

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Католикова Виктора Михайловича на диссертационную работу Васильевой Екатерины Сергеевны "Совершенствование методов расчета техногенных паводков при развитии проранов в грунтовых плотинах", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

1. Актуальность темы исследования

Техногенные наводнения, вызванные образованием прорана в теле плотин и дамб, могут быть следствием и продолжением экстремальных гидрологических событий, обладая при этом, гораздо большей разрушительной силой. В конечном итоге важен не столько сам процесс размыва плотины, сколько результирующий гидрограф волны прорыва через проран, который и определяет глубины, зоны и скорость затопления в нижнем бьефе. В диссертационной работе Васильевой Екатерины Сергеевны по существу исследуется именно вопрос формирования гидрографа техногенного паводка. Тема, несомненно, является актуальной, она неразрывно связана с обеспечением безопасности населения и хозяйственной инфраструктуры от последствий прохождения техногенных паводков (волн прорыва).

2. Научная новизна и практическая значимость результатов работы

Научная новизна диссертационной работы Васильевой Е.С. заключается в том, что автор, используя готовый современный отечественный программный продукт STREAM 2D CUDA, основу которого составляет физико-математическая модель водного потока над деформируемым дном в двумерной схематизации, адаптировала ее к решению задач развития прорана в грунтовых плотинах. Разработанная модель развития прорана впервые обоснованно учитывает процессы гравитационных деформаций подводных и надводных откосов в трёхмерной (пространственной) постановке и с учетом неоднородности и связности грунта. На основе материалов эксперименталь-

ных лабораторных исследований других авторов Васильевой Е.С. были самостоятельно получены значения основных эмпирических параметров модели, которые, по мнению автора, воспроизводят близкую к реальной динамику развития прорана в широком диапазоне изменения фактических параметров напорных гидротехнических сооружений. Приведенные примеры моделирования сценариев развития проранов в грунтовых плотинах, не описываемые существующими расчетными методами или требующими разработки специальных частных моделей с узкой сферой применимости, показывают широкие возможности и преимущество разработанного автором метода.

Важная практическая значимость работы заключается в том, что разработанная технология численного моделирования применена для расчета волны прорыва грунтовых плотин в различных сложных гидрологических и ситуационных условиях. Она позволяет выполнять моделирование развития техногенных паводков в нижнем бьефе гидроузлов, вызванное образованием проранов для реальных объектов, как уже произошедших, так и для гипотетических сценариев гидродинамических аварий.

3. Состав и содержание работы

Объем диссертационной работы Васильевой Е.С. составляет 147 страниц, 93 рисунка, 7 таблиц, 137 источников. Текст включает введение, четыре главы, заключение и список условных обозначений.

Во **введении** автор обосновывает актуальность и степень разработанности темы исследования, формулирует цели и задачи, описывает методы и методология исследования, приводит научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, перечисляет положения, выносимые на защиту, показывает степень достоверности и апробации результатов работы, а также дает сведения о личном вкладе, о структуре и объеме диссертации.

В первой главе сначала приводятся сведения о современном состоянии рассматриваемой проблемы, рассматривается физическая сущность образования и развития проранов в грунтовых плотинах на основе реальных аварий и материалов экспериментальных лабораторных исследований. Далее

автор, изучив большой объем литературы по данному вопросу, приводит существующие методы по расчету и моделированию развития проранов и определению гидрографа волны прорыва через створ прорана, рассматривает их положительные стороны и недостатки.

Во второй главе приводится краткое описание используемой физико-математической модели водного потока над деформируемым дном в трехслойной по вертикали схематизации движения наносов, реализованной на базе программного комплекса STREAM 2D CUDA; дается ее гидродинамическое обоснование и обоснование основных эмпирических параметров модели применительно к задачам математического моделирования формирования техногенных паводков, вызванных образованием прорана в грунтовой плотине; подробно описывается технология подготовки исходных данных, построения численной модели и порядок выполнения расчетов с применением программного комплекса STREAM 2D CUDA. Даются рекомендации по числовым значениям эмпирических параметров модели и диапазон их варьирования в зависимости от типа грунта тела плотины. Исследуется влияние начальных размеров прорана на ход и конечный результат формирования прорана и гидрографа техногенного паводка.

Третья глава посвящена валидации разработанной модели, цель которой заключается в демонстрации адекватного воспроизведения физических процессов развития прорана, воссоздаваемых на модели. Приведены два характерных примера: натурный эксперимент по размыву плотины из песчаного грунта, называемый Υαηεκου TEST, и гидродинамическая авария, произошедшая на плотине р. Дюрсо в августе 2002 г., причиной которой послужил быстро формирующийся дождевой паводок.

