

*На правах рукописи*



**Фёдоров Владимир Юрьевич**

**ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК  
С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность: 05.26.03 — Пожарная и промышленная безопасность  
(технические науки, отрасль строительство)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы  
МЧС России на кафедре пожарной безопасности в строительстве  
(в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Ройтман Владимир Миронович**

Официальные оппоненты: **Хасанов Ирек Равильевич**,  
доктор технических наук, старший научный  
сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России,  
научно-исследовательский центр нормативно-  
технических проблем пожарной безопасности  
(НИЦ НТП ПБ), главный научный сотрудник

**Гравит Марина Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ  
ВО «Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого», Высшая школа  
промышленно-гражданского и дорожного  
строительства Инженерно-строительного  
института, доцент

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-  
исследовательский центр «Строительство»

Защита состоится «01» февраля 2022 г. в 10 часов 00 минут на заседании  
диссертационного совета Д 205.002.02 при Академии Государственной  
противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва,  
ул. Бориса Галушкина, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на  
сайте <https://academygps.ru/upload/iblock/a50/a50b4c6db6c18c8d1cd5c789e7b60ad5.pdf>

Автореферат разослан «03» декабря 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



А.Б. Сивенков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Техническое состояние строительных объектов (конструкций, зданий, сооружений) в зависимости от условий и длительности эксплуатации постепенно ухудшается вследствие развития процессов износа, возникающих в материале строительных конструкций. Ухудшение технического состояния строительных конструкций приводит к снижению их несущей способности и, соответственно, к снижению их огнестойкости.

Современные методы нормирования и проектирования огнестойкости строительных конструкций не позволяют учитывать влияние их технического состояния в условиях эксплуатации на огнестойкость. В основном в практике обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений рассматриваются строительные конструкции с проектными характеристиками.

Реальное техническое состояние строительных конструкций при пожаре не соответствует проектному значению в этих условиях и приводит к недооценке реальной опасности пожара для эксплуатируемых зданий и сооружений.

Таким образом, возникает необходимость в проведении специальных исследований, направленных на разработку методов оценки огнестойкости зданий и сооружений, выполненных из железобетонных конструкций, в частности железобетонных балок, учитывающих влияние изменения их технического состояния на огнестойкость в условиях эксплуатации.

**Степень разработанности темы исследования.** В области оценки огнестойкости строительных конструкций существует большое количество работ по проведенным экспериментальным и теоретическим исследованиям. Основные принципы оценки фактической огнестойкости конструкций были заложены в работах М.Я. Ройтмана, В.И. Мурашева, А.И. Яковлева, А.Ф. Милованова, В.В. Жукова, К. Kordina, Т. Harmathy.

Дальнейшее развитие методов расчета огнестойкости строительных конструкций продолжили В.М. Ройтман, В.И. Голованов, Н.И. Зенков, В.П. Бушев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, В.С. Федоров, В.Л. Страхов, В.В. Соломонов, В.Г. Олимпиев, А.Н. Дмитриев и др.

Анализ работ и действующих нормативных документов по пожарной безопасности показал, что до сих пор отсутствуют методы оценки огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации, а также нормы по пожарной безопасности, регламентирующие учет влияния технического состояния строительных конструкций на их огнестойкость на протяжении всего срока эксплуатации.

Учитывая тот факт, что механизм утраты огнестойкости железобетонных балок учеными достаточно хорошо изучен, в настоящей диссертационной работе при исследовании вопросов влияния технического состояния на огнестойкость железобетонных балок целесообразно использовать метод численного моделирования теплофизической задачи. Это позволит достичь максимальной

точности проводимых вычислений без проведения трудоемких и дорогостоящих натуральных огневых испытаний.

В настоящей диссертационной работе было установлено, что использование существующих линейных зависимостей коэффициента теплопроводности и теплоемкости при проведении численного моделирования теплофизической задачи огнестойкости не позволяет учитывать процессы тепловлагопереноса, происходящие в локальных объемах бетона. Вследствие чего возникает необходимость в проведении дополнительных исследований особенностей численного моделирования теплофизической задачи при оценке огнестойкости железобетонных балок.

Изучение технических отчетов и обобщенных результатов исследований одного из крупнейших советских и российских ученых в области технологии и организации строительного производства, член-корреспондента РААСН, профессора, доктора технических наук Александра Алексеевича Афанасьева позволило сделать следующий вывод: несущая способность (техническое состояние) железобетонных конструкций на протяжении всего срока эксплуатации может изменяться в очень широких пределах и весьма существенно влиять на срок эксплуатации.

Кроме этого, в настоящей диссертационной работе установлено, что оценка технического состояния строительных объектов основывается на использовании достаточно обширного списка нормативных документов, рекомендаций и пособий, в которых приведены различные классификации эксплуатируемых строительных конструкций по категориям технического состояния. Однако отсутствует классификация, позволяющая проводить оценку огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

Существует концепция по оценке огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций, разработанная профессором В.М. Ройтманом, в которой предлагаются понятия о проектном  $P_{\phi}^{пр}$ , эксплуатационном  $P_{\phi}^{экс}$  пределах огнестойкости строительных конструкций, о коэффициенте утраты огнестойкости эксплуатируемой конструкции. Важно отметить, что в рамках развития данной концепции необходимо провести исследования особенностей изменения коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок в зависимости от их технического состояния в условиях эксплуатации.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, была сформулирована **научно-техническая гипотеза** диссертационной работы, суть которой заключается в предположении, что изменение технического состояния строительных конструкций (в частности, железобетонных балок) может приводить к опасной утрате огнестойкости конструкций. Отсутствие данных о снижении огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации приводит к недооценке реальной опасности пожара для эксплуатируемых зданий и сооружений.

**Цель работы** — разработка метода оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**:

1) разработка общей схемы оценки огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;

2) исследование особенностей численного моделирования теплофизической задачи при оценке огнестойкости железобетонных балок;

3) определение коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок в зависимости от их технического состояния в условиях эксплуатации;

4) разработка классификации железобетонных балок по категориям технического состояния с учетом изменения эксплуатационных пределов огнестойкости;

5) разработка предложений в нормативные документы по пожарной безопасности, учитывающих влияние технического состояния в условиях эксплуатации строительных конструкций на их огнестойкость.

