

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, Альберта Июли Ушеровича на диссертационную работу Травина Сергея Михайловича «Сейсмостойкость эксплуатируемых строительных конструкций отдельно стоящих хранилищ отработавшего ядерного топлива», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01. – Строительные конструкции, здания и сооружения.

### *1. Актуальность темы диссертационной работы.*

Безаварийная работа объектов атомной энергетики имеет огромное значение для защиты населения и окружающей среды от радиационной опасности. При этом особое значение уделяется сооружениям, в которых хранится отработавшее ядерное топливо. Конструкции этих объектов являются сложнейшими инженерными сооружениями, надежность работы которых существенно влияет на общую безопасность работы ядерного энергетического комплекса в целом. Среди этих сооружений выделяется группа уже существующих, отдельно стоящих «мокрых» хранилищ отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ), запроектированных без учета таких экстремальных воздействий, как землетрясения, которые, как известно, носят случайный и непредсказуемый характер.

Анализ исследований последних лет свидетельствует о значительном объеме выполняемых расчетно-теоретических исследований в области проектирования крупных энергетических объектов, включая и объекты для хранения ядерного топлива с использованием современной вычислительной техники и численных методов расчета. Между тем, вопросы устойчивости эксплуатируемых отдельно стоящих ХОЯТ к землетрясениям, безопасности их функционирования во время сейсмических колебаний нельзя признать полностью изученными. В связи с этим весь комплекс взаимосвязанных задач, поставленных автором диссертационной работы, имеющих своей целью выполнить оценку сейсмостойкости эксплуатируемых отдельно стоящих хранилищ отработавшего топлива, учитывающих их конструктивные и эксплуатационные особенности, следует признать актуальным и имеющим важное практическое значение.

## ***2. Научная новизна исследований и полученных результатов***

Основным научным достижением диссертанта, характеризующимся новизной, является предложенная в работе научная методология системного многофакторного обоснования сейсмостойкости длительно эксплуатируемых «мокрых» ХОЯТ, основанная на построении наиболее вероятного сценария отказа строительных конструкций при сейсмических воздействиях, с учетом которой дана объективная оценка сейсмостойкости существующих ХОЯТ в зависимости от различных факторов. Предложены и исследованы технические решения по повышению сейсмостойкости строительных конструкций эксплуатируемых ХОЯТ, обеспечивающие их прочность и устойчивость во время землетрясений.

## ***3. Степень достоверности научных результатов***

Степень достоверности полученных результатов определяется корректным применением надежных и апробированных методов моделирования и анализа строительных конструкций, сопоставлением результатов расчета с данными, полученными другими авторами при исследовании вопросов обеспечения сейсмобезопасности объектов атомной энергетики и результатами внедрения разработанных рекомендаций и выводов в практику строительства.

## ***4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации***

Значимость для науки и практики результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы для обоснования возможности продления срока эксплуатации существующих конструкций «мокрых» отдельно стоящих хранилищ отработавшего ядерного топлива.
- Материалы диссертации рекомендуется применять эксплуатирующими организациям для проведения мониторинга и ремонта эксплуатируемых конструкций ХОЯТ, а также в случае необходимости при разработке ряда нормативных документов или специальных технических условий.

- Результаты диссертационного исследования уже сейчас используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ПГУПС при подготовке специалистов и магистров по направлению «Строительство».
- Результаты диссертационного исследования были использованы на практике в АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» - «ВНИПИЭТ» (справка о внедрении № 200-СПБФ-230-7 от 24.09.2019).

### ***5. Оценка содержания диссертации, ее завершенность.***

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных результатов и выводов, заключения, списка литературы из 91-го источника. Объем диссертационного исследования составляет 153 страницы машинного текста, в данный объем входят 127 страниц основного текста, содержащих 98 рисунков и 25 таблиц.

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу.

#### **Общее впечатление о работе.**

В своей работе диссидентант разработал методологию системного и многофакторного обоснования сейсмостойкости эксплуатируемых конструкций «мокрых» отдельно стоящих ХОЯТ с учетом наиболее вероятного сценария отказа строительных конструкций при сейсмических воздействиях, на основании которой выполнен расчетно-теоретический анализ сейсмостойкости рассматриваемого объекта и даны рекомендации по повышению его прочности и устойчивости в случае сейсмической опасности.

