

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 999.187.02 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого», Министерства образования и науки Российской Федерации, Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», ПАО «РусГидро» по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 25.12.2020 г. №\_8\_

О присуждении Федорову Илье Владиславовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования при сейсмических воздействиях» в виде рукописи по специальности 05.23.07 – «Гидротехническое строительство» принята к защите 23.10.2020 г., протокол №6, диссертационным советом Д 999.187.02 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого», Министерства образования и науки Российской Федерации, Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», ПАО «РусГидро», 195220, г. Санкт-Петербург, Гжатская ул., д. 21, приказ об утверждении совета Министерства образования и науки РФ №156/нк от 01.04.2013 г. Приказом Минобрнауки России от 10 мая 2017 года №411/нк шифр диссертационного совета ДМ 512.001.01 изменен на Д 999.187.02. Приказами №92/нк от 26.01.2018 г., №301/нк от 23.11.2018 г., №35/нк от 27.01.2020 г. и №692/нк от 18.11.2020 г. в состав совета внесены частичные изменения.

Соискатель Федоров Илья Владиславович, 1988 года рождения, в 2011 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» с присуждением степени магистра техники и технологии по направлению «Прикладная механика».

Освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева») в 2015 году.

Работает научным сотрудником отдела «Статика и сейсмостойкость бетонных и железобетонных сооружений» Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», ПАО «РусГидро».

Диссертация выполнена в отделе «Статика и сейсмостойкость бетонных и железобетонных сооружений» АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», ПАО «РусГидро»

**Научный руководитель: Цейтлин Борис Вениаминович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Статика и сейсмостойкость бетонных и железобетонных сооружений» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

**Официальные оппоненты:**

**Уздин Александр Моисеевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»;

**Бестужева Александра Станиславовна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Гидравлики и гидротехнического строительства» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», в своем положительном отзыве, подписанном и.о. заведующего кафедрой строительной механики, кандидатом технических наук, доцентом Кобелевым Евгением Анатольевичем, профессором-консультантом кафедры строительной механики, доктором технических наук, профессором Рутманом Юрием Лазаревичем и утвержденном проректором по научной работе, доктором экономических наук, профессором Дроздовой Ириной Валерьевной отмечает, что «практическая значимость для развития гидротехнической отрасли определяется следующим:

- разработана методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений при сейсмических воздействиях с учетом нелинейного деформирования бетона;

- рассмотрен подход к построению расчетной полной диаграммы деформирования бетона при растяжении на основе параметров бетона, представленных в Российских и зарубежных нормативных документах;

- проведена оценка чувствительности результатов моделирования к изменению расчетных параметров бетона, экспериментальное определение которых требует проведения трудоемких экспериментов;

- проведены расчетные исследования прочности и устойчивости бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС при действии нагрузок особых сочетаний, включающих сейсмические воздействия».

Отмечается, что «диссертационная работа Федорова И.В. «Методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования при сейсмических воздействиях» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство».

Основные положения диссертации опубликованы в 23 научных работах, 10 из которых в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК).

Научные работы по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Бенин, А.В. Конечно-элементное моделирование процессов неупругого деформирования и разрушения элементов железобетонных конструкций / А.В. Бенин, А.С. Семенов, С.Г. Семенов, И.В. Федоров // Морские интеллектуальные технологии. – 2011. – №. S3. – С. 102-105.

2. Дерюгин, Г.К. Исследование колебаний основных бетонных сооружений ГЭС, вызванных воздействием гидродинамических нагрузок на водосливную часть плотины и русло / Г.К. Дерюгин, С.А. Ле-Захаров, И.В. Федоров, Б.В. Цейтлин, Д.В. Щерба // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2014. № 4. С. 50–54.

3. Цейтлин, Б.В. Теоретические исследования колебаний бетонных гидротехнических сооружений при действии сейсмических нагрузок / Б.В. Цейтлин, Е.Ю. Витохин, С.А. Ле-Захаров, И.В. Федоров // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2014. – Том 271. – С. 120-137.