**Объект исследования** — огнестойкость железобетонных балок.

**Предмет исследования** — огнестойкость железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

– при исследовании особенностей численного моделирования теплофизической задачи огнестойкости железобетонных балок была выявлена необходимость специального учета зависимостей коэффициентов теплопроводности и теплоемкости бетона в зависимости от его начального влагосодержания в интервале температур 20–90 °С и волны повышенного влагосодержания, возникающей внутри конструкции при пожаре, и в интервале температур 90–140 °С;

– впервые обнаружена незначительная чувствительность значений коэффициента утраты огнестойкости к конструктивному исполнению различных типов железобетонных балок в зависимости от уровня снижения их несущей способности (технического состояния) при воздействии стандартного температурного режима пожара. Получена теоретическая зависимость коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок  $C_n^f = 0,9966 - 0,016\Delta\Phi$ , произведена оценка надежности полученной линейной теоретической зависимости и построен доверительный интервал;

– на основе выявленной незначительной чувствительности значений коэффициента утраты огнестойкости к конструктивному исполнению различных типов железобетонных балок была разработана классификация железобетонных балок по категориям технического состояния с учетом изменения эксплуатационных пределов огнестойкости;

– опираясь на совокупность полученных результатов, впервые был разработан метод оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

**Теоретическая и практическая значимость** диссертационной работы заключается в:

- разработке программного комплекса по определению фактической огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- разработке предложений в нормативные документы по пожарной безопасности, регламентирующих влияние технического состояния строительных конструкций на их пределы огнестойкости в условиях эксплуатации;
- разработке ряда примеров по оценке пределов огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- разработке проекта раздела справочного пособия по оценке фактической огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- использовании полученных результатов при проведении оценки огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- возможности прогнозирования огнестойкости железобетонных балок проектируемого здания на момент окончания его рекомендуемого срока эксплуатации при известных условиях эксплуатации;
- возможности дальнейшего развития теории огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

**Методология и методы исследования.** Основу теоретических исследований составляли теория и методы оценки огнестойкости строительных конструкций (В.И. Мурашев, М.Я. Ройтман, А.И. Яковлев, А.Ф. Милованов, В.М. Ройтман, В.В. Жуков, В.В. Соломонов, В.С. Федоров, В.Л. Страхов, К. Kordina., Т. Harmathy и др.); концепция оценки огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации (В.М. Ройтман); результаты многолетних огневых испытаний железобетонных балок на огнестойкость; численный метод (программный комплекс *Ansys Mechanical*) решения задач теплопередачи в капиллярно-пористых телах.

Информационной основой исследования служили материалы научно-исследовательских работ, отечественные и зарубежные литературные источники по теме диссертации.

**Положения, выносимые на защиту:**

- общая схема оценки огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- метод оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- особенности численного моделирования теплофизической задачи при оценке огнестойкости железобетонных балок;

- линейная зависимость коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок от их технического состояния в условиях эксплуатации;
- классификация железобетонных балок по категориям технического состояния с учетом изменения эксплуатационных пределов огнестойкости;
- программный комплекс по оценке фактической огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации;
- примеры оценки огнестойкости железобетонных балок в зависимости от их технического состояния в условиях эксплуатации.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается: использованием существующих результатов огневых испытаний железобетонных балок на огнестойкость; использованием существующих результатов обследования технического состояния строительных объектов; использованием валидированного и верифицированного программного комплекса *Ansys Mechanical* при решении теплофизической задачи огнестойкости; адекватностью программной модели реальным процессам тепловлагодпереноса в системе «источник нагрева — бетонная поверхность»; удовлетворительной сходимостью полученных результатов численного решения тепло-физической задачи огнестойкости эталонных железобетонных балок с результатами огневых испытаний аналогичных конструкций; внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей.

#### **Материалы диссертации реализованы:**

- в практической деятельности ООО «МаксСтрой» при проектировании зданий и сооружений из железобетонных конструкций, предназначенных для работы в агрессивных средах;
- в практической деятельности ООО «Белтехстрой» при проектировании огнестойкости железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях повышенной влажности окружающей среды;
- в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при разработке учебника и курса лекций по дисциплине «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», а также при разработке справочного пособия;
- в практической деятельности ООО «Фарро», а именно, разработанный метод оценки эксплуатационных пределов огнестойкости железобетонных балок применялся при проектировании огнестойкости железобетонных балок дистрибьюторского центра «Есипово», расположенного по адресу: Московская область, Солнечногорский район, д. Есипово, с учетом возможного воздействия на них условий эксплуатации.

**Основные результаты работы представлены** на 8 научно-практических конференциях:

- 25-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности — 2016» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016);

– 20-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство — формирование среды жизнедеятельности» (Москва, МГСУ, 2017);

– 26-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности — 2017» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017);

– 8-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 2017);

– Научном семинаре «Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы», проводимом в рамках 6-й Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» (Москва, МГСУ, 2018);

– Международной научно-практической конференции «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности», посвященная юбилею Академии (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018);

– 7-й Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019);

– 9-й Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021).

**Публикации результатов исследования.** По теме исследования опубликовано 11 научных работ, из них 2 – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 176 страницах текста, включает в себя 8 таблиц, 30 рисунков, список литературы из 107 наименований, 5 приложений на 63 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации и степень ее разработанности, сформулированы научно-техническая гипотеза, цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, представлены методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе** приведен анализ состояния вопроса по теме диссертации, рассмотрены результаты отечественных и зарубежных огневых испытаний железобетонных балок. Также проанализированы существующие методы расчета огнестойкости строительных конструкций. Было установлено, что основные принципы расчета фактической огнестойкости конструкций были заложены в работах В.И. Мурашева, М.Я. Ройтмана, А.И. Яковлева,

А.Ф. Милованова, В.В. Жукова, К. Kordina, Т. Harmathy. Дальнейшее развитие методов расчета огнестойкости обеспечили В.М. Ройтман, В.И. Голованов, Н.И. Зенков, В.П. Бушев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, В.С. Фёдоров, В.Л. Страхов, В.В. Соломонов, В.Г. Олимпиев, А.Н. Дмитриев.

Анализ работ указанных авторов показал, что до настоящего времени оценка огнестойкости строительных конструкций производилась на основе данных о пределах огнестойкости конструкций, полученных при стандартных огневых испытаниях до начала эксплуатации.

В диссертационной работе показано, что на протяжении всего срока эксплуатации зданий и сооружений, в них происходят сложные процессы изменения их технического состояния. Указанные процессы возникают в результате внутренних и внешних воздействий на строительные конструкции зданий и сооружений (рисунок 1).



Рисунок 1 – Факторы, воздействующие на строительные конструкции на протяжении всего срока эксплуатации

Оценка технического состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций проводится на основании результатов обследования технического состояния.

Изменение технического состояния строительных конструкций во время эксплуатации приводит к снижению их несущей способности. Результаты исследований, проведенных одним из крупнейших советских и российских ученых в области технологии и организации строительного производства, член-корреспондентом РААСН, профессором, доктором технических наук А.А. Афанасьевым подтверждают, что несущая способность (техническое состояние) железобетонных конструкций на протяжении всего срока эксплуатации меняется в зависимости от условий их эксплуатации (рисунок 2).

