



Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)
111250, г. Москва,
вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово,
ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru
<https://mpei.ru>

«УТВЕРЖДАЮ»

Помощник проректора,
Исполняющий обязанности
проректора по научной работе
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



Гаджиев К.Г.

2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Скориковой Марии Игоревны

«Влияние реологических характеристик бетона и воздействие неравномерной нагрузки на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Актуальность темы и взаимосвязь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Стратегия развития атомной энергетики России на перспективу до 2050 г. предусматривает увеличение доли АЭС в производстве электроэнергии при одновременном усилении требований к безопасности атомных электростанций. При этом особое внимание уделяется обоснованию эксплуатационной пригодности, долговечности и безопасности защитной оболочки реакторного отделения АЭС, которая является последним барьером на пути распространения радиоактивных продуктов в окружающую среду при аварии.

Целью представленной к рассмотрению диссертационной работы Скориковой М.И. является решение актуальной задачи – исследование влияния реологических характеристик бетона и неравномерного распределения нагрузки на напряженно-деформированное состояние (НДС) защитной оболочки (ЗО) атомной электростанции. Своевременность и существенная необходимость результатов работы в части усовершенствования подходов к определению напряженно-деформированного состояния защитной оболочки, анализа возможности продления срока службы на основе оценки изменения свойств материалов и действующих нагрузок, имеют высокую ценность для решения практических задач по прогнозированию промышленной безопасности и рисков эксплуатации защитных оболочек АЭС.

В этой связи актуальность рассматриваемой диссертационной работы, посвященной безопасности защитных оболочек АЭС не вызывает сомнений.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что впервые применительно к конкретной конструкции защитной оболочки на основе данных натурных наблюдений и с применением методов численного моделирования проведена оценка влияния усадки и ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов оболочки с учетом их реальной геометрии, наличия зон концентрации напряжений и стержневой арматуры, реальной трассировки армоканатов системы преднапряжения защитной оболочки (СПЗО) и измеренных усилий их натяжения.

Для проведения расчетных исследований защитной оболочки ВВЭР-1000 разработаны детальные конечноэлементные модели, которые включают стальную облицовку на внутренней поверхности, слой стержневой арматуры вблизи внутренней и наружной поверхности, утолщения в окрестности крупных технологических проходов и опорное кольцо, в окрестности которых формируется неоднородное напряженно-деформированное состояние.

Впервые применительно к конструкции эксплуатирующейся защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1000 выполнен всесторонний сравнительный анализ реологических характеристик бетона, полученных на основе применения нормативных зависимостей и результатов испытаний в лабораторных условиях образцов, отобранных на этапе возведения оболочки, а также на основе данных натурных наблюдений и расчетных исследований НДС с применением детальных численных моделей ЗО, который показал, что имеется значительное расхождение в параметрах реологии бетона (усадки и ползучести), полученных указанными способами. В результате определены уточненные параметры реологии бетона с учетом данных натурных наблюдений, особенностей обжатия армоканатами СПЗО, собственного веса и эксплуатационной температуры, которые используются на этапе оценки НДС и эксплуатационной пригодности действующих защитных оболочек.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Полученные автором диссертации научные результаты дают возможность уточненного определения параметров реологических процессов в бетоне по данным натурных наблюдений и их использования для численного моделирования процессов деформирования и изменения параметров НДС действующих, строящихся и проектируемых защитных оболочек АЭС при эксплуатации и воздействии аварийных нагрузок.

Практическая значимость диссертационной работы Скориковой М.И. заключается в том, что результаты исследований влияния усадки и ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние защитных оболочек АЭС использовались для верификации расчетных моделей защитных оболочек и программных средств (получено свидетельство о регистрации программы «CONT» №2021615371 от 07.04.2021), применяемых для расчета защитных оболочек АЭС. Полученные расчетные данные об изменении усилий в канатах системы преднапряжения защитной оболочки с увеличением времени

эксплуатации вследствие проявления реологических свойств бетона, позволяют прогнозировать достаточность обжатия и безопасность эксплуатации конструкции на всех стадиях жизненного цикла защитной оболочки АЭС. Автор разработал практические рекомендации по учету реологических характеристик бетона при оценке изменения напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС и снижению трещинообразования в оболочках от нагрузок, действующих внутри сечения стенки.