4. Федоров, И.В. Учет неупругих деформаций бетона при расчете плотин сейсмические воздействия / И.В. Федоров, Б.В. Цейтлин // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2014. № 4. С. 27–28.

5. Витохин, Е.Ю. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния системы плотина-основание при взаимных смещениях берегов сейсмогенерирующих разломов / Е.Ю. Витохин, С.А. Ле-Захаров, И.В. Федоров, Б.В. Цейтлин // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2016. – Том 279. С. 53–64.

6. Vitokhin, E.Ju. Mathematical modeling of the stress-strain state of concrete dam and rock foundation caused by tectonic fault slip / E.Ju. Vitokhin, S.A. Le-Zakharov, I.V. Fedorov, B.V. Tseytlin // Materials Physics and Mechanics. – 2016. – Vol. 26. – №. 1. – С. 53-56.

7. Федоров И.В. Учет нелинейного поведения бетона в отечественной и зарубежной нормативных базах // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2019. – Том 292. С. 39–47.

8. Федоров, И.В. Исследование динамического поведения железобетонных конструкций при аварийных воздействиях с использованием упругопластической модели // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2020. – № 1 (44). С. 26–29.

9. Федоров, И.В. Моделирование гравитационной плотины при действии сейсмической нагрузки с использованием упругопластической модели повреждаемости бетона // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2020. – Том 295. С. 21–30.

10. Федоров, И.В. Применение упругопластической модели бетона в расчетах железобетонных конструкций на примере задачи об изгибе балки / И.В. Федоров, С.А. Костыря, Ю.П. Федоренко // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2020. № 297. С. 74–82.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Фактов использования результатов других авторов без ссылок на них не обнаружено.

На автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные. Замечания, представленные в отзывах:

1. Отзыв старшего научного сотрудника, директора филиала АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС», д-ра техн. наук, Рубина Олега Дмитриевича:

- Из приведенных в автореферате полей поврежденности бетона в плотине видно, что разрушение происходит в области примыкания оголовка плотины к низовой грани. Какие Конструктивные решения можно применить для уменьшения области распространения трещинообразования.

- Из автореферата не ясно, учитывалось ли в конечно-элементной модели армирование конструкции бетонной плиты при рассмотрении воздействия от взрывной волны и каким образом.

2. Отзыв старшего научного сотрудника, заместителя генерального директора ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике» д-ра техн. наук Лисичкина Сергея Евгеньевича:

- Ряд расчетных исследований, приведенных в работе, был выполнен на примере задачи об изгибе железобетонной балки. Из автореферата не понятно, как учитывалась совместная работа бетона и арматуры.

- Не указано, какие программные комплексы и инструменты использовались для разработанной методики при выполнении расчетных исследований. Возможно ли применение других программных комплексов, в частности, отечественных?

3. Отзыв председателя Научно-технического совета Всероссийского общества охраны природы (ВООП), д-ра техн. наук, академика РАЕН Тетельмина Владимира Владимировича:

- В автореферате следовало бы более подробно описать способ получения удельной энергии разрушения бетона, которая используется для построения его полной диаграммы деформирования.

- На рисунке 3(б) отсутствуют единицы измерения приведенных величин.

- Автору следовало бы осмелиться и попытаться сформулировать предложения по внесению изменений в нормативные документы по проблемам проектирования бетонных ГТС в соответствии с разработанной им методикой.

4. Отзыв председателя Межправительственной комиссии стран СНГ по сейсмостойкому строительству и уменьшению природно-техногенных последствий, председателя совета АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» (АНО «РАДАР»), кандидата технических наук, заслуженного строителя Российской Федерации Клячко Марка Абрамовича:

- В автореферате диссертации приведены, безусловно, интересные результаты оценки влияния слоя наносов на затухание колебаний в системе плотина-основание-водная среда. Однако автором не рассмотрены



альтернативные подходы к учету затухания колебаний, обусловленные наличием слоя наносов.

- Не указано, какому классу бетона соответствуют параметры, используемые при моделировании изгиба железобетонной балки и приведенные на рисунке.