Это основной фрагмент работы, который подлежит защите и вполне удовлетворяет требованиям к кандидатской диссертации, как научно-квалификационной работе.

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формируются цели исследования и задачи, а также приводится краткое содержание всех глав диссертации.

**В первой главе** представлен анализ конструктивных решений ХОЯТ, выявлен наиболее уязвимый к землетрясениям тип хранилища. Даны оценка

различных факторов влияющих на колебание строительных конструкций при сейсмических воздействиях, особое внимание уделено наличию повреждений в строительных конструкциях. Приведены примеры аварий «мокрых» ХОЯТ. Выполнен обзор существующих подходов и требований к обеспечению прочности строительных конструкций ХОЯТ. В конце главы сформулирована цель и задачи исследования.

По объему проанализированной литературы и степени ее проработки можно судить о высокой степени эрудиции автора в рассматриваемой области.

Во второй главе представлены основные материалы по разработке научно обоснованной методологии системного и многофакторного обоснования сейсмостойкости длительно эксплуатируемых «мокрых» ХОЯТ. На основании опыта строительства и эксплуатации «мокрых» ХОЯТ выявлен комплекс основных и дополнительных факторов риска, влияющих на сейсмостойкость этих объектов при землетрясениях. Построено «дерево отказов» и дана их количественная оценка, которая показала, что наиболее вероятным сценарием развития запроектной аварии в случае землетрясения является падение технологического оборудования и строительных конструкций на перекрытие отсеков хранения или на хранимое ядерное топливо. При этом следует отметить, что рассматриваемые конструкции эксплуатируемых ХОЯТ отличаются существенно различной жесткостью, а именно нижняя часть состоит из жестких монолитных конструкций, а верхняя представляет ярко выраженную гибкую конструкцию и в случае сейсмической опасности возможна серьезная раскачка верхней части и её обрушение, что подтверждается последствиями сильных землетрясений на объектах, имеющих аналогичные с ХОЯТ конструктивные особенности.

В главе показано, что при рассматриваемой конструктивной системе, основными факторами, влияющими на сейсмостойкость строительных конструкций, являются грунтовые условия, наличие ОЯТ и его распределение в хранилище, частотный состав сейсмического воздействия, планировочные и конструктивное решение нижней части сооружения. В зависимости от

перечисленных факторов в рассматриваемой главе проведены подробные численные исследования с использованием программных средств Abaqus и SCAD.

Результаты исследований, представленные в этой главе, отличаются новизной и имеют важное практическое значение.

В третьей главе основное внимание уделено важности учета трещин и повреждений в эксплуатируемых «мокрых» ХОЯТ. Автор отмечает, что для выполнения исследования им было проанализировано состояние существующих ХОЯТ на основании натурных наблюдений, взятых из практики строительства. В главе представлен предлагаемый алгоритм учета трещин в рассматриваемых конструкциях ХОЯТ. На основании выполненных расчетных исследований установлено, что повреждения могут оказать существенное влияние на его сейсмостойкость, при этом возникают чрезмерные взаимные перемещения элементов конструкций ХОЯТ. Для ограничения этих перемещений автором предлагается проведение различных конструктивных мероприятий, снижающих эти перемещения, в качестве которых автором рекомендуется вводить, например, дополнительные железобетонные контрфорсы, поперечные железобетонные ребра жесткости, перемычки и т.п., а также предлагается устройство замкового типа (подана заявка на полезную модель регистрационный № 2021108300 от 26.03.2021).

Представленные в главе результаты являются важным материалом для эксплуатирующих организаций, позволяющий им обоснованно осуществлять мониторинг и ремонт рассматриваемых объектов исследования.

В четвертой главе были рассмотрены варианты повышения сейсмостойкости «мокрых» отдельно стоящих ХОЯТ, а именно подобрано рациональное конструктивное исполнение монолитных железобетонных конструкций, заменяющих каркасную часть сооружения, выполнена оценка особенностей поведения строительных конструкций в случае усиления грунтов основания.