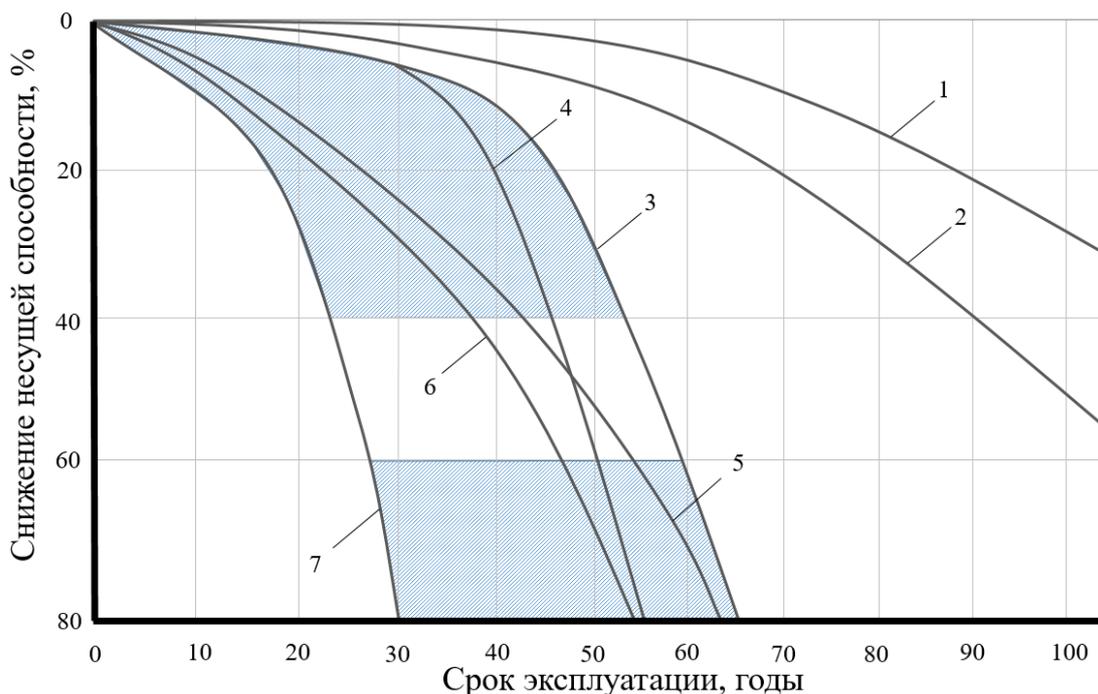


Рисунок 2 — Особенности изменения несущей способности железобетонных конструкций в зависимости от времени и условий их эксплуатации (А.А. Афанасьев):

- 1 — конструкции внутренних частей зданий при нормальной эксплуатации;
- 2 — конструкции внутренних частей зданий при нарушении эксплуатационного режима;
- 3 — конструкции наружных стен; 4, 5, 6 — конструкции, подверженные увлажнению и знакопеременным температурным воздействиям; 7 — заглубленные конструкции фундамента при воздействии агрессивных сред

Необходимо обратить внимание на то, что несущая способность строительных конструкций является ключевым показателем, влияющим на значения огнестойкости этих конструкций. Поэтому снижение несущей способности строительных конструкций во время эксплуатации, несомненно, оказывает существенное влияние на огнестойкость конструкций, зданий и сооружений.

Анализ нормативных документов показал, что в системе нормирования противопожарной защиты строительных объектов важное место занимает обеспечение требуемой огнестойкости зданий и сооружений. Это требование норм должно выполняться на протяжении всего срока эксплуатации строительных объектов. Однако современные методы нормирования и проектирования огнестойкости строительных конструкций не позволяют учитывать влияние технического состояния в условиях эксплуатации на их огнестойкость. В практике обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений рассматриваются строительные конструкции с проектными характеристиками. В условиях существующей нормативной базы отсутствие данных о снижении огнестойкости конструкций приводит к недооценке реальной опасности пожара для эксплуатируемых зданий и сооружений.

Следует отметить, что отсутствует классификация, позволяющая проводить оценку огнестойкости строительных конструкций с учетом изменения их технического состояния в условиях эксплуатации.

Исходя из вышеизложенного, возникает необходимость в проведении специальных исследований, направленных на разработку методов оценки огнестойкости зданий и сооружений, выполненных из железобетонных конструкций, в частности железобетонных балок, учитывающих влияние технического состояния в условиях эксплуатации и разработки справочного пособия, позволяющего проводить оценку фактической огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

Возможность решения проблемы оценки огнестойкости строительных конструкций с учетом изменения их технического состояния в условиях эксплуатации лежит в основе концепции профессора В.М. Ройтмана, в которой заложен ряд новых понятий и определений: проектный предел огнестойкости конструкций  $\Pi_{\phi}^{\text{пр}}$ , эксплуатационный предел огнестойкости конструкций  $\Pi_{\phi}^{\text{экс}}$ , коэффициент утраты огнестойкости эксплуатируемой конструкции  $C_n^f$ .

**Во второй главе** представлена разработанная общая схема оценки огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации, отражающая качественный характер возможного изменения огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций (рисунок 3).

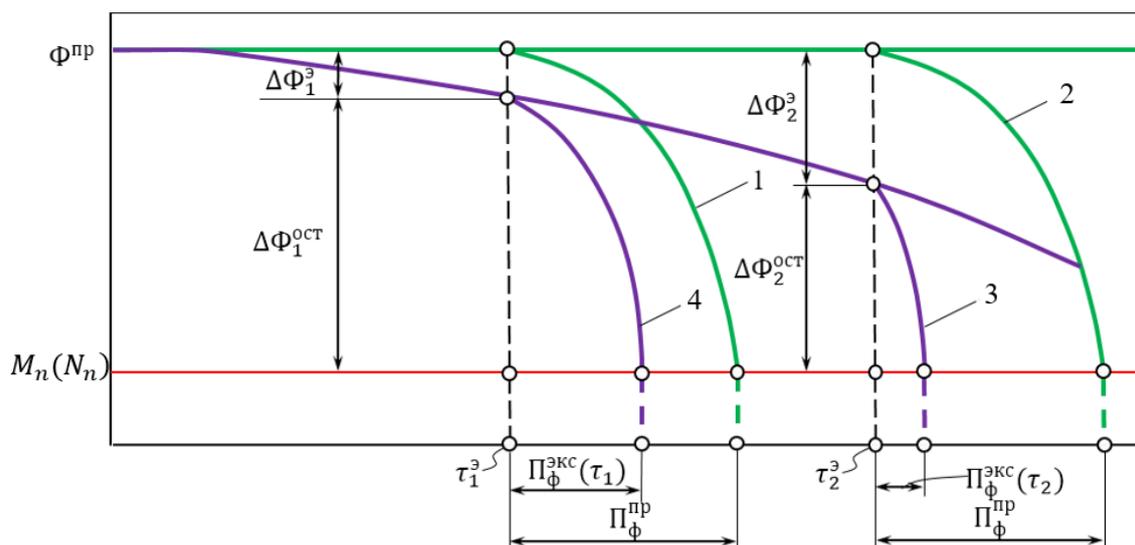


Рисунок 3 — Разработанная общая схема оценки огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации:

