

строительство, эксплуатацию, реконструкцию и ликвидацию зданий. Интеграция современных технологий прогнозирования (в частности, нейросетевых моделей) и обоснованных управленческих решений в данные процессы позволяет значительно улучшить их эффективность, надежность и экономическую обоснованность, в связи с чем исследование, направленное на разработку методов управления жизненным циклом гражданских зданий с железобетонным каркасом с использованием нейросетевого прогнозирования остаточного ресурса несущих конструкций с учетом влажностных условий эксплуатации, представляет собой актуальную и значимую научную и практическую задачу и представляется весьма актуальной.

Актуальность работы подтверждается результатами, полученными при выполнении проекта №Оф-14/23 программы развития БГТУ им. В.Г. Шухова «Приоритет 2030» на 2021-2030 гг.

2. Структура и содержание работы

Представленная диссертация Никулиной Ю.А. состоит из введения, основной части – 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 192 страницах машинописного текста, включающего 24 таблицы, 57 рисунков, список литературы из 181 источника, 8 приложений.

Во введении соискателем обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, основные положения, выносимые на защиту, показана степень достоверности полученных результатов, приведены данные по апробации и внедрению результатов работы.

В первой главе диссертации обоснована необходимость повышения эффективности процесса управления жизненным циклом объекта капитального строительства. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс управления жизненным циклом объекта капитального строительства, среди которых – длительный срок использования строительной продукции, большое количество участников, задействованных в создании и дальнейшей эксплуатации объекта и др. Отмечено, что в зданиях с железобетонным каркасом состояние несущих конструкций является критически важным фактором для обеспечения безопасности и комфортного нахождения людей, поэтому при исчерпании несущей способности элементов каркаса здания, можно говорить о выходе из строя объекта капитального строительства в целом. Обоснована среди прочих аспектов необходимость учета влияния влажностных условий на железобетонные конструкции в процессе длительной эксплуатации. Проведен анализ существующих исследований в данном направлении и сделан вывод о том, что на текущий момент нет разработанной методики расчета длительной прочности бетона, готовой к применению. Требуется разработка методики, в том числе с учетом воздействия на несущие элементы влажностных условий эксплуатации.

Во второй главе сформированы цель и задачи применения искусственной нейронной сети. Определен ряд параметров, которые влияют на остаточный

ресурс несущего каркаса гражданского здания, и которые планируются для включения в датасет искусственной нейронной сети. Обоснована методология применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования остаточного ресурса гражданских зданий. Выбрана архитектура персептрона с нелинейной функцией активации в скрытом слое и квазиньютоновским алгоритмом оптимизации параметров, реализованная в программном пакете STATISTICA Neural Networks. Сформирована структура обучающего датасета на основе системного анализа факторов деградации строительных конструкций при длительной эксплуатации. Обоснован перечень входных данных, необходимых для решения задачи определения параметров, влияющих на остаточный ресурс гражданского здания. Разработана комплексная процедура обучения и валидации модели, включающая стратифицированное разделение данных с сохранением распределения целевой переменной, кросс-валидацию с разделением по объектам для исключения утечки информации, регуляризацию весовых коэффициентов и механизм ранней остановки с последующей оценкой валидации обученной модели на независимом контрольном подмножестве.

В третьей главе с помощью постулата профессора В.М. Бондаренко о постоянстве величины удельной потенциальной энергии разрушения бетона были разработаны методики трансформирования диаграмм деформирования бетона из режима центрального кратковременного сжатия и растяжения в режим неоднородного сжатия и растяжения. На основании энергетического подхода к трансформированию диаграмм деформирования бетона получена методика, позволяющая преобразовать параметры диаграмм кратковременного неоднородного сжатия и растяжения в их аналоги для длительного режима нагружения. Были уточнены параметры предельных сопротивлений при неоднородном сжатии и соответствующих относительных деформаций для всех классов бетона при их длительной эксплуатации для трех диапазонов влажностных условий. Были рассчитаны параметры предельных сопротивлений и относительных деформаций бетона всех классов при неоднородном растяжении для трех диапазонов влажностных условий эксплуатации. Разработана методика определения деформативно-прочностных характеристик бетона несущих железобетонных конструкций с учетом их длительной эксплуатации в различных влажностных условиях. Была разработана методика определения параметров НДС изгибаемых и внецентренно сжатых конструкций в любой момент времени длительно эксплуатируемых объектов капитального строительства.