Путем численного моделирования изучен вопрос возникновения эллиптичности и трещинообразования в стенке защитной оболочки АЭС при воздействии нагрузок от работающего полярного крана в период возведения сооружения для симметричных по центральной оси оболочки вариантов нагружения крана, а также несимметричных при смещении нагрузки вдоль оси крана к стенке ЗО (случай погрузки корпуса реактора при его установке). Разработана детальная модель цилиндрической части защитной оболочки с подкрановой консолью и краном, включающая слои стержневой арматуры и облицовку.

Анализ расчетных данных показал, что в зоне подкрановых консолей, ближайших к опорным конструкциям крана, имеет место характерное выпучивание стенки оболочки, которое связано с совместным деформированием крана, подкрановых путей и стенки оболочки. Сравнение расчетных и экспериментальных данных по величине перемещений стенки при монтаже крана показало хорошее соответствие результатов. Расчет напряженно-деформированного состояния защитной оболочки при монтаже корпуса реактора показал, что в результате выпучивания наружу стенки защитной оболочки вблизи транспортного коридора на внешней поверхности бетонной стенки оболочки возникают растягивающие окружные и меридиональные напряжения, превышающие предел прочности бетона на растяжение, вследствие чего в зонах расположения подкрановых консолей на внешней стороне защитной оболочки могут образовываться меридиональные трещины. Выявление причин образования трещин на наружной поверхности оболочки на стадии ее возведения

позволило сформулировать рекомендации по снижению воздействия внешней среды за счет покрытия теплоизоляционным слоем наружной поверхности выше обстройки, что позволит увеличить срок службы защитной оболочки.

Для снижения опасных последствий воздействия внешней среды на защитную оболочку ее наружную поверхность, находящуюся выше обстройки, рекомендуется покрыть теплоизоляционным слоем (создать условия, близкие к условиям внутри обстройки), что позволит увеличить срок службы защитной оболочки и снизить вероятность образования трещин в зоне влияния полярного крана.

В диссертации проведен анализ особенностей распределения компонентов НДС в стенке защитной оболочки при воздействии нагрузки со стороны армоканатов СПЗО на полиэтиленовые каналообразователи, образующие внутри стенки круглые отверстия, являющиеся концентраторами напряжений. Уже на стадии натяжения армоканатов в каналообразователи вводится инъектирующий раствор. При этом дополнительное давление в каналообразователе может вызвать образование трещин в бетоне особенно в зонах перемычек между перекрещивающимися каналообразователями. Разработана детальная конечноэлементная модель защитной оболочки, в которой смоделированы реальная геометрия каналообразователей с учетом их геликоидальной траектории и их расположением по толщине стенки в три слоя, герметизирующая облицовка, стержневая арматура в кольцевом, меридиональном и радиальном направлениях. Проведенные расчеты НДС показали, что при одновременном инъектировании срединного и наружного или внутреннего каналов максимальные главные напряжения в зонах наиболее тонких перемычек бетона между перекрещивающимися каналами при наличии полиэтиленовых каналообразователей достигают 2 МПа, что может приводить к образованию трещин в бетоне перемычки (в локальной области). Проведенный анализ позволил сделать выводы, имеющие практическую значимость, о необходимости исключения попадания инъекционного раствора в соседние каналообразователи, в этой связи рекомендуется предъявлять повышенные

требования к узлам соединения полиэтиленовых каналобразователей, а также необходимо исключить одновременное инъецирование срединного и наружного или внутреннего каналобразователей.

Полученные в работе данные, модели и результаты могут быть использованы для расчетного прогнозирования безопасности эксплуатации защитных оболочек АЭС и для анализа эксплуатационной пригодности других сооружений из предварительно напряженного железобетона.

Разработанные расчетные модели и теоретические положения могут использоваться отраслевыми, проектными, эксплуатирующими и ремонтными организациями для обоснования безопасности АЭС при сооружении, техническом обслуживании и ремонте защитных оболочек на объектах использования атомной энергии, а также служить базой для создания учебно-методических пособий и учебных рабочих программ для студентов старших курсов строительных специальностей и будущих инженеров топливно-энергетического комплекса.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность результатов диссертационной работы связана с использованием автором фундаментальных методических положений в области механики деформируемого твердого тела, применением верифицированного программного комплекса CONT, аттестованного в Ростехнадзоре, для расчетов параметров НДС строительных конструкций, включая защитные оболочки. Достоверность результатов расчетов НДС действующей защитной оболочки подтверждается данными экспериментальных исследований и показаниями датчиков контрольно-измерительной аппаратуры.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по диссертации

Диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой логически завершенный научный труд, а выносимые на защиту положения обладают научной новизной и в достаточной степени обоснованы. В диссертации рассмотрена комплексная проблема оценки напряженно-деформированного состояния ЗО АЭС, предложены расчетные модели, проведены расчеты и выработаны рекомендации по повышению эксплуатационных характеристик защитной оболочки.