1, 2 — утрата проектной несущей способности при пожаре; 3, 4 — утрата эксплуатационной несущей способности при пожаре в любой момент времени эксплуатации  $\tau_1^э, \tau_2^э$

При оценке огнестойкости принимается проектное значение несущей способности, которое ошибочно считается неизменным на протяжении всего срока эксплуатации. Во время пожара рассматривается интенсивное снижение несущей способности (кривые 1, 2 на рисунке 3) до величины рабочей нагрузки  $M_n(N_n)$ . Время, за которое происходит этот процесс, называется

проектным пределом огнестойкости  $P_{\phi}^{пр}$ . Однако во время эксплуатации зданий и сооружений в течение многих лет непрерывно происходит постепенная деградация свойств материалов конструкций и, как следствие, непрерывная утрата несущей способности  $\Delta\Phi_1^3, \Delta\Phi_2^3$  конструкций, значение которой в любой момент времени эксплуатации  $\tau_1^3, \tau_2^3$  будет существенно отличаться от своего проектного значения  $\Phi^{пр}$ . Снижение несущей способности при пожаре в этом случае будет происходить намного более интенсивно (кривые 3, 4 на рисунке 3). Отрезок времени от начала воздействия пожара  $\tau_1^3, \tau_2^3$  до полной утраты несущей способности (кривые 3, 4 на рисунке 3) является эксплуатационным пределом огнестойкости  $P_{\phi}^{экс}(\tau_1), P_{\phi}^{экс}(\tau_2)$ . Необходимо отметить, что чем больше срок эксплуатации до пожара, тем меньше будет эксплуатационный предел огнестойкости  $P_{\phi}^{экс}$ .

Выявленные особенности снижения огнестойкости вследствие изменения технического состояния строительных конструкций определили возможность разработки метода оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации. Общая схема разработанного метода приведена на рисунке 4.



Рисунок 4 — Общая схема метода оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации

Отличительной особенностью разработанного метода от существующих инженерных методов оценки огнестойкости конструкций является набор дополнительных процедур, направленных на определение технического состояния.

Согласно общей схеме разработанного метода, эксплуатационные пределы огнестойкости железобетонных балок  $\Pi_{\Phi}^{\text{эксп}}$  с учетом их технического состояния определяются на основании проектных пределов огнестойкости балок  $\Pi_{\Phi}^{\text{пр}}$  с учетом коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f$ .

Коэффициент утраты огнестойкости  $C_n^f$  определяется по таблице 1 (приведена в 3 главе) на основании категории технического состояния железобетонных балок, установленной по результатам технического обследования.

Искомое значение эксплуатационного предела огнестойкости  $\Pi_{\Phi}^{\text{эксп}}$  равно произведению проектного предела огнестойкости  $\Pi_{\Phi}^{\text{пр}}$  и коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f$  и определяется по формуле

$$\Pi_{\Phi}^{\text{эксп}} = C_n^f \Pi_{\Phi}^{\text{пр}}. \quad (1)$$

Заключительным этапом оценок огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации является проверка условия соответствия эксплуатационного предела огнестойкости требованиям нормативных документов по пожарной безопасности:

$$\Pi_{\Phi}^{\text{эксп}} \geq \Pi^{\text{тр}}. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, то момент времени  $\Pi_{\Phi}^{\text{эксп}}$  характеризует исчерпание ресурса несущей способности и определяет тем самым огнестойкость конструкции на момент установления категории технического состояния. Если условие (2) не выполняется, то на момент установления категории технического состояния конструкция не соответствует требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Реализация разработки метода оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации стала возможной в результате проведения серии вычислительных экспериментов (численное моделирование теплофизической задачи и решения прочностной задачи огнестойкости на основе зонного подхода для железобетонных балок).

Проведение численного моделирования теплофизической задачи огнестойкости железобетонных балок проводилось при помощи метода конечных элементов в вариационной постановке, реализованного в программном комплексе *Ansys Mechanical*. При проведении численного моделирования задавались граничные условия 3-го рода, которые характеризуются:

- изменением температуры  $t_B$ , К, во времени  $\tau$ , с, согласно уравнению

$$t_B = 345 \lg(0,133\tau + 1) + t_H; \quad (3)$$

- коэффициентом теплоотдачи  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), от среды пожара к поверхности конструкции:

$$\alpha = 29 + (3,9 - 0,0023 \cdot t_0) \frac{\left(\frac{t_B}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_0}{100}\right)^4}{t_B - t_0}. \quad (4)$$

Здесь  $t_0$  — температура обогреваемой поверхности конструкции, К, выражение  $(3,9 - 0,0023 \cdot t_0)$  — результат умножения коэффициента излучения

5,77 абсолютно черного тела на приведенную степень черноты  $s_{пр} = 0,67 - 0,0004 t_0$  системы «огневая камера — бетонная поверхность».

Начальная температура железобетонных балок до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара принималась равной  $t_n = 293$  К.

Решение прочностной задачи огнестойкости для достижения поставленной цели работы производилось с помощью метода на основе зонного подхода, изложенного в европейском стандарте EN 1992-1-2-2009. Данный подход основан на фрагментации сжатой зоны поперечного сечения железобетонной балки на несколько участков конечной ширины, полученных на основании результатов численного моделирования прогрева железобетонной балки при стандартном температурном режиме пожара (рисунок 5). Для каждого рассматриваемого участка определяется его ширина, средняя температура и прочность бетона.

