на величину касательного напряжения.

3. При движении однородного потока по длинному склону постоянного уклона скорость захвата склонового материала потоком стремится к

константе, зависящей от величины предельного значения напряжений сдвига подстилающего материала, реологических параметров материала потока и угла склона.

4. Трёхмерное моделирование снежной лавины как потока неньютоновской среды в 22-ом лавинном очаге горы Юкспор (Хибины), а также потока, вызванного прорывом ледникового озера Малый Азау (Центральный Кавказ), демонстрирует возможности разработанной модели.

На заседании 22 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Романовой Дарье Игоревне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 16 докторов наук по специальности 1.1.9. - «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета МГУ.011.5

доктор физико-математических наук, профессор

Карликов В.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.011.5

кандидат физико-математических наук

Пелевина Д.А.

Подписи удостоверяю:

Декан механико-математического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук,

профессор, член-корреспондент РАН

Шафаревич А.И.

22 сентября 2023 г.