В четвертой главе диссертации сформирован репрезентативный обучающий датасет для прогнозирования остаточного ресурса гражданского здания на основе комплексных данных по зданию школы в г. Белгород. Установлено, что архитектура искусственной нейронной сети с количеством нейронов во внутреннем слое от 20 до 30 обеспечивает оптимальный баланс между аппроксимационной точностью и устойчивостью к переобучению. Минимальное значение среднеквадратической ошибки на контрольной выборке достигается при 26 нейронах в скрытом слое, тогда как дальнейшее увеличение числа нейронов приводит к деградации обобщающей способности

модели при одновременном росте вычислительных затрат. Коэффициент детерминации на тестовой выборке составил 0,88, а распределение остатков соответствует нормальному закону, что подтверждает отсутствие систематических погрешностей и адекватность регрессионной аппроксимации. Внешняя валидация обученной нейросетевой модели на независимом датасете (здание школы в г. Пермь, отличающееся климатическими условиями) подтвердила ее обобщающую способность: сохранение точностных характеристик в условиях экстраполяции свидетельствует о выявлении физически обоснованных закономерностей деградации конструкций, а не о запоминании специфики обучающей выборки. Сравнительный анализ результатов нейросетевого прогнозирования остаточного ресурса здания школы в г. Пермь со значениями, полученными на основании результатов обследования, позволяет сделать вывод о том, что обученная искусственная нейронная сеть может применяться для прогнозирования сроков остаточного ресурса гражданских зданий со сборным железобетонным каркасом с учетом усредненных значений относительной влажности воздуха при их эксплуатации.

В пятой главе разработан механизм принятия управленческих решений по объекту капитального строительства, обеспечивающий возможность повышения сроков службы как проектируемых гражданских зданий с несущим железобетонным каркасом, так и уже существующих объектов на основании усредненных значений относительной влажности воздуха при их эксплуатации. Обоснована экономическая эффективность (экономия) предлагаемого подхода к управлению жизненным циклом зданий на этапах проектирования и эксплуатации. Увеличение жизненного цикла гражданских зданий со сборным железобетонным каркасом при управлении сроком службы несущих конструкций, исходя из влажностных условий на стадии эксплуатации возможно до 10 %, на стадии проектирования – до 11 %, при управлении сроком службы несущих конструкций, исходя из характеристик их сечений на стадии проектирования – до 30 %. Разработана дизайн-схема управления жизненным циклом гражданских зданий нейросетевым прогнозированием остаточного ресурса их несущих конструкций.

Результаты исследований апробированы в производственных условиях на предприятии ООО «ЦЕНТРОГИПРОРУДА» на стадии проектирования и ООО «ЭКОМИР ЖБК-1» на стадии эксплуатации.

Имеются акты о внедрении результатов диссертационной работы.

В заключении приводятся выводы по работе. Содержание глав полностью соответствует выносимым на защиту положениям.

В приложениях приведен фрагмент обучающего датасета, собранного на основе данных о здании школы в г. Белгород за 50 лет, графическая интерпретация механизма управления жизненным циклом гражданских зданий с железобетонным каркасом с учетом влажностных условий их эксплуатации, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и ноу-хау, акты внедрения и справка о внедрении результатов работы в учебный процесс.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Для обоснования цели и задач исследований автор провел анализ отечественной и зарубежной литературы по теме диссертационной работы. Обоснованность и достоверность полученных результатов исследований обеспечена применением научных принципов и выполненным комплексом исследований, основанных на методиках оценки жизненного цикла объектов капитального строительства, с обеспечением сопоставимости полученных результатов с общепринятыми данными, фактами и работами других ученых. Заключение диссертационной работы в полной мере отражает основные результаты исследования, обоснованы пути дальнейшего развития темы.

Достоверность результатов также подтверждается положительной оценкой докладов автора более чем на 7 научно-практических конференциях.

Основное содержание работы отражено в 15 публикациях, из которых: 6 статей в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025683583 и № 2020616406, а также свидетельство о регистрации ноу-хау № 20260004.

4. Научная новизна

Обосновано и экспериментально подтверждено организационно-техническое решение, заключающееся в совершенствовании механизмов управления жизненным циклом объектов капитального строительства с разработкой модели искусственной нейронной сети для прогнозирования сроков исчерпания несущей способности несущих железобетонных конструкций каркасных гражданских зданий с учетом влажностных условий их эксплуатации.

Разработана методика прогнозирования деформативно-прочностных свойств бетона несущих железобетонных конструкций с учетом влажностных условий для оценки параметров их напряженно-деформированного состояния в различные периоды длительной эксплуатации с определением остаточного ресурса.

