

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
гидродинамики имени М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской
академии наук
доктор физико-математических наук



Ерманюк Е.В.

«26» мая 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Гармаковой Маргариты Егоровны на тему «Численное моделирование гидрофизических процессов при обтекании подводных трубопроводов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 – гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

1. Актуальность темы исследования

Одной из главных причин, приводящих к аварийным ситуациям на подводных переходах магистральных трубопроводов, является деформация русла в зоне их расположения. Донный грунт речного русла в местах залегания трубопровода подвержен риску размыва как вследствие обычного транспорта влекомых наносов, так и по причине обтекания препятствия – трубопровода. Практика показывает, что недостаточно обоснованные результаты исследований приводят к ошибочным рекомендациям и нередко служат причиной возникновения аварий с серьезными экономическими и экологическими последствиями. Поэтому поиск путей, которые на стадиях проектирования и эксплуатации могли бы прогнозировать возникновения участков, подверженных размыву в зоне расположения подводных трубопроводов, безусловно, является актуальным.

2. Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и одного приложения. Во введении автором обосновывается актуальность темы, выбранной для исследования, формулируются его цели и задачи, формулируются положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об обоснованности и степени достоверности результатов исследования, личном вкладе автора в их получение, а также об апробации работы.

В первой главе представлена классификация трубопроводов по различным признакам. Описаны причины, которые приводят к нарушению устойчивой эксплуатации подводных переходов. На основе выполненного анализа сформулирована цель диссертационного исследования

Во второй главе приводится обзор существующих подходов к прогнозированию деформаций русла: метод, основанный на совместном решении уравнений движения жидкости, деформаций русла и транспорта наносов; метод, основанный на совместном решении уравнений движения жидкости и баланса наносов; метод расчета, основанный на теории насыщения потока наносами. Выполнен обзор исследований по изучению полей скоростей и напряжений в окрестности цилиндра. Проанализированы результаты исследований местного размыва в зоне расположения подводных трубопроводов, полученные с помощью физического моделирования в лабораторных условиях, а также численного моделирования.

В третьей главе представлены результаты физического эксперимента, выполненного автором диссертации. В рамках этого эксперимента было рассмотрено три случая: 1 – цилиндр заглублен на половину своего диаметра; 2 – цилиндр лежит на поверхности песка; 3 – на поверхности уложено два цилиндра параллельно друг другу. Описан процесс переформирования песчаного дна, отмечены особенности для каждого случая.

В четвертой главе приводится обзор подходов к моделированию турбулентного режима движения жидкости, многофазных течений и результаты численного моделирования в программном комплексе ANSYS Fluent. В четвертом разделе четвертой главы представлена методика численного моделирования в ПК ANSYS по исследованию полей скоростей и напряжений в окрестности цилиндра при поперечном его обтекании, описано какая модель турбулентности и многофазности была использована. В семи поперечных сечениях построены профили продольной и вертикальной составляющих, которые сравниваются с результатами физического эксперимента, выполненного с помощью PIV-метода на базе Института

гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук. Автором диссертации получена достаточно хорошая сходимость результатов. В пятом разделе четвертой главы представлены результаты численного моделирования локального размыва песчаного дна в области расположения подводного трубопровода. Расчеты выполнены в программном комплексе ANSYS Fluent в 2D постановке для условий экспериментов Sumer et. al. (2001) на основе двухжидкостной модели многофазной среды с учетом гранулярности фазы частиц и k-ε Realizable модели многофазности. Описаны распределения концентрации фаз, векторного поля течения, а также динамического давления в окрестности трубы. Выявлены механизмы начального этапа размыва под трубопроводом, которые соответствуют полученным в эксперименте. Выполнено численное моделирование для условий эксперимента, представленных в третьей главе настоящей диссертации. В результате расчета для визуального представления о переформировании донного грунта были построены изоповерхности объемной концентрации песка в разные моменты времени. Отмечено, что при наличии системы из двух цилиндров процесс переформирования дна происходит более интенсивно, чем в случае одиночного цилиндра, что согласуется с физическим экспериментом.

В **Заключении** приводится краткий обзор выводов диссертационной работы, а также описывается перспектива дальнейших исследований в этой области.

Список литературы показывает, что диссертант достаточно глубоко изучила имеющийся материал на основе результатов, полученных другими известными отечественными и зарубежными авторами, и учла их в своей работе.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения и выводы диссертационного исследования обосновываются верификацией предложенной численной методики моделирования, основанной на известных и хорошо апробированных математических моделях турбулентности, а также согласованностью результатов численного моделирования с результатами, полученными в процессе физического эксперимента.