Результаты, представленные в этой главе диссертации, отличаются новизной и практической значимостью.

В заключении формируются основные выводы диссертационной работы.

Анализ вышеизложенного материала определяет высокую оценку диссертационной работы С.М. Травина в целом. При этом следует подчеркнуть, что все основные этапы исследований выполнялись лично автором.

#### **6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Автором сформулировано 9 основных результатов и выводов. Выводы, сформулированные автором, достаточно полно отражают основные результаты выполненной работы.

Первый вывод – констатирующий. Автор выполнил анализ различных типов хранилищ отработавшего ядерного топлива и установил, что наиболее уязвимыми к землетрясению являются построенные много лет назад «мокрые» ХОЯТ с гибкой каркасной верхней частью, являющейся слабым звеном таких сооружений. Автором установлен данный факт на основании изучения отечественной и зарубежной литературы, анализа поведения объектов, имеющих аналогичные конструктивные особенности и решения. Этот вывод соответствует действительности.

Второй вывод касается разработки методологии системного многофакторного обоснования сейсмостойкости отдельно стоящих ХОЯТ, основанной на наиболее вероятном сценарии отказа строительных конструкций. Этот вывод диссертации весьма важен для проведения расчетно-теоретического анализа сейсмостойкости отдельно стоящих ХОЯТ в зависимости от различных факторов, а именно грунтовых условий, наличия отработавшего ядерного топлива и его распределения в хранилище, частотного состава сейсмического воздействия, наличия повреждений и особенностей конструктивных решений самого объекта. Этот вывод имеет серьезное обоснование, характеризуется новизной и достоверностью.

Третий вывод – констатирующий, он устанавливает тот факт, что для рассматриваемых объектов наиболее неблагоприятной ситуацией является сочетание низкочастотных воздействий и мягких грунтов. Показано, что ответные ускорения оказываются в 3 раза интенсивнее, чем при таком же воздействии на жестком грунте и в несколько десятков раз интенсивнее, чем в случае сочетания мягкого грунта и высокочастотного воздействия. Результаты этого вывода достаточно корректны и имеют важное практическое значение.

Четвертый вывод также констатирующий, он устанавливает наиболее вероятный сценарий отказа строительных конструкций отдельно стоящих ХОЯТ при сейсмических воздействиях. Вывод имеет большое значение для оценки надежности рассматриваемого объекта во время землетрясения. Однако логично было бы этот вывод объединить со вторым.

Пятый вывод также констатирующий. Устанавливает степень влияния компонент сейсмического воздействия на эксплуатируемые конструкции ХОЯТ в зависимости от свойств грунтового основания. Вывод конкретен и имеет важное практическое значение. Сформулирован вывод несколько громоздко.

Шестой вывод содержательный. Автор отмечает, что при эксплуатации рассматриваемых ХОЯТ рекомендуется отказаться от уплотненного хранения отработавшего топлива, по возможности держать отсеки хранения как можно менее загруженными, топливо рекомендуется распределять равномерно. Обоснование полученных результатов не вызывает возражений и весьма важно для оценки сейсмостойкости эксплуатируемых ХОЯТ.

Седьмой вывод представляется весьма важным с научной точки зрения. Автором дана оценка влияния на сейсмостойкость эксплуатируемых ХОЯТ, наличие в их конструкциях повреждений. Показано, что при их наличии могут возникнуть чрезмерные взаимные перемещения, что в результате приведет к обрушению объекта. Даны конструктивные рекомендации по ограничению взаимных перемещений строительных конструкций.

Вывод характеризуется новизной и имеет большое практическое значение.

Восьмой вывод содержит конструктивное решение в виде сдвоенных плит с промежуточными ребрами, обеспечивающее прочность большепролетных стен и перекрытий ХОЯТ при землетрясении.

Достоверность и обоснованность этого вывода подтверждается расчетными исследованиями, отличается новизной и практической значимостью. В качестве замечания следует отметить некорректное употребление слова «большепролетные стены». Слово «большепролетное» относится ближе к плитам перекрытия.