Разработана модель искусственной нейронной сети для оценки и прогнозирования остаточного ресурса объекта капитального строительства с учетом влажностных условий его эксплуатации и предложен механизм оптимизации модели посредством оценки влияния ее архитектуры на время обучения и точность прогноза.

Разработаны научно-теоретические основы технологии управления жизненным циклом гражданских зданий с железобетонным каркасом, базирующиеся на нейросетевом прогнозировании значений остаточного ресурса несущих конструкций с учетом влажностных условий их эксплуатации и предложении на его основе рациональных технических решений по увеличению срока безопасной эксплуатации объектов капитального строительства.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Дополнены теоретические представления о возможности применения искусственной нейронной сети для прогнозирования остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций каркасных гражданских зданий с учетом влажностных условий их эксплуатации.

Обоснованы параметры предельных сопротивлений и деформаций бетона при его неоднородном сжатии и растяжении для трех граничных случаев влажностных условий эксплуатации железобетонных конструкций в составе каркасных гражданских зданий.

Разработана методика определения напряженно-деформированного состояния изгибаемых и внецентренно сжатых несущих железобетонных конструкций каркасных гражданских зданий в различные периоды их эксплуатации с учетом влажностных условий.

Предложен механизм принятия управленческих решений для гражданских зданий с железобетонным каркасом, способствующий увеличению срока безопасной эксплуатации до 30 % на этапе проектирования и до 10 % на этапе эксплуатации на основе использования методики определения параметров напряженно-деформированного состояния несущих железобетонных конструкций при длительных нагрузках в зависимости от влажностных условий окружающего воздуха в помещениях.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Обоснованное и экспериментально подтвержденное организационно-техническое решение, заключающееся в совершенствовании механизмов управления жизненным циклом объектов капитального строительства с разработкой модели искусственной нейронной сети для прогнозирования сроков истощения несущей способности несущих железобетонных конструкций каркасных гражданских зданий с учетом влажностных условий их эксплуатации позволяет на основании данных по относительной влажности за предыдущий период практически на всем протяжении жизненного цикла объекта, начиная с момента проектирования, определять остаточный срок службы несущего каркаса здания и принимать оптимальные управленческие решения по его продлению.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Теоретические и экспериментальные положения диссертационной работы могут быть рекомендованы для внедрения в практику деятельности проектных организаций, строительных и эксплуатационных компаний, а также могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистрантов по направлению «Строительство» и аспирантов по научной специальности 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства».

8. Замечания

1. Применима ли разработанная соискателем методика расчета деформативно-прочностных характеристик бетонов при неоднородном длительном сжатии и растяжении с учетом влажностных условий на завершающем этапе эксплуатации гражданских зданий для других видов бетонов, например, мелкозернистых, легких, ячеистых бетонов?

2. На страницах 69 и 74 текста диссертации в таблицах 3.2 и 3.3 приведены результаты расчетов деформативно-прочностных характеристик бетонов классов *B10-B60* применительно к неоднородному длительному сжатию и растяжению с учетом влажностных условий на завершающем этапе эксплуатации гражданских зданий. Однако неясно, был ли произведен расчет параметров для более высоких классов бетона?

3. На странице 80 текста диссертации на рисунке 3.5 приведены зависимости изменения предельного сопротивления сжатию бетона класса *B30* от времени при эксплуатации в благоприятных, нормальных и неблагоприятных условиях. Однако не указано, для каких конкретно значений относительной влажности построены данные зависимости?

4. На странице 138 текста диссертации указано, что при поддержании усредненного значения относительной влажности воздуха 55 % срок жизненного цикла здания возможно увеличить на 10,8 % по сравнению со значением 30 %. Почему в качестве верхнего предела не было принято более высокое значение относительной влажности воздуха в пределах допустимого диапазона для длительного нахождения людей в помещении, например, 60 %?

5. На странице 136 текста диссертации указано, что, варьируя параметрами сечения железобетонного элемента можно продлить срок его службы на 9–30 %. Чем обусловлен данный диапазон значений, если, согласно данным таблицы 5.2, значение относительного отклонения от первоначального прогноза 0 % при увеличении площади сжатой арматуры и 1,1 % при увеличении класса растянутой арматуры?

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Никулиной Юлии Александровны.

9. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертационная работа Никулиной Юлии Александровны на тему: «Управление жизненным циклом гражданских зданий с железобетонным каркасом с учетом влажностных условий их эксплуатации», является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

