

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента

Курлапова Дмитрия Валерьевича

на диссертационную работу **Кхона Кхемарака** на тему:

**ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ
ВЫСОКОПРОЧНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ НЕСОВПАДЕНИИ
ПЛОСКОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕПАДА И НАГРУЖЕНИЯ**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

Официальным оппонентом при подготовке отзыва на диссертационную работу были приняты к изучению следующие документы: диссертация на 152 страницах текста компьютерного набора, содержащая введение, четыре главы текста с выводами по главам, заключение, список использованной литературы из 133 наименований работ, 50 иллюстраций в виде таблиц и рисунков, два приложения, включая акт о внедрении, автореферат диссертации на 25 страницах, копии 9 статей соискателя, в том числе в рецензируемых изданиях.

Результаты анализа предоставленных материалов позволили сформулировать заключение о том, что диссертация Кхона Кхемарака на тему: «**Деформации и прочность изгибаемых элементов из высокопрочного железобетона при несовпадении плоскостей температурного перепада и нагружения**» отвечает признакам научно-квалификационной работы, соответствует паспорту научной специальности «2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения» в части пункта 3: «Развитие теории и методов оценки напряженного состояния, живучести, риска, надежности, остаточного ресурса и сроков службы строительных конструкций, зданий и сооружений, в том числе при чрезвычайных ситуациях, особых и запроектных воздействиях, обоснование критериев приемлемого уровня безопасности».

Актуальность избранной темы

Для большинства железобетонных конструкций балочного типа, подвергающихся температурным воздействиям, характерно несовпадение направления теплового потока с главными осями сечений балок. Для таких конструкций при неравномерном нагреве вследствие температурных перепадов характерно формирование неоднородности деформационных и прочностных свойств бетона и арматуры, а в статически неопределимых конструкциях – возникновение температурных моментов, с составляющими в вертикальной и горизонтальных плоскостях конструкций. Настоящему времени характерно применение во все возрастающих объемах высокопрочных модифицированных бетонов нового поколения. При этом в действующем СП 27.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях повышенных и высоких температур» отсутствуют данные о характеристиках свойств конструкционных бетонов классов по прочности на сжатие выше В60. Это сдерживает возможность применения таких бетонов в практике строительства. В указанном нормативном документе также отсутствуют рекомендации в части методов расчета конструкций балочного типа при сложной форме изгиба – косом изгибе, обусловленном неоднородностью характеристик свойств и напряженного состояния по высоте и ширине сечения при несовпадении плоскостей температурного перепада и нагружения.

Таким образом, тема диссертационной работы, направленной на развитие методов расчета железобетонных конструкций из высокопрочного бетона на наиболее сложный случай несовпадения плоскостей теплового потока и нагружения, является, бесспорно, актуальной, так как действующий СП 27.13330.2017 не содержит рекомендаций по расчету конструкций для таких случаев температурных и силовых воздействий.

Анализ и оценка содержания диссертации

Во введении представлено изложение актуальности темы диссертационной работы, степень ее разработанности, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, методы исследований, научная новизна и практическая значимость результатов работы, положения, выносимые на защиту, представлены сведения о публикациях автора и об апробации работы.

В первой главе представлен обзор экспериментальных и теоретических исследований влияния температуры и режимов нагрева, кратковременного и длительного, на характеристики деформационных и прочностных свойств обычных и высокопрочных бетонов. Рассмотрены также вопросы влияния длительного действия нагрузок на деформации ползучести бетонов в зависимости от температуры нагрева, длительности нагружения и предыстории нагрева и нагружения. Представлен обзор исследований влияния температурных перепадов и нагружения на характеристики НДС изгибаемых железобетонных элементов конструкций балочного типа, из обычного и высокопрочного бетона. Отмечено, что неоднородность механических и реологических свойств бетона, формирующаяся в направлениях температурных перепадов, является значимым фактором в формировании НДС статически неопределимых конструкций, в возникновении в них температурных усилий, которые не являются постоянными и изменяются (релаксируют) с течением времени. Показано, что при несовпадении направлений теплового потока с главными осями сечений элементов, как в более общем случае температурных и силовых воздействий, в статически неопределимых конструкциях возникает кривой изгиб, как более сложная форма напряженного состояния. Отмечено, что действующие нормативные документы, в частности в СП 27.13330.2018, не содержат рекомендаций по расчету деформаций и температурных усилий в железобетонных элементах, испытывающих кривой изгиб при сформированной неоднородности свойств бетона и арматуры как по высоте, так и по ширине расчетных сечений конструкций. Показано, что наиболее универсальными для решения подобных задач с учетом длительных процессов в бетоне, являются методы, построенные на основе нелинейной деформационной модели железобетона. Представлены основные соотношения деформационной модели, определены направления их развития в приложении к рассматриваемым в диссертации задачам.