4. Научная новизна

Впервые выполнен физический эксперимент по изучению процесса переформирования песчаного дна при различном расположении цилиндров, имитирующих подводные трубопроводы.

5. Научная и практическая ценность диссертации

На основе анализа выполненных физических экспериментов установлено, что на процесс переформирования дна влияет взаимное расположение цилиндров, а разработанная методика численного моделирования позволяет выявить механизм начала образования воронок размыва в зоне расположения подводных трубопроводов и оценить развитие ее во времени. Научная значимость работы заключается в развитии исследований процесса переформирования донного грунта в зоне расположения подводных переходов.

Практическое применение полученных результатов – это возможность использования разработанной численной методики в проектной и эксплуатационной деятельности для целей прогнозирования воронок размыва на участках расположения подводных переходов, и как следствие повышения их устойчивого функционирования.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Полученные результаты являются значимыми и применимыми, как в исследованиях, так и на практике. В диссертации на основе сравнения различных возможных методов моделирования развит научно обоснованный подход, обеспечивающий хорошую точность результатов и прогнозов при разумных вычислительных затратах. На основе развитого в диссертации подхода могут быть проведены систематические серии расчетов и выполнен сравнительный анализ для вариантов подводных трубопроводов с различным количеством ниток и различным составом донных пород, что является существенным вкладом в развитие данной отрасли науки.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Предлагаемая диссертантом методика моделирования может применяться для верификации опытов, проведенных в лабораторных условиях, а также при выполнении научно-исследовательских работ по оценке процесса переформирования донного грунта в зоне расположения подводных трубопроводов.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы научными, проектными и строительными организациями при проектировании, эксплуатации подводных переходов и установлении необходимости их ремонта.

8. Замечания

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1) Имеет смысл дополнить список литературы ссылками на современные монографии, в которых описывается математическое моделирование транспорта частиц жидкостью, например,

Arastoopour H., Gidaspow D., Lyczkowski R.W. *Transport Phenomena in Multiphase Systems*. Springer 2022

2) При обсуждении режимов обтекания цилиндра было бы уместно сослаться на обзор

Williamson C.H.K. *Vortex Dynamics in the Cylinder Wake* // *Annual Rev. Fluid Mech.* 1996. Vol. 28. P. 477-539. В этом обзоре приведена достаточно полная классификация двух и трехмерных структур в следе за изолированным цилиндром.

3) В работе выполнены расчеты в двумерной и трехмерной постановке. В этой связи можно упомянуть работу

Gonzalez-Juez E., Meiburg E., Tokyay T., Constantinescu G. *Gravity current flow past a circular cylinder: forces and wall shear stresses and implications for scour*. *J. Fluid Mech.* 2010. V. 649. P. 69–102. В этой работе исследуется резко нестационарное обтекание цилиндров плотностным течением, но для квазистационарного режима обтекания приведено подробное обсуждение в контексте широкого спектра работ по стационарному обтеканию цилиндров однородным потоком, причем особое внимание уделено режимам вихреобразования в следе за цилиндром при различных величинах расстояния от дна и различных числах Рейнольдса, а также релевантности 2D и 3D моделирования.

9. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Гармаковой Маргариты Егоровны на тему «Численное моделирование гидрофизических процессов при обтекании подводных трубопроводов» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли науки. Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком, хорошо иллюстрированы. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа прошла апробацию на многочисленных

конференциях и соответствует специальности 2.1.6 – гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология. Основные результаты исследований опубликованы в 13 работах, включая 3 статьи в журналах из списка ВАК. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Гармакова Маргарита Егоровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 – гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании семинара «Прикладная гидродинамика» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук под руководством члена-корреспондента РАН В.В. Пухначева и д.ф.-м.н. Е.В. Ерманюка «24» мая 2023 года. Протокол заседания № 15 от «24» мая 2023 г.

И.о. заведующего лабораторией
экспериментальной прикладной
гидродинамики, старший научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт гидродинамики
им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения
Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук

Подпись Бесова А.С. заверено.
Ученый секретарь к.ф.-м.н.



Бесов Алексей Сергеевич
26.05.2023 г.

А.К. Хе
26.05.2023 г.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, д. 15

Официальный сайт: <http://hydro.nsc.ru/>; E-mail: igil@hydro.nsc.ru; Тел.: 8 (383) 333-16-12