

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Федорова Ильи Владиславовича** на тему **«Методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования при сейсмических воздействиях»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07 «Гидротехническое строительство»

В представленной на отзыв диссертационной работе предложена методика моделирования динамического поведения бетонных гидротехнических сооружений с учётом обусловленного трещинообразованием нелинейного деформирования бетона. В современной расчётной практике, несмотря на развитие численных методов и широкие возможности компьютерного моделирования, традиционно применяются упрощённые линейно-упругие модели поведения материалов, не позволяющие в полной мере учесть влияние трещинообразования на напряжённо-деформированное состояние гидротехнических сооружений (ГТС). В связи с этим считаю, что диссертационная работа Федорова Ильи Владиславовича затрагивает актуальную для гидротехнического строительства тему.

Разрабатывая методику численного моделирования, автор уделил значительное внимание вопросам её реализации с использованием существующих комплексов вычислительных программ. Им выполнены оценки влияния отдельных параметров упругопластической модели бетона на результаты исследования динамического напряжённо-деформированного состояния при сейсмических воздействиях. На примере ряда практических задач автором продемонстрированы преимущества разработанной методики. Кроме того, в работе рассмотрены важные вопросы учёта совместной работы системы «сооружение-основание-водохранилище» при сейсмических воздействиях. При этом значительное внимание уделено моделированию динамического взаимодействия плотины и водохранилища с учётом сжимаемости воды.

Основным результатом диссертационной работы является новая методика моделирования системы «сооружение-основание-водохранилище» при сейсмических воздействиях с учётом нелинейного деформирования бетона. Она опирается на применение полной диаграммы зависимости напряжений от деформаций бетона при растяжении, которая позволяет описать поведение материала при трещинообразовании. Автором определен подход к построению полной расчётной диаграммы деформирования бетона при растяжении с использованием значения удельной энергии разрушения, что представляется особо значимым, поскольку в ближайшей перспективе предполагается пере-

ход на задание сейсмического воздействия с использованием пиковых значений скоростей. Показано существенное влияние на результаты численного моделирования таких параметров бетона, как удельная энергия разрушения и угол дилатации. В настоящее время отечественные нормативные документы не содержат рекомендаций по выбору расчётных значений этих параметров. Включение приведённых в диссертации рекомендаций в регламентирующие проектирование и строительство гидротехнических сооружений нормативные документы позволит более обоснованно и на современном уровне выполнять расчётные исследования бетонных ГТС.

Следует отметить и другие результаты работы, которые представляются важными с научной точки зрения. На основе проведенного автором анализа результатов расчётных исследований продемонстрировано, что учёт сжимаемости воды в водохранилище и водопроводящем тракте может приводить к более высоким расчётным значениям параметров напряжённо-деформированного состояния сооружения. Таким образом, нормативный подход, основанный на применении присоединённых масс, не всегда позволяет обеспечить консервативность результатов расчётов. Кроме того, в автореферате показано, что учёт демпфирующих свойств наносов оказывает существенное влияние на результаты численного моделирования динамического поведения бетонных ГТС.

Приведённые в работе результаты исследований и полученные выводы позволяют повысить качество расчётных оценок прочности бетонных ГТС за счёт более обоснованного выбора подходов к учёту совместной работы системы «сооружение-основание-водохранилище» при сейсмических воздействиях. Разработанная автором методика прошла апробацию на примере бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС. В то же время результаты работы с учётом некоторых дополнений могут быть использованы в ходе численного моделирования и других бетонных сооружений под действием различных аварийных динамических нагрузок, приводящих к частичному разрушению. Важно отметить, что для широкого применения разработанной автором методики требуется продолжение работы в направлении совершенствования экспериментальных методов определения полной диаграммы деформирования бетона при растяжении и удельной энергии разрушения для различных составов бетона.

