

ОТЗЫВ

**официального оппонента Панасюка Леонида Николаевича
на диссертационную работу Скориковой Марии Игоревны на тему: «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 работы

В современных условиях развития энергогенерирующих предприятий страны особая роль отводится строительству атомных электростанций. Проблемы безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии связаны, прежде всего, с качественным проектированием, эффективным строительством и ответственной эксплуатацией. Поскольку оболочка является пассивной системой безопасности, последним физическим барьером на пути распространения радиоактивных материалов и ионизирующих излучений, повышенное внимание уделяется эксплуатационной пригодности, долговечности и надежности конструкции. Исследование строительных решений, применяемых материалов и действующих нагрузок, представляется неременным условием развития таких объектов безопасности атомной электростанции, как защитная герметичная оболочка, и является актуальной задачей сегодняшнего дня. Именно по этой причине актуальность исследуемой автором диссертации проблемы не вызывает сомнений.

Диссертационная работа Скориковой М.И. посвящена вопросам исследования влияния реологических характеристик бетона и воздействия неравномерной нагрузки на напряженно-деформированное состояние (НДС) защитной оболочки (ЗО) атомной электростанции (АЭС). Специфика расчетного анализа напряженно-деформированного состояния, проведенного автором, состоит в разработанных детальных численных моделях, позволяющих учитывать влияние реологических свойств бетона и воздействие неравномерной нагрузки внутри сечения стенки сооружения.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертационная работа Скориковой М.И. состоит из введения, 3 глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы из 192 библиографических ссылок, списка основных публикаций соискателя по теме диссертации из 8 наименований. Диссертация изложена на 120 страницах, содержит 7 таблиц и 60 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость работы, достоверность результатов, личный вклад автора, информация об апробации работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту, приведены публикации по теме исследования.

В **первой главе** формулируется постановка задачи, приведен обзор литературы, рассмотрены ключевые конструктивные особенности и нагрузки, действующие на защитную оболочку.

Во **второй главе** выполнен всесторонний анализ влияния усадки и ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС на основе результатов расчета, экспериментальных данных и результатов натуральных наблюдений.

В результате анализа экспериментальных данных по определению прочностных и деформационных характеристик укладываемого в защитную оболочку энергоблока №3 Ростовской АЭС бетона было выявлено соответствие бетона принятому классу.

Выполненное автором исследование влияния экзотермии бетона на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки №3 Ростовской АЭС на основе показаний датчиков контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) показало возможность трещинообразования в массивном бетоне вследствие проявления термического характера.

Проведенная автором оценка результатов показаний датчиков с момента окончания преднапряжения защитной оболочки до начала приемо-сдаточных испытаний показала увеличение сжимающих напряжений в стержневой арматуре и сжимающих деформаций в бетоне вследствие проявления деформаций ползучести бетона.

Результат выполненного автором сравнения расчетных, экспериментальных и натуральных данных деформаций усадки бетона показал существенное различие между натурными значениями и экспериментальными величинами. Автор отметил, что данное расхождение связано с различными температурными и влажностными условиями, наличием металлической облицовки и стержневой арматуры, различным массообменом с окружающей средой и масштабным фактором натурной конструкции.

По итогам второй главы автор выбрал направление дальнейшего исследования, выполненного в главе 3. Для получения объективной картины напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС с учетом реологических характеристик бетона необходимо использовать уточненные расчетные модели. Разработке которых и посвящена третья глава.

Третья глава посвящена описанию разработанных детальных численных моделей защитной оболочки АЭС и расчетному анализу напряженно-деформированного состояния

с учетом влияния реологических характеристик бетона и воздействия неравномерно распределенных нагрузок внутри сечения стенки сооружения.

Автор разработал следующие конечноэлементные модели защитной оболочки АЭС с применением программного комплекса CONT:

- модель $\frac{1}{2}$ цилиндрической части защитной оболочки с краном, состоящую из 1 396 263 узлов и 1 672 288 конечных элементов и имеющую одну плоскость симметрии – вдоль оси крана;
- модель $\frac{1}{4}$ защитной оболочки, состоящую из верхней и нижней частей, представляющих собой сектор 90° , на границах которого задавались условия симметрии; промоделированы реальная геометрия, положение каналаобразователей, стержневая арматура и герметизирующая облицовка;
- модель защитной оболочки с использованием 8-ми узловых объемных конечных элементов, в которой с помощью стержневых конечных элементов непосредственно моделировалась меридиональная и окружная арматура вблизи наружной и внутренней поверхности ЗО.

Следует отметить, что автор, для моделирования работы оболочки, использовал объемные конечные элементы. Считаю, что отказ от моделей оболочечного типа в данном случае правомерен, т.к. при значительной толщине оболочки использование моделей с априори введенными геометрическими соотношениями (относящихся к качественной картине деформации сооружения) приводят к неустраняемым погрешностям. В данном случае на точность моделирования влияют количественные параметры конечно-элементной аппроксимации. Автором выполнена значительная работа по оценке сходимости и обоснования корректности разработанной конечно-элементной модели.