Вторая глава диссертации содержит данные о составе исследованного высокопрочного бетона, описание конструкций опытных образцов стандартных форм в виде кубов и призм, а также основных конструкций в виде железобетонных балок. Представлено описание методов исследования характеристик механических и реологических свойств высокопрочного бетона в части методик проведения экспериментов, а также характеристик НДС статически неопределимых железобетонных элементов конструкций.

Отмечается более совершенная методика нагрева опытных образцов-призм и опытных балок с помощью регулирования электрического напряжения в

электрической цепи нихромовой проволоки, позволяющая создавать и стабильно поддерживать заданные температуры нагрева. Компактная форма нагревательных элементов позволяет производить измерения как продольных, так и поперечных деформаций образцов-призм, что не предусмотрено действующими стандартами. Отмечаются, что принятые в экспериментальных исследованиях размеры опытных образцов-балок позволяют моделировать неоднородность деформационных и прочностных свойств бетона в конструкциях вследствие температурных перепадов, что дает возможность оценить количественные характеристики релаксации температурных моментов при длительном нагреве.

Программы нагрева и нагружения опытных образцов, методы и средства измерения деформаций и усилий в конструкциях адекватны измеряемым величинам.

В третьей главе представлены результаты изучения экспериментальными средствами закономерностей влияния возраста бетона до начала испытаний, продолжительности нагревания до $+90^{\circ}\text{C}$ на прочностные и деформационные характеристики свойств высокопрочного бетона при осевом сжатии, на его температурно-усадочные деформации и деформации ползучести при уровне длительного нагружения сжатием $\eta_l = \sigma_l / R_b = 0,3$. Установлены показатели влияния на характеристики прочности и деформационных свойств высокопрочного бетона при осевом сжатии предварительного длительного обжата. Полученные данные подтверждают положительное влияние на прочность бетона длительного предварительного обжата до $\eta_l = 0,3$ в условиях нагрева до $+90^{\circ}\text{C}$. Показана возможность применения к прогнозированию изменений характеристик механических свойств высокопрочного бетона ранее разработанных аналитических соотношений для бетонов средних классов прочности при соответствующей корректировке количественных показателей. Это служит подтверждением единого механизма влияния повышенных температур на структуру и характеристики свойств бетонов средних и высоких классов прочности.

В четвертой главе диссертации представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований характеристик НДС в железобетонных элементах балочного типа из высокопрочного бетона при двух характерных этапах нагружения – при длительном неравномерном нагреве и последующим догрузением изгибающим моментом до разрушения.

Установлены закономерности влияния кратковременного и длительного одно- и двустороннего нагрева на характеристики НДС статически неопределимых

изгибаемых железобетонных элементов из высокопрочного бетона с учетом основных значимых факторов: неоднородности характеристик прочностных и деформационных свойств бетона и арматуры в направлениях температурных перепадов, физической нелинейности деформирования и работы с трещинами.

Результаты экспериментальных исследований явились основой для включения полученных данных в нелинейную деформационную модель железобетона.

Представлены результаты теоретических исследований с применением соотношений нелинейной деформационной модели железобетона, которые уточнены применительно к решаемым задачам данными о влиянии температурных воздействий на характеристики свойств высокопрочного бетона, полученными в третьей главе диссертации. Близкое соответствие расчетных величин опытным в части количественных характеристик трещиностойкости, деформаций и несущей способности подтверждает достоверность примененной модели для исследований НДС железобетонных элементов из высокопрочного бетона при сложных режимах воздействий неравномерного нагрева и изгибающих моментов в несовпадающих плоскостях.