- Словосочетание в автореферате «динамическое поведение модели сооружения» надо заменить на «динамическая модель поведения сооружения».

5. Отзыв профессора высшей школы механики и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», д-ра техн. наук, профессора Мельникова Бориса Евгеньевича:

- При моделировании плотины Бурейской ГЭС в трехмерной постановке нелинейное деформирование учитывалось только для одной глухой секции, что оказывает влияние на получаемые результаты численного моделирования и не позволяет распространить выводы о прочности сооружения на другие секции плотины.

6. Отзыв декана факультета информационных технологий и программирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», д-ра техн. наук, профессора Парфенова Владимира Глебовича:

- В автореферате не приведены параметры применяемых конечно-элементных моделей, как характерные размеры и количество элементов, количество узлов, степеней свободы и т.п. Поэтому сложно оценить степень детализации применяемых расчетных моделей.

- В автореферате не освещены вопросы сходимости применяемых численных методов. Эти вопросы приобретают особую важность при выполнении расчетов с учетом нелинейных эффектов.

7. Отзыв доцента кафедры «Высшая математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет

путей сообщения Императора Александра I», кандидата физико-математических наук Титова Сергея Александровича:

- В конечно-элементной модели системы «сооружение-основание-водохранилище», приведенной на рисунке 7, граница области водохранилища имеет закругленную форму. В тексте работы не пояснено, чем обоснован такой выбор геометрии и является ли он необходимым.

- В одной из формул на странице 9 по всей видимости опечатка: очевидно должно быть  $\varepsilon_t^{wc} = \varepsilon_{bt2} + 5G_F/R_{bt}$ .

8. Отзыв главного инженера Строительного Управления АО «Атомпроект», кандидата технических наук Роледера Александра Юрьевича:

- Из текста автореферата не очевидно, приведенные на рисунке 1 диаграммы были получены с учетом статических эксплуатационных нагрузок или сейсмическое воздействие рассматривалось отдельно.

- Предлагаемые автором диаграммы деформирования включают относительно небольшой горизонтальный участок, который, вообще говоря, не наблюдается на известных экспериментальных кривых.

9. Отзыв профессора кафедры Гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики института водного транспорта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», д-ра техн. наук, доцента Гарибина Павла Андреевича:

- Из материалов автореферата не ясно, какая именно модель поведения материала используется для реализации разработанной методики и чем обусловлен выбор именно этой модели.

- В работе отсутствует информация о возможности распространения расчетных рекомендаций на конструкции других гидротехнических сооружений.

10. Отзыв профессора Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», д-ра техн. наук Лалина Владимира Владимировича:



- Не поясняется на основе каких соображений выбраны зависимости, описывающие ниспадающую ветвь на диаграмме деформирования (Рис.2)

- Не приведены выражения зависимости параметра поврежденности деформаций (Рис 5в) и не пояснено, как получать эти зависимости.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен известностью их работ по направлению темы диссертации, а именно, наличием выполненных исследований по сейсмостойкости бетонных сооружений и численному моделированию, в том числе с учетом нелинейных эффектов, а также наличием публикаций в соответствующих ведущих изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что основные результаты и выводы диссертационной работы, составляющие ее новизну, состоят в следующем:

1. Разработана методика моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования бетона, связанного с трещинообразованием. Методика применена для определения параметров НДС математической модели бетонной плотины и областей возможного трещинообразования при действии нагрузок особых сочетаний, включающих сейсмические воздействия уровня максимального расчетного землетрясения (МРЗ).

2. Предложен новый, основанный на использовании значения удельной энергии разрушения, подход к построению расчетной диаграммы деформирования бетона с учетом ниспадающего участка, характеризующего этап трещинообразования в бетоне при растяжении, который дополняет зависимости, рекомендованные нормативными документами РФ.

3. Показано существенное влияние на результаты численного моделирования НДС гравитационной бетонной плотины Бурейской ГЭС при действии динамических нагрузок учета сжимаемости воды и демпфирующих свойств наносов при моделировании совместной работы сооружения и водохранилища.