Четвертая глава целиком посвящена возможным путям практического применения разработанной модели. В качестве примера автор представил гипотетический сценарий развития сложной каскадной аварии на плотине Краснодарского гидроузла. Рассматриваются два последовательно образовавшихся прорана: первый проран возникает в теле плотины, а второй про-

ран –в теле ж/д насыпи, перегораживающей пойму в нижнем бьефе. Автор описывает полный цикл работ по моделированию реального объекта с использованием программного комплекса STREAM 2D CUDA от сбора и подготовки исходных данных до анализа и визуализации полученных результатов.

В **Заключении** отражены основные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией.

Подводя итог, необходимо отметить, что диссертация **Васильевой Е.С.** представляет собой законченное и качественно выполненное научное исследование, которое базируется на широком спектре исходных данных и методах исследования. Диссертация содержит важные научные результаты и свидетельствует о высокой квалификации ее автора при решении гидрологических задач. Работа выполнена диссертантом самостоятельно с применением оригинальных подходов и разработок. Содержание автореферата в целом соответствует тексту диссертации и дает достаточно полное представление как о самой работе, так и о полученных результатах.

4. Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректной постановкой задач исследования, результатами анализа большого массива натуральных и экспериментальных данных, использованием современных лицензионных программных продуктов, сопоставлением результатов гидродинамического моделирования с натурными и экспериментальными данными, апробацией основных положений диссертационной работы в открытой печати.

Особо следует подчеркнуть очень детальную обоснованность возможности использования разработанных автором численных гидродинамических моделей проранов результатами экспериментов в лабораторных условиях, в которых автор принимала и личное участие. Этот раздел в диссертации представлен очень подробно и высоко профессионально.

5. Полнота изложения материалов диссертации в публикациях соискателя

Автором опубликовано 11 печатных работ, из них 5 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Основные положения диссертации доложены на шести научно-практических конференциях. Основные положения диссертации опубликованы.

6. Замечания по работе

И, тем не менее, при всем высоком качестве представленной в диссертации научной работы, к ней есть ряд важных, с нашей точки зрения замечаний.

1. Во второй главе диссертации сказано, что «обоснование параметров, входящих в физико-математическую модель, были выполнены на основе данных лабораторных экспериментов по размыву плотин различной высоты из песка и по размыву модели проектировавшейся каменно-набросной плотины Горно-Алтайской ГЭС на р. Катунь, в проведении экспериментов для которой автор принимал непосредственное участие». Эксперименты выполнялись в лабораторных лотках 25x3,48 м и 29,5x7 м, для песчаной и каменно-набросной плотин, соответственно. Всего было рассмотрено 6 опытов с плотиной из песка, и 1 опыт с каменно-набросной плотиной.

В ходе проведения вариантных расчетов на физико-математической модели выполнялся подбор коэффициентов β_0 , β_1 , β_2 , являющихся множителями у коэффициентов диффузии; коэффициентов α_1 и α в формуле для равновесной концентрации, а также значений тангенсов углов естественного надводного и подводного откосов».

В результате, на основании этих экспериментов для песчаных грунтов рекомендуется тангенс угла надводного откоса принимать в пределах 1,2-1,8; для крупнообломочных грунтов –1,5.

Коэффициент β_0 , отвечает за скорость диффузии подводного откоса, его увеличение приводит к "ускорению" размыва плотины. Для плотин из песчаных грунтов рекомендуется задавать равным 40, для крупнообломочных

грунтов – 20. Другие диффузионные коэффициенты β_1 и β_2 принимались равными 0,1, изменение их значения не оказало существенного влияния на процесс развития прорана. Коэффициент α_1 отвечает за интенсивность перемещения частиц грунта в горизонтальном направлении, коэффициент α учитывает влияние числа Фруда на движение наносов. Для песчаных грунтов рекомендовано $\alpha_1=0,5$ и $\alpha=5$; для крупнообломочных – $\alpha_1= 1$ и $\alpha = 7$.»

Таким образом, мы видим, что рекомендованные в конечном итоге ключевые эмпирические параметры, входящие в физико-математическую модель, получены на основании всего шести экспериментов с высотой песчаной дамбы 0.3, 0,45 и 0.6 метра, а для каменно-набросных плотин – на основании одного эксперимента с высотой дамбы 0.87 м.

Однако уже даже при валидации разработанной физико-математической модели прорана на примере натурального эксперимента размыва плотины Уаһекоу высотой 5.6 м, описанной в главе 3 диссертации, при расчетах с различными значениями параметров удовлетворительного соответствия с натурой удалось достичь только при значении $\alpha=8.5$ (а не 5, как рекомендовано выше).