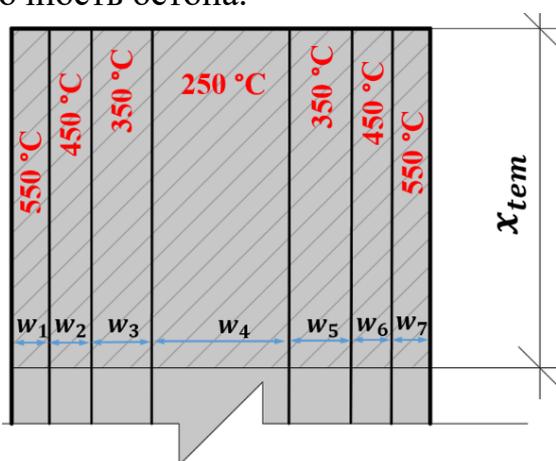


Рисунок 5 — Фрагментированное сечение сжатой зоны железобетонной балки, обогреваемой с трех сторон при пожаре:  $w_1 \dots w_7$  — ширина рассматриваемых зон сжатой зоны железобетонной, м; балки;  $x_{tem}$  — высота сжатой зоны, м

Уравнение предельного состояния статически определимой железобетонной балки при пожаре имеет следующий вид:

$$\Phi = M_n, \quad (5)$$

где  $\Phi$  — несущая способность железобетонной балки, кН·м;  $M_n$  — изгибающий момент от нормативной нагрузки, кН·м.

Несущая способность железобетонных балок  $\Phi$  с учетом фрагментации ее поперечного сечения определяется по формуле

$$\Phi = \sum R_{bu,i} \gamma_{bt}(T) \cdot w_i x_{tem} \left( h - \frac{x_{tem}}{2} - a_n \right) + R_{sn}(T) A_{s,B} (h - a_B - a_n), \quad (6)$$

где  $R_{bu,i}$  — расчетное сопротивление бетона рассматриваемой зоны сечения железобетонной балки, МПа;  $\gamma_{bt}(T)$  — температурная зависимость коэффициента условий работы бетона;  $w_i$  — ширина рассматриваемой зоны сечения железобетонной балки, м;  $x_{tem}$  — высота сжатой зоны, м;  $R_{sn}(T)$  — температурная зависимость нормативного сопротивления арматуры, МПа;  $a_n$  — расстояние от оси рабочей арматуры до нижней грани конструкции, м.

Высота сжатой зоны определялась по формуле:

$$x_{tem} = \frac{R_{sn}(T) A_{s,H} - R_{sn}(T) A_{s,B}}{\sum R_{bw,i} \gamma_{bt}(T) w_i} \quad (7)$$

С учетом выражений (6), (7), огнестойкость железобетонных балок по признаку потери несущей способности определяется как момент времени, когда несущая способность железобетонной балки становится равной или меньше, чем уровень нормативных нагрузок на нее:

$$\text{если } \Phi \leq M_n, \text{ то } \Pi_\Phi = \Pi_\Phi^{\text{пр}},$$

где  $\Phi$  — несущая способность железобетонной балки, кН·м;  $M_n$  — изгибающий момент от нормативной нагрузки, кН·м;  $\Pi_\Phi$  — предел огнестойкости железобетонной балки, мин;  $\Pi_\Phi^{\text{пр}}$  — проектный предел огнестойкости железобетонной балки, мин.

**В третьей главе** приведены результаты исследования особенностей изменения коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок в зависимости от их технического состояния, полученные путем проведения серии вычислительных экспериментов.

Необходимым этапом проведения серии вычислительных экспериментов является верификация выбранных методов численного моделирования теплофизической и решения прочностной задач огнестойкости.

При проведении верификации метода численного моделирования теплофизической задачи огнестойкости использовались результаты огневых испытаний эталонной железобетонной балки. Было установлено, что существующие линейные зависимости коэффициентов теплопроводности и теплоемкости бетона, которые используются в инженерных методиках расчета огнестойкости строительных конструкций, не позволяют учитывать происходящие в локальных объемах бетона процессы тепловлагопереноса. Поэтому был проведен ряд вычислительных экспериментов по исследованию влияния различных аспектов влажности бетона на прогрев железобетонных балок при воздействии стандартного температурного режима пожара (варианты 1-4 на рисунке 6).

*Вариант 1.* Влажность бетона не учитывается (сухой бетон), принимаются существующие линейные зависимости теплопроводности  $\lambda_t$  (Вт/(м·°С)) и теплоемкости бетона  $c_t$ , Дж/(кг·°С):

$$c_t = 710 - 0,83t, \text{ при } t \geq 20 \text{ °С}; \quad (8)$$

$$\lambda_t = 1,14 - 0,00055t, \text{ при } t \geq 20 \text{ °С}. \quad (9)$$

*Вариант 2.* Учитывается влияние начальной влажности бетона на его теплопроводность  $\lambda_t$ , Вт/(м·°С):

$$\lambda_t = \begin{cases} 2,16 & \text{при } t \in (20 - 90 \text{ °С}); \\ 1,14 - 0,00055t & \text{при } t \geq 140 \text{ °С}. \end{cases} \quad (10)$$

Теплоемкость бетона, согласно (8),  $c_t$  представлена существующей линейной зависимостью, Дж/(кг·°С).

*Вариант 3.* Учитывается влияние начального влагосодержания и волны повышенного влагосодержания на теплопроводность в бетоне  $\lambda_t$ , Вт/(м·°С):

$$\lambda_t = \begin{cases} 2,16 & \text{при } t \in (20 - 90 \text{ °С}); \\ 3,7 & \text{при } t = 90 \text{ °С}; \\ 1,14 - 0,00055t & \text{при } t \geq 140 \text{ °С}. \end{cases} \quad (11)$$

Теплоемкость бетона  $c_t$ , Дж/(кг·°C), согласно (8), представлена существующей линейной зависимостью.

*Вариант 4.* Учитываются влияние фазовых превращений влаги в структуре прогреваемого бетона на его теплоемкость  $c_t$ , Дж/(кг·°C):

$$c_t = \begin{cases} 726,6 & \text{при } t \in (20 - 30^\circ\text{C}); \\ 440 & \text{при } t = 80^\circ\text{C}; \\ 785 & \text{при } t = 89^\circ\text{C}; \\ 3970 & \text{при } t = 90^\circ\text{C}; \\ 4030 & \text{при } t = 139^\circ\text{C}; \\ 710 - 0,83t, & \text{при } t \geq 140^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (12)$$

Теплопроводность бетона  $\lambda_t$  представлена существующей линейной зависимостью, Вт/(м·°C), согласно (9).

*Вариант 5.* Учитывается совместное влияние вариантов 2, 3, 4 на прогрев железобетонной балки при пожаре (см. рисунок 6).