**Теоретическая значимость работы** состоит в разработке методики численного моделирования НДС бетонных ГТС при действии сейсмических

нагрузок с учетом нелинейного деформирования бетон, которая опирается на применение упругопластической модели материала и полной диаграммы зависимости напряжений от деформаций бетона при растяжении, включающей этапы трещинообразования. Ее применение при проведении расчетных исследований позволяет повысить качество оценок последствий сейсмических и других динамических воздействий для бетонных ГТС и элементов их конструкций.

**Оценка достоверности результатов исследований и их обоснованность** подтверждается применением основных положений и моделей механики деформируемого твердого тела, теории пластичности и методов численного моделирования; обеспечивается достаточным объемом данных расчетных исследований, выполненных на подробных математических моделях системы «сооружение-основание-водохранилище» с использованием сертифицированных программных комплексов, а также сопоставлением результатов численного моделирования с натурными и экспериментальными данными.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики состоит в** разработке новой методики численного моделирования НДС бетонных ГТС при действии сейсмических нагрузок с учетом нелинейного деформирования бетона, вызванного трещинообразованием. Предложенная методика позволяет корректно учесть перераспределение напряжений в модели при развитии трещин в бетоне и оценить остаточные деформации по окончании действия сейсмической нагрузки. Предложенный подход к построению расчетной диаграммы деформирования бетона дополняет рекомендованные нормативными документами зависимости ниспадающей ветвью, описывающей этапы трещинообразования при растяжении. Кроме того в работе показано влияние учета сжимаемости жидкости и демпфирующих свойств наносов на результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) высокой бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС при динамических воздействиях. Результаты работы были внедрены при

проведении расчетных исследований по оценке прочности и устойчивости плотины Бурейской ГЭС, что подтверждается справкой о внедрении, полученной от Филиала ПАО «РусГидро» - «Бурейская ГЭС» (пгт. Талакан, Бурейский р-н, Амурская область).

Выполненное исследование имеет существенное практическое значение для оценки надежности как проектируемых, так и эксплуатируемых бетонных гидротехнических сооружений.

**Личный вклад соискателя состоит:**

– в анализе и систематизации информации о моделировании нелинейного деформирования бетона при динамических воздействиях и выборе необходимых расчетных значений параметров бетона;

– в разработке методики моделирования бетонных гидротехнических сооружений при сейсмических воздействиях с учетом нелинейного поведения бетона, вызванного трещинообразованием;

– в разработке математических конечно-элементных моделей и проведении расчетных исследований с учетом особенностей динамического поведения системы «сооружение – основание – водохранилище», анализе и обобщении полученных результатов;

– в применении разработанной методики при выполнении расчетных исследований по определению параметров НДС плотины Бурейской ГЭС при действии нагрузок особых сочетаний, включающих сейсмические воздействия уровня МРЗ.

Диссертация Федорова Ильи Владиславовича имеет четко выраженную структуру и логику внутреннего единства, является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой, в которой представлена методика численного моделирования бетонных гидротехнических сооружений при сейсмических воздействиях с учетом нелинейного деформирования бетона.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Федорова Ильи Владиславовича «Методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования при сейсмических воздействиях» содержит решение новой задачи, посвященной разработке методики численного моделирования бетонных гидротехнических сооружений, позволяющей корректно учитывать влияния трещинообразования в бетоне на параметры НДС модели при динамических воздействиях, что имеет существенное значение для повышения надежности бетонных ГТС в сейсмоопасных районах.

Диссертация Федорова Ильи Владиславовича соответствует пп. 2 и 3 паспорта научной специальности 05.23.07 – «Гидротехническое строительство» и требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842.

На заседании 25 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Федорову Илье Владиславовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 10 докторов наук по рассматриваемой специальности 05.23.07 – «Гидротехническое строительство», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16 , против – нет , недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

д-р техн. наук

Учёный секретарь

канд. техн. наук

25 декабря 2020 года



Беллендир Евгений Николаевич

Иванова Татьяна Викторовна