Девятый вывод относится к случаю, когда выполняется усиление основания существующих ХОЯТ или при проектировании были применены свайные фундаменты, наличие которых положительно скажется на сейсмостойкости ХОЯТ. Вывод имеет важное практическое значение и не вызывает возражений.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений.

Автореферат и публикации по результатам исследований в полной мере отражают основное содержание диссертационной работы. По теме диссертации автором опубликовано 14 научных работы, 7 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus. Основные результаты исследований получили апробацию на отраслевых научно-практических конференциях.

## ***7. Критические замечания и недостатки***

1. В третьей главе рассматривается вопрос о влиянии наличия повреждений в конструкциях ХОЯТ на их сейсмостойкость, моделирование трещин осуществлялось в программном комплексе Abaqus, однако в диссертации не в полной мере отражен процесс моделирования этого трещинообразования.

2. В исследовании рассматривались сейсмические воздействия ярко выраженного низкочастотного и высокочастотного характера, между тем, в исследовании следовало бы учесть среднечастотные воздействия, которые также

могут оказать свое негативное влияние на работу эксплуатируемых конструкций ХОЯТ.

3. Автор работы рассматривает взаимодействие сооружения с основанием с использованием простейших подходов, в частности, жесткость основания моделируется «пружиной». Такой подход известен в расчётных исследованиях и допустим, однако для рассматриваемого объекта, имеющего заглубленную значительную часть и протяженность, следовало бы учесть и другие модели взаимодействия сооружения с основанием.

4. Целесообразно было бы упомянуть о развитии нетрадиционных методах оценки сейсмостойкости сооружений в условиях неполной и неопределенной исходной информации (Работы Шульмана С.Г. и др.).

Сделанные замечания не сказываются на общей положительно оценке диссертационной работы.

***8. Заключение о соответствии диссертации установленным Положением ВАК.***

Диссертация Травина Сергея Михайловича «Сейсмостойкость эксплуатируемых строительных конструкций отдельно стоящих хранилищ отработавшего ядерного топлива», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на высоком научном уровне и содержит важные для практики результаты. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований дана оценка сейсмостойкости эксплуатируемых отдельно стоящих хранилищ отработанного топлива с учетом наиболее вероятного сценария отказа строительных конструкций при сейсмических воздействиях с разработкой практических рекомендаций по продлению безопасного функционирования этих объектов. Результаты этой работы имеют важное значение для обеспечения надежности работы объектов ядерной энергетики.

В диссертации приведены все необходимые ссылки на те работы, результатами которых пользовался автор.

Результаты работы соответствуют пункту 2 паспорта специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции здания и сооружения»: (технические науки); пункт 2: «Обоснование, разработка и оптимизация объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, экономической и конструкционной безопасности на основе математического моделирования с использованием автоматизированных средств исследований и проектирования».

Диссертационная работа Травина С.М. соответствует критериям, установленным в "Положении о порядке присуждения ученых степеней", утвержденном Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Травин Сергей Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.23.01. – «Строительные конструкции здания и сооружения».

Согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата технических наук Травина С.М. и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент  
доктор технических наук (05.23.02 –  
«Основания и фундаменты,  
подземные сооружения»)  
ведущий научный сотрудник отдела  
«Статика и сейсмостойкость  
бетонных и железобетонных  
сооружений» Акционерного  
общества «Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
гидротехники имени Б.Е. Веденеева»,  
195220, г. Санкт-Петербург, ул.  
Гжатская д. 21  
E-mail: Ulalbert@gmail.com  
Тел.: 89500224341

И. У. Альберт

Личную подпись И. У. Альберта  
удостоверяю: Начальник  
отдела управления персоналом



12.05.2021



**Сведения об официальном оппоненте:**

Альберт Июля Ушерович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Статика и сейсмостойкость бетонных и железобетонных сооружений» Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»,

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук на тему «Методы количественной оценки надежности «системы» Основание-фундамент-сооружение с устройствами сеймоизоляции и сейсмозащиты» по специальности 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения» защищена в 2011 г.