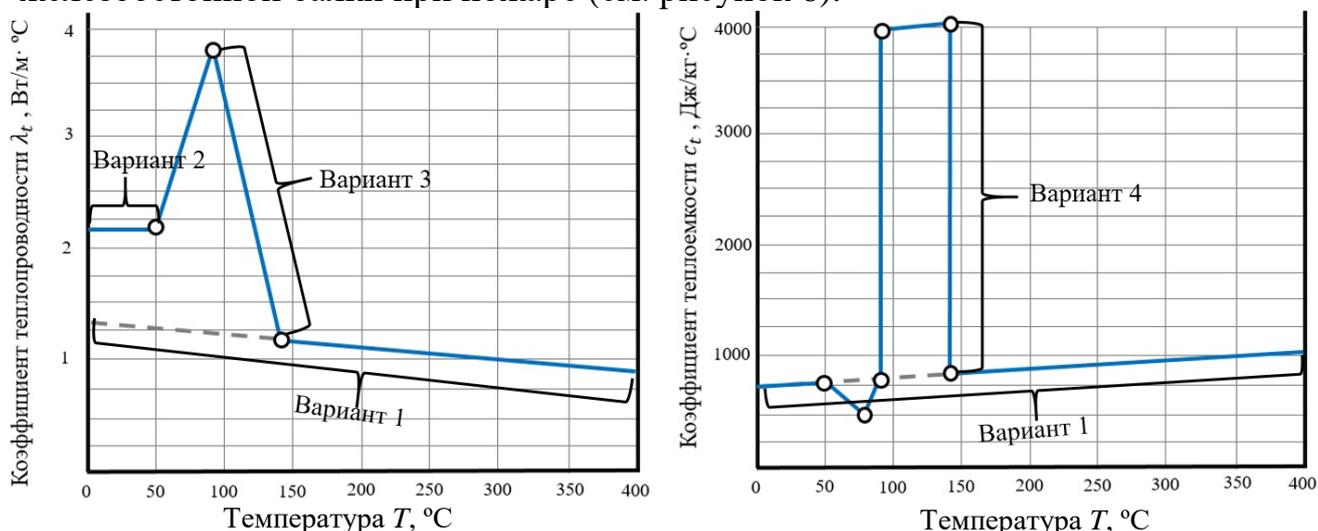


Рисунок 6 — Учет влияния влажности бетона на температурные зависимости его теплопроводности (а) и теплоемкости (б)

В графическом виде возможные варианты влияния влажности бетона на прогрев балки при воздействии стандартного температурного режима пожара, принимаемые при проведении верификации, представлены на рисунке 6.

На завершающем этапе проведения верификации производилось сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными стандартных натуральных огневых испытаний на огнестойкость эталонной железобетонной балки (кривая б на рисунке 7).

На основании полученных результатов (см. рисунок 7) было установлено, что наибольшая точность в решении численного моделирования теплофизической задачи огнестойкости влажных конструкций достигается (кривая 5 на рисунке 7) при комплексном учете влияния начальной влажности бетона (вариант 2), влияния повышенного влагосодержания материала на его теплопроводность (вариант 3) и влияния фазовых превращений влаги в структуре прогреваемого бетона на его теплоемкость (вариант 4).

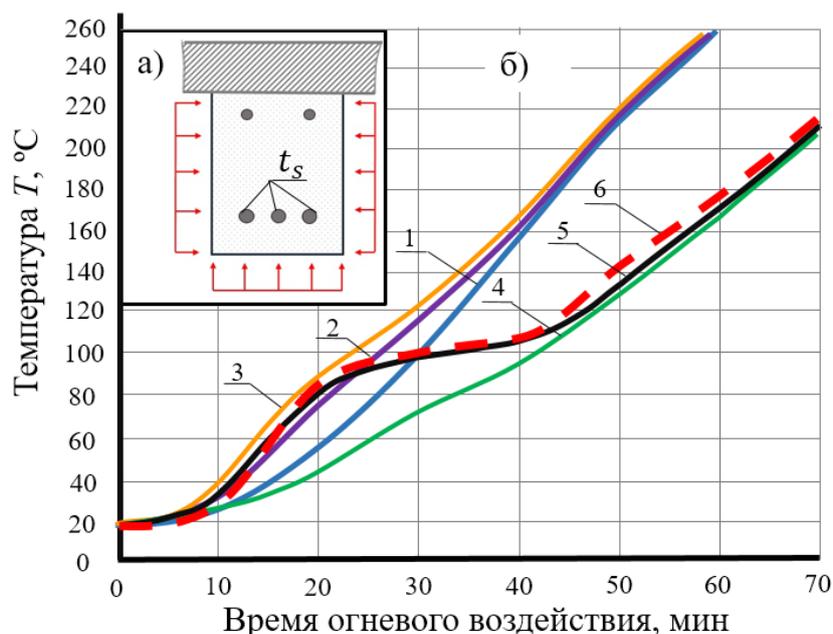


Рисунок 7 — Влияние различных аспектов влажности бетона на точность расчета прогрева железобетонной балки при воздействии стандартного режима пожара:

*a* — расчетная схема балки при воздействии пожара; *б* — изменение средней температуры прогрева рабочей арматуры влажной балки при стандартном режиме пожара;

*1* — вариант 1 (сухой бетон); *2* — вариант 2; *3* — вариант 3; *4* — вариант 4; *5* — вариант 5; *б* — результаты стандартных огневых испытаний балки на огнестойкость.

В рамках проведения цикла исследований особенностей изменения коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок в зависимости от их технического состояния, были выбраны следующие различные типы балок (рисунок 8).

Этот выбор определялся необходимостью рассмотрения по возможности самых различных статически определимых железобетонных балок с различными техническими характеристиками.

*Тип 1.* Железобетонная балка прямоугольного сечения 210×410 мм, пролет 6,0 м, армируется рабочей арматурой 3Ø16 класса А-I, объемная масса бетона 2330 кг/м<sup>3</sup>, влажность бетона 4 %, заполнитель известняк, защитный слой бетона 50 мм;

*Тип 2.* Железобетонная балка прямоугольного сечения 210×410 мм, пролет 6,0 м, армируется рабочей арматурой 3Ø16 класса А-I, объемная масса бетона 2350 кг/м<sup>3</sup>, влажность бетона 4%, заполнитель гранит, защитный слой бетона 50 мм;

*Тип 3.* Железобетонная балка прямоугольного сечения 280×560 мм, пролет 6,0 м, армируется рабочей арматурой 3Ø16А240, объемная масса бетона 2350 кг/м<sup>3</sup>, влажность бетона 2 %, заполнитель гранит, защитный слой бетона 32 мм;

*Тип 4.* Железобетонная балка таврового сечения, 554×358 мм, армируется рабочей арматурой 8Ø16 класса А-I, объемная масса бетона 2330 кг/м<sup>3</sup>, влажность бетона 3,8%, заполнитель известняк, защитный слой бетона 21 мм;

*Тип 5.* Железобетонная балка прямоугольного сечения 500×1000 мм, пролет 6,0 м, армируется рабочей арматурой 4Ø22А300, объемная масса бетона 2310 кг/м<sup>3</sup>, влажность бетона 2 %, заполнитель гранит, защитный слой бетона 65 мм.