Результат обобщения данных экспериментальных и теоретических исследований представлен автором в приложении А в форме предложений по уточнению методик СП 27.13330.2017 в части расчетов температурных, усадочных деформаций высокопрочного бетона, а также температурных усилий, прочности и деформаций изгибаемых элементов из высокопрочного железобетона для сложных режимов неравномерного нагрева и нагружения в несовпадающих плоскостях.

В заключении изложены основные выводы по результатам исследований, отражающие главные результаты диссертационной работы, которые, в целом, подтверждают достижение цели и решение соответствующих задач диссертации, научную новизну и практическую значимость результатов.

Оценка степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений

Выбор направления исследований, формулирование цели и задач диссертационной работы выполнены автором на основе анализа результатов экспериментально-теоретических исследований отечественных и зарубежных

специалистов, а также на основе критической оценки действующих методов расчета конструкций на совместные температурные и силовые воздействия.

Решение поставленных в диссертации задач выполнено комплексно на основе экспериментальных и теоретических исследований по характерным программам температурного и силового нагружения. Предложения по развитию методик расчета конструкций исследуемого типа разработаны на основе результатов экспериментальных и теоретических исследований как самого автора, так и привлеченных для анализа результатов других исследователей.

Отмечается достаточно полное опубликование результатов исследований в 9 научных статьях, в том числе включенных в информационные базы ВАК, SCOPUS и РИНЦ. Результаты работы прошли апробацию в обсуждениях на 6 представительных научных конференциях, в том числе международных.

Достоверность основных результатов и выводов, представленных в диссертации, подтверждается данными экспериментальных исследований автора с применением стандартных методов испытаний, с использованием метрологически аттестованного испытательного оборудования и поверенных измерительных средств. Результаты теоретических исследований обоснованы применением развиваемой нелинейной деформационной модели железобетона на основе общепринятых гипотез и допущений с достаточно близким соответствием результатам экспериментальных исследований. Результаты диссертационного исследования рекомендованы к внедрению в учебный процесс в лекционные курсы для магистрантов и аспирантов.

Новизна научных результатов

Научную новизну результатов работы составляют полученные автором экспериментально и теоретически новые знания о закономерностях изменений температурных усилий и их релаксации в статически неопределимых железобетонных элементах-балках из высокопрочного бетона в зависимости от принятых режимов неравномерного нагрева. Установлены зависимости: влияния кратковременного и длительного нагрева до $+90^{\circ}\text{C}$ на величины температурно-усадочных деформаций, на прочность, начальный модуль упругости и предельные деформации высокопрочного бетона при кратковременном осевом сжатии, а также на его деформации ползучести, на прочность и характеристики деформационных свойств при повторных нагружениях осевым сжатием после длительного обжатия,

которые использованы для развития метода расчета строительных конструкций из высокопрочного бетона; а также характеристик трещиностойкости, деформаций и несущей способности элементов балочного типа из высокопрочного бетона от величин возрастающих изгибающих моментов и перепадов температуры в несовпадающих плоскостях. Выявлены зависимости характеристик напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов балочного типа из высокопрочного бетона от характерных режимов воздействия температурных перепадов и возрастающего нагружения в несовпадающих плоскостях.

Практическая значимость работы

Важным практическим результатом работы является разработка в развитие СП 27.13330.2017 рекомендаций по учету влияния кратковременного и длительного нагрева до $+90^{\circ}\text{C}$ на прочность и деформационные характеристики высокопрочных бетонов классов В80 в части коэффициентов температурных деформаций, температурной усадки, коэффициентов ползучести, а также предложений по уточнению методик расчета температурных усилий и деформаций для изгибаемых элементов железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при несовпадении плоскостей температурных перепадов и нагружения. Основные результаты диссертационной работы получили обсуждение по результатам докладов на всероссийских и международных конференциях.