Обобщая свое приятное в целом мнение о диссертации И.В. Федорова, хочу отметить, что его исследование (актуальное и перспективное по содержанию и необходимое и достаточное по объему) является хорошим примером современного успешного численного моделирования структурной надёжности сооружения при динамических воздействиях. Использованные диссертантом

методические подходы, полученные им результаты исследования и их практическое внедрение позволяют открыть широкие горизонты и новые сферы дальнейшего развития. Прежде всего, это – расширение области применения и совершенствование цифровые технологий. В частности, для анализа напряжённно-динамического состояния сложных структур перспективна возможность кусочно-выборочного включения в расчётные схемы метода конечных элементов отдельных аварийных/экстремальных случаев локальных воздействий, подобных авторскому анализу взрывного воздействия на структурный элемент – плиту. Другой перспективной сферой применения является непосредственная имплементация результатов различных лабораторных измерений, вибрационных тестов и натурных испытаний в процедуру численного моделирования напряжённно-деформированного состояния структуры в целом или её элементов. Учитывая недавнее появление в международной инженерной практике термина «fragility», который (в отличие от более широкого термина «конструктивной уязвимости» / «vulnerability») основывается на критериях трещинообразования структурного строительного материала, у диссертанта в продолжение своих исследований появляется возможность внести вклад в разработку классификации конструктивной уязвимости (fragility, vulnerability) напорных ГТС, к тому же улучшив тем самым макросейсмическую шкалу. И наконец, очень перспективной областью развития и применения результатов исследования И.В. Федорова представляется их внедрение с целью динамического анализа напряжённно-деформированного состояния напорных ГТС с ответственными элементами из композитных конструктивных бетонов, имеющих хорошее сопротивление растяжению, что может быть продемонстрировано на примере Белопорожской ГЭС (на р.Кемь), напорная поверхность которой запроектирована из наномодифицированного бетона В65 (при фактическом исполнении В85).

По автореферату имеются следующие замечания:

1. 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 учёту затухания колебаний, обусловленного наличием слоя наносов.

2. Не указано, какому классу бетона соответствуют параметры, используемые при моделировании изгиба железобетонной балки и приведённые на рисунке 3.

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

Приведённые замечания не снижают положительной оценки диссертаци-

онной работы Федорова И.В. Она является законченным научным исследованием, которое содержит решение актуальной для гидротехнического строительства задачи. Представленные в автореферате результаты исследований обладают как научной новизной, так и практической значимостью. Цели и задачи, поставленные автором в диссертационной работе, решены в полном объеме. Стоит отметить значительное количество публикаций по теме работы выполненных автором как лично, так и с соавторами.

Рецензируемая работа «Методика моделирования бетонных гидротехнических сооружений с учетом нелинейного деформирования при сейсмических воздействиях» соответствует требованиям документа «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Федоров Илья Владиславович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07 – «Гидротехническое строительство».

Согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата технических наук Федорова И.В. и дальнейшую их обработку.

Председатель Совета  
АНО «Региональный альянс для анализа и  
уменьшения бедствий» (АНО «РАДАР»),  
канд. техн. наук



Клячко М. А.

Сведения о лице, подписавшем отзыв:

Клячко Марк Абрамович, канд. техн. наук, заслуженный строитель Российской Федерации, академик ЧС, председатель Межправительственной Комиссии стран СНГ по сейсмостойкому строительству и уменьшению природно-техногенных последствий; Председатель Совета АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» (АНО «РАДАР»); диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук на тему «Сейсмостойкость фундаментов под мощные турбогенераторы» защищена по специальности 05.23.02 – «Подземные сооружения, основания и фундаменты» в 1975 году.

Адрес 195027, Большеохтинский пр. д.4-оф. 385  
Тел. +7 (911)944 6275  
e-mail: [radar@cendr.org](mailto:radar@cendr.org)

Подпись М.А.Клячко ЗАВЕРЯЮ  
Ст. инспектор отдела кадров АНО «РАДАР»




Лобанова О.В.