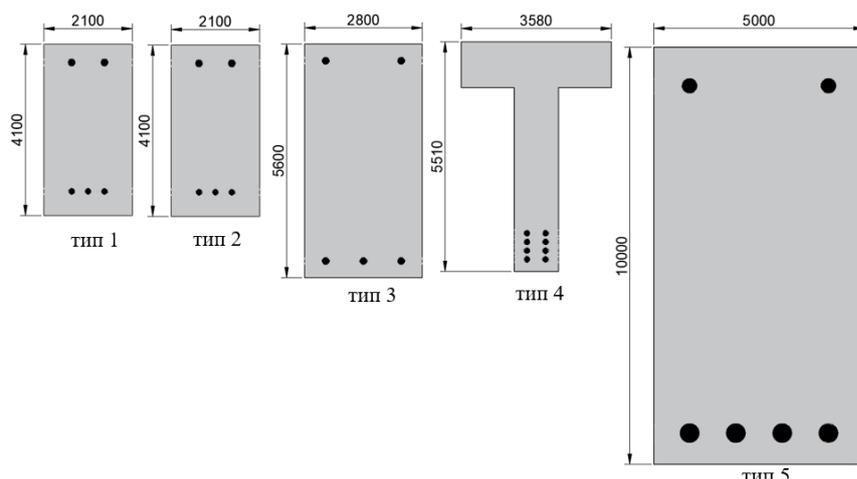


Рисунок 8 —  
Поперечные  
сечения  
рассматриваемых  
типов  
железобетонных  
балок с учетом их  
масштаба (1:150)

Для рассмотренных различных типов железобетонных балок производилась оценка их огнестойкости при одних и тех же установленных категориях их технического состояния (утраты несущей способности): 0, 5, 15, 25, 50 %.

В ходе проведения данных расчетов были получены значения коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок в зависимости от уровня снижения их несущей способности. Построенные на основании полученных результатов графические зависимости коэффициентов утраты огнестойкости от уровня снижения несущей способности рассматриваемых типов железобетонных балок представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 — Зависимость коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок от уровня утраты их несущей способности

В ходе проведения математического анализа полученных результатов была получена линейная зависимость значений коэффициентов утраты огнестойкости железобетонных балок  $C_n^f$  от уровня утраты их несущей способности:

$$C_n^f = 0,9966 - 0,016\Delta\Phi, \quad (13)$$

где  $\Delta\Phi$  — уровень снижения несущей способности, %.

Математический анализ полученных результатов показал, что рассматриваемая выборка железобетонных балок репрезентативна, т. е. верно отражает основные закономерности генеральной совокупности существующих железобетонных балок, применяемых в строительстве с вероятностью 90 %.

Было установлено, что полученное линейное уравнение надежное и приближает полученные расчетные значения с вероятностью 0,95. Построены доверительные интервалы для полученной линейной зависимости коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок, показывающие, в каком диапазоне находится разброс полученных расчетных значений (рисунок 10).

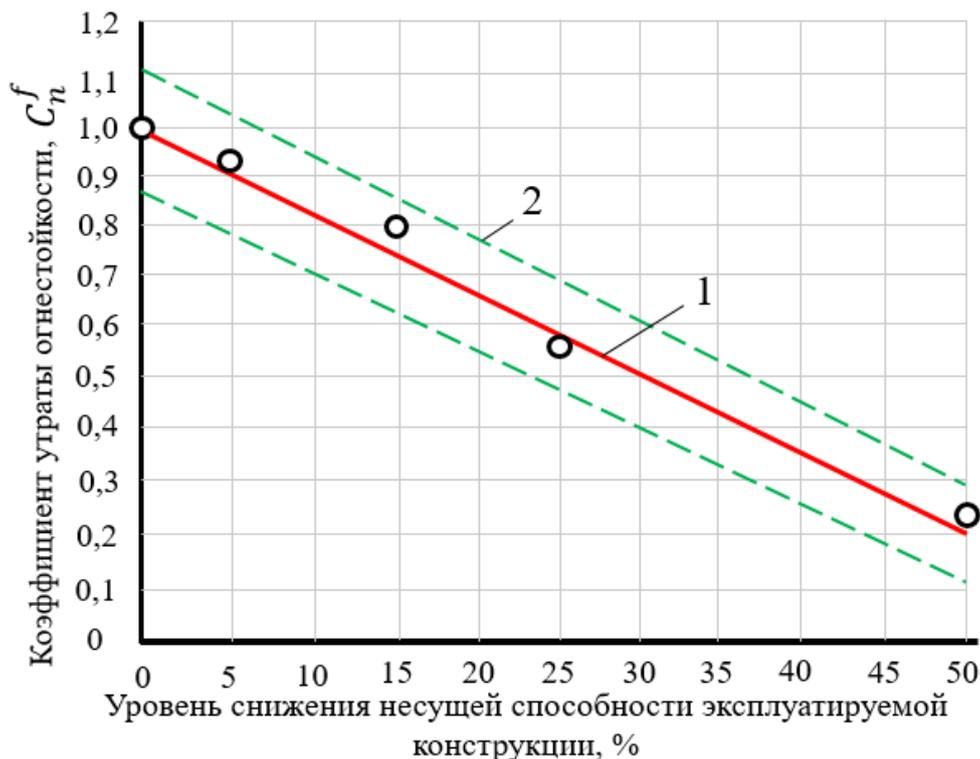


Рисунок 10 — Результаты проведенного математического анализа:

- 1 — линейная зависимость коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f = 0,9966 - 0,016\Delta\Phi$ ;
- 2 — доверительный интервал уравнения линейной зависимости коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f = 0,9966 - 0,016\Delta\Phi$

На основе полученных результатов была разработана классификация, позволяющая связать категории технического состояния железобетонных балок с соответствующими им коэффициентами утраты огнестойкости (см. таблицу 1).

Предлагаемая классификация была использована при разработке метода оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

В целях осуществления оперативной оценки огнестойкости эксплуатируемых железобетонных балок возникла необходимость разработки программного комплекса по определению их фактической огнестойкости с учетом технического состояния в условиях эксплуатации.