Обоснованность выводов и рекомендаций

Выводы, представленные в конце каждой главы и в заключении, отражают основные результаты исследований и подтверждают достижение цели и решение задач диссертации. Рекомендации по развитию методик расчета элементов железобетонных конструкций на сложные комбинации температурных и силовых воздействий основаны на обобщении результатов экспериментальных и теоретических исследований как автора диссертации, так и привлеченных им для анализа результатов других авторов. Обоснованность выводов и рекомендаций подтверждается достаточно близким соответствием расчетных значений опытным величинам.

Значимость полученных результатов для науки и практики

В диссертации представлены результаты анализа данных экспериментальных и теоретических исследований, полученных как самим автором, так и данных других отечественных и зарубежных исследователей в части температурно-усадочных деформаций, деформационных и прочностных свойств высокопрочного модифицированного бетона как при кратковременном, так и при длительном сжатии в условиях кратковременного и длительного нагрева до 90°C. Подтверждено проявление единого механизма влияния повышенных температур на структуру и характеристики свойств бетонов средних и высоких классов прочности при установленных количественных отличиях.

Получены данные экспериментальных и теоретических исследований изменений характеристик НДС железобетонных элементов балочного типа из высокопрочного бетона при характерных режимах температурных и силовых воздействий, обуславливающих сложные виды деформаций, в том числе криволинейный изгиб.

Результаты исследований представлены в виде рекомендаций автора для включения в СП 27.13330.2017 в части развития методов расчета железобетонных конструкций при сложных вариантах температурных и силовых воздействий с учетом температурно-усадочных деформаций, деформаций ползучести, характеристик деформационных и прочностных свойств высокопрочного бетона исследованного состава в диапазоне воздействий повышенных температур до +90°C, а также в части определения температурных усилий и деформаций железобетонных элементов балочного типа при несовпадении плоскостей температурного перепада и нагружения

Замечания по тексту диссертации

1. В первой главе диссертации достаточно подробно рассмотрены закономерности сезонных изменений климатических температур в странах Юго-Восточной Азии. Однако данные этого анализа не нашли применения в последующих главах диссертации.

2. Исследования деформаций усадки и ползучести бетона в условиях воздействий повышенных температур выполнены на образцах относительно малых размеров 100*100*400мм. Реальные конструкции, как правило, имеют большие размеры. Из текста диссертации не совсем ясно, как сопоставлялись полученные

автором результаты с данными других авторов, например Волкова А.С., Корсуна А.В. и других, полученных на образцах-призмах размером 150*150*600мм?

3. Не ясно, какой продолжительности нагрева соответствует применяемое в диссертации понятие «длительный нагрев».

4. Уровень длительного обжата призм, равный $\eta = 0,3 \cdot R_b$, представляется недостаточно высоким для полноценной оценки нелинейности деформаций ползучести высокопрочного бетона в условиях воздействий повышенных температур.

5. В примененных автором соотношениях нелинейной деформационной модели применен отдельный учет физической нелинейности деформирования и длительных деформаций в бетоне, обусловленных его ползучестью. Развиваемый в настоящее время совместный учет кратковременных и длительных деформаций в бетоне в форме диаграмм-изохрон был бы более удобен для реализации в физических соотношениях в задачах подобного типа.

6. В тексте диссертации указано, что в расчетах с применением программы «BRUS» на основе нелинейной деформационной модели моделировались в конструкции последовательно режимы температурных воздействий на конструкции и последующих силовых догрузений. Следовало бы в диссертации пояснить, какие исходные данные задавались в расчетах на указанных этапах испытаний.

7. Из текста диссертации не совсем ясно, какие условия принимались за критерии прочности бетона, арматуры и конструкции в целом в расчетах по нелинейной деформационной модели?

8. Не указаны количественные параметры сходимости итерационных процессов на этапах нагревания и нагружения конструкции, то есть, за сколько итераций достигалась сходимость в расчетах на этапах первого кратковременного нагрева, длительного нагрева, на этапах возрастающего нагружения.

Заключение

Отмеченные замечания не снижают теоретической и практической значимости диссертационной работы Кхона Кхемарака, которая представляется законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержит научные результаты, выводы и рекомендации, отвечающие критериям научной новизны и практической значимости. Автореферат по содержанию и оформлению соответствует тексту диссертации и требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