Замечания:

1) В настоящее время при строительстве новых атомных электростанций применяются дополнительные пассивные системы безопасности, а именно, в проекте АЭС-2006 используется двойная защитная оболочка. Тогда как в диссертации рассматриваются данные только по одинарным защитным оболочкам. Рекомендуется в дальнейшем выполнить подобный расчетный анализ для двойных оболочек, сравнив результаты с полученными в диссертации.

2) Программа расчета напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и защитных оболочек АЭС «CONT», разработанная в соавторстве с коллегами, не указана в списке основных публикаций по теме диссертации, хотя является основным программным средством, использованным для разработки моделей и выполнения расчетов.

3) Список литературы по диссертации включает большое количество проанализированных работ, значительная часть которых были опубликованы во второй половине XX века. Следовало бы сделать упор на изучение трудов последних лет, сделанных российскими и иностранными учеными в рассматриваемой области.

4) В названии диссертации слово «воздействие» необходимо было написать в родительном падеже. Такое измененное название точнее бы

соответствовало содержанию работы, ведь изучалось именно влияние воздействия неравномерной нагрузки.

5) В диссертации описанию метода и методики исследований уделена лишь одна страница. Не описаны реологические модели, не указаны их принятые в расчёте значения, не описана методика численного моделирования изменения напряженно-деформированного состояния во времени.

6) Недостаточно раскрыты причины расхождения результатов численного моделирования и лабораторных экспериментальных исследований ползучести бетона. Следовало бы выполнить численное моделирование самих лабораторных экспериментов.

7) Из диссертации не ясно, выполнялись ли расчёты напряженно-деформированного состояния защитной оболочки на температурные воздействия и как эти воздействия были заданы.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертационной работы Скориковой М.И. полностью соответствует основным положениям диссертации и в полном объеме отражает основное содержание работы, выводы и рекомендации.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Все результаты диссертационного исследования опубликованы, докладывались на российских и международных конференциях и подробно изложены в списке публикаций автора.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Таким образом, диссертационная работа Скориковой Марии Игоревны на тему: «Влияние реологических характеристик бетона и воздействие неравномерной нагрузки на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС» является научно-квалификационной работой, которая содержит совокупность теоретических положений, практических расчетных моделей для получения детальной картины напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС с учетом реологических свойств бетона при воздействии эксплуатационных нагрузок, которые можно квалифицировать как научное достижение; содержит решение научной проблемы трещинообразования в стенке защитной оболочки АЭС при воздействии нагрузок от работающего полярного крана и от давления инъекционного раствора при заполнении каналобразователей; содержит ряд научно обоснованных рекомендаций по снижению негативных воздействий при возведении ЗО и монтаже оборудования, внедрение которых будет способствовать улучшению эксплуатационных качеств и увеличению срока службы защитной оболочки АЭС.

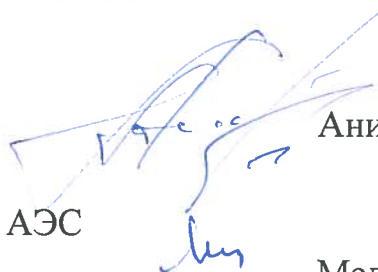
Диссертационная работа Скориковой Марии Игоревны на тему: «Влияние реологических характеристик бетона и воздействие неравномерной нагрузки на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС» соответствует паспорту специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» и отвечает требованиям п.п. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы Скорикова Мария Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 –

Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Отзыв составлен на основании положительного заключения расширенного заседания кафедры атомных электрических станций с участием представителя кафедры энергетических и гидротехнических сооружений (протокол № 21/07-2022 от 21.07.2022) по результатам рассмотрения диссертации и автореферата, а также личного выступления Скориковой М.И.

Кафедра атомных электрических станций (АЭС)

Зав. кафедрой АЭС
канд. техн. наук



Аникеев Александр Викторович

Профессор кафедры АЭС
докт. физ.-мат. наук

Мелихов Олег Игорьевич

Подписи Аникеева А.В., Мелихова О.И. заверяю



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
КАФЕДРЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
Л.И. ПОЛЕВАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Адрес: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.14

Тел.: +7(495) 362-70-01, +7(495) 362-75-60

Электронная почта: universe@mpei.ru

Сайт: <http://www.mpei.ru>