Из этого следует вывод о том, что рекомендованные автором значения указанных выше эмпирических параметров должны быть с большой осторожностью использованы при моделировании дамб в натуральных условиях с гораздо большими их размерами, поскольку совершенно нельзя исключить известного из теории физического моделирования «масштабного эффекта».

Ознакомление с примером валидации предлагаемой модели на примере аварийного прорыва дамбы высотой 25 м на реке Дюрсо показывает, что Васильева Е.С., искренне увлеченная большими возможностями разработанной ею модели, уже забыла о возможном масштабном эффекте при назначении обсуждаемых нами параметров, и проводила все расчеты с рекомендованными ей их значениями. А поскольку, в данном случае ввиду отсутствия в достаточном объеме фактических данных о параметрах гидродинамической аварии на плотине Дюрсо, сопоставление результатов производилось по фо-

тографиям полуразрушенной плотины, данным рекогносцировочного обследования и описаниям очевидцев аварии, установить допустимость использования рекомендованных на основе лабораторных экспериментов значений эмпирических параметров очень сложно.

С нашей точки зрения, требуется приложить еще не мало усилий для оценки влияния масштабного эффекта на значения этих параметров, а предлагаемая автором технология использования разработанной модели должна предусматривать какую-то процедуру решения проблемы установления значений указанных параметров в каждом конкретном случае.

2. В третьей главе диссертации Васильева Е.С. приводит предпринятую ею попытку использования модели STREAM 2D CUDA для расчета формирования быстроразвивающегося паводка, приведшего к разрушению плотины, на основе фактических данных по осадкам с метеостанции "Новороссийск".

Совершенно очевидно, что использование любых чисто гидродинамических моделей для расчетов формирования даже быстро развивающихся паводков возможно только в случае совершенного отсутствия фильтрации осадков в грунты и при единообразном характере растительности на водосборе, позволяющем заменить эту растительность эмпирически установленным значением коэффициента шероховатости, что, собственно говоря, и было сделано автором в данном случае.

При крутых склонах долины, заросших густым лесом, основываясь на своем опыте и опыте других авторов по моделированию поверхностного стока с горных водосборов, коэффициент шероховатости n был задан в данном случае одинаковым для склона и русловой сети, равным 0,2.

В ряде случаев на водосборах горных рек такое чрезмерное упрощение процесса формирования паводков допустимо, но при создании технологии комплексного подхода к моделированию аварийной ситуации на плотине, использование чисто гидродинамической модели, в которой только коэффициент шероховатости может включить в себя все сложные гидрофизические

процессы формирования паводка на водосборе, с нашей точки зрения, не обосновано.

Перечисленные замечания не снижают общего очень положительного впечатления от диссертационной работы, поскольку не уменьшают, по существу, ценность разработанного автором расчетного комплекса и выполненного ею исследования.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным п. 9 "Положением о порядке присуждения ученых степеней"

Диссертация **Васильевой Екатерины Сергеевны** "Совершенствование методов расчета техногенных паводков при развитии проранов в грунтовых плотинах", представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, является законченной научно-квалификационной работой, основанной на оригинальном фактическом материале, авторских подходах и наработках, в том числе методических. В работе представлен большой фактический и экспериментальный материал, собранный и полученный автором, проведен подробный анализ существующих методов моделирования по теме диссертационного исследования, проведена оценка сходимости результатов расчетов и моделирования с натурными и экспериментальными данными.

Диссертационная работа **Васильевой Е.С.** выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты, обладающие научной новизной, имеют теоретическое значение и могут быть использованы при решении практических задач, связанных с расчетом волн прорыва существующих гидроузлов, необходимых для составления деклараций безопасности ГТС, а также для оценки последствий прорыва проектируемых напорных гидротехнических сооружений на селитебные территории. Работа написана технически квалифицированно, аккуратно оформлена, имеет достаточное количество иллюстраций, графиков и таблиц.

По объему научных исследований, научной новизне, теоретической и практической значимости результатов, полученных автором, диссертационная работа Васильевой Екатерины Сергеевны полностью соответствует всем требованиям п. 9. «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент

Заведующий Отделом русловых процессов Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный гидрологический институт»,

ведущий научный сотрудник,

кандидат технических наук,

доцент по специальности 05.23.16

"Гидравлика и инженерная гидрология"

Адрес: 199053, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д.23, ФГБУ «ГГИ»

Тел./факс: 8 (812) 323 32 65

E-mail: v.katolikov@mail.ru

Католиков Виктор Михайлович

Ученый Секретарь ГГИ



28.05.2021 г.