С использованием разработанных моделей автор выполнил необходимый объем расчетов напряженно-деформированного состояния защитной оболочки, отражающий основные этапы ее возведения и цикла эксплуатации:

- на действие нагрузок полярного крана (собственный вес, воздействия при испытаниях и монтаже корпуса реактора), показавший характерное выпучивание стенки оболочки в зонах подкрановых консолей, ближайших к опорным конструкциям крана, способное приводить к образованию трещин на внешней поверхности ЗО;
- при воздействии нагрузок внутри стенки от давления инъекционного раствора, который показал, что при инъектировании канала под давлением 1 МПа при нарушении его герметичности в бетоне между перекрещивающимися каналами

могут образовываться трещины, поэтому необходимо исключать одновременное инъектирование срединного и наружного или срединного и внутреннего каналов;

- расчет с учетом ползучести бетона, показавший хорошее согласование расчетных данных с измеренными в натурной конструкции; проведенная автором оценка уровня потерь усилий в арматурных канатах показала, что действующие усилия натяжных анкеров арматурных канатов цилиндра превышают минимальные на 28,6 тс, а купола – на 13,8 тс.

В **заключении** диссертации обобщены результаты выполненных исследований, сделаны выводы и даны рекомендации, имеющие большое теоретическое и практическое значение для повышения безопасности АЭС.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается данными экспериментальных исследований и натурных наблюдений (показаниями датчиков контрольно-измерительной аппаратуры защитной оболочки АЭС) и применением для расчетов параметров напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС верифицированного программного комплекса CONT, аттестованного в Ростехнадзоре.

Представленные в диссертации результаты обладают **научной новизной**, наиболее существенными являются: результаты обобщения комплексных исследований физико-механических и реологических характеристик бетона при кратковременных и длительных нагрузках; разработанные детальные численные модели защитной оболочки; результаты расчетов напряженно-деформированного состояния защитной оболочки с учетом ползучести бетона, на действие нагрузок полярного крана и локальных нагрузок внутри сечения стенки защитной оболочки при воздействии давления инъекционного раствора; рекомендации по учету реологических свойств бетона при оценке изменения напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС и снижению трещинообразования в оболочках от нагрузок, действующих внутри сечения стенки.

Теоретическое и практическое значение работы

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что результаты исследований влияния усадки и ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние защитных оболочек АЭС использованы для верификации расчетных моделей ЗО и программных средств, применяемых для расчета защитных оболочек АЭС. Полученные расчетные данные об изменении усилий в канатах СПЗО с увеличением времени эксплуатации вследствие проявления реологических свойств бетона, позволяют прогнозировать достаточность обжатия защитной оболочки и безопасность эксплуатации конструкции на всех стадиях жизненного цикла.

Для действующих, строящихся и проектируемых защитных оболочек АЭС на основе современных численных методов (конечных элементов и суперэлементов) автором разработаны расчетные модели, способные выполнять многофакторный анализ НДС стенки защитной оболочки при воздействии нормальных и аварийных нагрузок с целью снижения трещинообразования в бетоне при испытаниях и эксплуатации полярного крана, при инъектировании каналовобразователей и преднапряжении ЗО.

Представленных в диссертации и автореферате данных достаточно для понимания личного вклада соискателя в получение основных результатов работы.

Наряду с неоспоримыми научными достоинствами и большой практической значимостью работы, к диссертации Скориковой М.И. имеются следующие **замечания**:

1. Рассмотрев во второй главе различные подходы учета ползучести, автором достаточно слабо рассмотрены вопрос использования конкретной гипотезы ползучести в выполненных в главе 3 серии расчетов.
2. Не отражены соотношения разрешающих уравнений в форме метода конечных элементов с учетом ползучести (глава 3). Автором использовался известный сертифицированный программный комплекс, в котором эти соотношения использованы. Однако считаю, что желательно приводить более подробные сведения об основных соотношениях на уровне физических зависимостей и то, как эти физические соотношения реализованы в использованном автором программном комплексе.
3. На графиках на рис. 3.4.6 – 3.4.8 по оси абсцисс отложены шаги итерационного процесса. Желательно было использовать временные параметры, т.к. величина шага интегрирования может варьироваться в разных расчетах. Кроме того, для принятия инженерных решений необходимо привязываться именно ко времени, а не к числу шагов численного интегрирования. Примером удачного представления результатов является, например, график на рис. 3.4.5.
4. Автором использован вариант гипотез ползучести, приводящий к линейным разрешающим уравнениям. Считаю, что использование нелинейной ползучести позволит усилить качество моделирования работы ответственного сооружения. Однако, из-за сложности моделирования нелинейной ползучести сооружений, данное замечание – в большей степени рекомендация по выполнению дальнейших исследований.

Отмечу, что сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

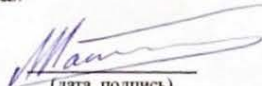
Заключение

Из представленных в диссертационной работе Скориковой М.И. материалов и результатов исследований можно сделать вывод, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой логически завершенный научный труд, а выносимые на защиту положения обладают научной новизной и в достаточной степени обоснованы. Диссертация рассматривает комплексную проблему и предлагает конкретные решения. Основные результаты работы опубликованы, докладывались на российских и международных конференциях.

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

По своей актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов, объему и содержанию выполненных исследований диссертационная работа Скориковой Марии Игоревны на тему: «Влияние реологических характеристик бетона и воздействие неравномерной нагрузки на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС» соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Техническая механика»
онского государственного
технического университета

5.09.2012 
(дата, подпись)

Л.Н. Панасюк

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Адрес: 344003, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Электронный адрес: <https://donstu.ru/>
Телефон: 8 800 100-19-30

Подпись автора отзыва Л.Н. Панасюка заверяю,

Ученый секретарь Ученого совета
(должность)



(подпись, печать)

Анисимов В.Н.
(Ф.И.О.)