Таблица 1 — Классификация железобетонных балок по категориям технического состояния с учётом изменения эксплуатационных пределов огнестойкости

Категории технического состояния железобетонных балок	Утраченная доля несущей способности железобетонных балок $\Delta\Phi^э (\tau^э)$	Значение коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок, в зависимости от категории их технического состояния
Категория 0 (Проектное)	0	1,000
Категория 1 (Исправное)	$0,05 \cdot \Phi^{пр}$	0,9166
Категория 2 (Работоспособное)	$0,15 \cdot \Phi^{пр}$	0,7566
Категория 3 (Ограничено работоспособное)	$0,25 \cdot \Phi^{пр}$	0,5966
Категория 4 (Недопустимое)	$0,50 \cdot \Phi^{пр}$	0,1966
Категория 5 (Аварийное)	$>0,50 \cdot \Phi^{пр}$	0,000

Разработанный программный комплекс включает в себя несколько блоков и позволяет произвести оценку проектного предела огнестойкости  $\Pi_{\phi}^{пр}$  по табличным данным, эксплуатационного предела огнестойкости  $\Pi_{\phi}^{экс}$  железобетонных балок на основании результатов обследования технического состояния и сделать вывод о соответствии либо несоответствии требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В четвертой главе представлены примеры оценки пределов огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации. В указанных примерах оценка огнестойкости железобетонных балок производилась при помощи разработанного в диссертации метода (см. рисунок 4). Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Примеры оценки огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния

Эксплуатируемое здание (год постройки)	Проектный предел огнестойкости $\Pi_{\phi}^{пр}$	Коэффициент утраты огнестойкости $C_n^f$	Эксплуатационный предел огнестойкости $\Pi_{\phi}^{экс}$
Здание производственного назначения (1930)	R90	0,5966	R53
Городская клиническая больница (1972)	R74	0,5966	R44
Здание Торгового центра (1963)	R120	0,1966	R23
Здание складского назначения	R65	0,1966	R12

На основании проведенных исследований были разработаны предложения в нормативные документы по пожарной безопасности, регламентирующие влияние технического состояния в процессе эксплуатации на пределы огнестойкости строительных конструкций.

В настоящей диссертационной работе предлагается внести следующие предложения в статьи 51, 52 Технического регламента:

1) предел огнестойкости строительных конструкций и класс пожарной опасности должны соответствовать в процессе строительства и их эксплуатации требуемой степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности соответственно;

2) периодичность проведения оценки огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций должна соответствовать периодичности обследований технического состояния, установленной нормативными документами;

3) оценка огнестойкости строительных конструкций должна производиться по методикам, установленным нормативными документами по пожарной безопасности на основании (с использованием) результатов обследований технического состояния зданий и сооружений.

Кроме этого, предлагается внести следующее предложение в подраздел 5.2 «Строительные конструкции» СП 2.13130.2020: «Расчетно-аналитическую оценку эксплуатационных пределов огнестойкости конструкций зданий следует выполнять с учетом изменения параметров конструкций, выявленных при обследовании технического состояния, и играющих существенную роль в утрате конструкциями своей огнестойкости при пожаре:

- изменение защитного слоя бетона конструкции;
- изменения площади поперечного сечения рабочей арматуры в результате коррозии или иных причин;
- изменения величины эксплуатационных нагрузок, прочности, деформативности материалов конструкций».

Для реализации указанных предложений был разработан проект раздела справочного пособия, позволяющий проводить фактическую оценку огнестойкости эксплуатируемых железобетонных балок. В разделе пособия показано влияние времени и условий эксплуатации строительных конструкций на их техническое состояние, содержатся основные положения метода оценки пределов огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации, необходимый справочный материал для такого рода оценок, характерные примеры реализации предлагаемого метода.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. На основании проведенного анализа состояния вопроса в области оценки огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации была обоснована необходимость в проведении специальных исследований, направленных на разработку метода оценки огнестойкости зданий и сооружений, выполненных из железобетонных конструкций, в частности железобетонных балок, учитывающих влияние технического состояния в условиях эксплуатации.

2. Разработана общая схема оценки огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации, отражающая качественный характер

возможного изменения огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций.

3. Разработан метод оценки эксплуатационных пределов огнестойкости строительных конструкций (на примере железобетонных балок) с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

4. В ходе вычислительного эксперимента было проведено исследование особенностей численного моделирования теплофизической задачи при оценке огнестойкости железобетонных балок в программном комплексе *Ansys Mechanical*. Во время вычислительного эксперимента была выявлена необходимость специального учета зависимостей коэффициентов теплопроводности и теплоемкости бетона, с учетом его начального влагосодержания в интервале температур 20-90 °С и волны повышенного влагосодержания, возникающей внутри конструкции при пожаре, в интервале температур 90-140 °С.

Установлено, что наибольшая точность в решении теплофизической задачи огнестойкости влажных конструкций достигается при комплексном учете влияния начальной влажности бетона, влияния повышенного влагосодержания материала на его теплопроводность и влияния фазовых превращений влаги в структуре прогреваемого бетона на его теплоемкость.

5. Проведена серия вычислительных экспериментов по исследованию особенностей изменения коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок, в зависимости от их технического состояния на основе численного подхода. В ходе проведенных вычислительных экспериментов была впервые получена зависимость коэффициентов утраты огнестойкости от уровня снижения несущей способности железобетонных балок. Впервые была обнаружена слабая чувствительность значений коэффициента утраты огнестойкости к конструктивному исполнению различных типов железобетонных балок в зависимости от уровня снижения их несущей способности (технического состояния) при воздействии стандартного температурного режима пожара.

6. Произведен математический анализ результатов исследования особенностей изменения коэффициента утраты огнестойкости различных типов железобетонных балок в зависимости от их технического состояния. В ходе математического анализа:

– установлено, что относительная погрешность проводимых вычислений (определения генерального среднего) с вероятностью 0,9 не превышает 10 %, что можно считать допустимым для достижения поставленной цели работы;

– получена линейная теоретическая зависимость коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f = 0,9966 - 0,016\Delta\Phi$ ;

– произведена оценка надежности полученной линейной теоретической зависимости, в ходе которой было подтверждено, что линейное уравнение регрессии соответствует результатам проведенных вычислений с уровнем значимости 95 % и может применяться при определении коэффициента утраты огнестойкости  $C_n^f$  железобетонных балок с различными техническими характеристиками;

– проведено построение доверительного интервала линии регрессии, который показывает, в каком диапазоне находится разброс реальных значений по сравнению с линией регрессии.

7. На основе полученной теоретической зависимости коэффициента утраты огнестойкости железобетонных балок была разработана классификация железобетонных балок по категориям технического состояния с учетом изменения эксплуатационных пределов огнестойкости.

8. Разработан программный комплекс по определению фактической огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации.

9. Разработаны предложения в нормативные документы по пожарной безопасности, регламентирующие влияние технического состояния строительных конструкций на их пределы огнестойкости в условиях эксплуатации.

10. По результатам исследования разработан проект раздела справочного пособия «Оценка пределов огнестойкости строительных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации». Раздел: «Железобетонные балки». В данном разделе пособия показано влияние времени и условий эксплуатации строительных конструкций на их техническое состояние, содержатся основные положения метода оценки пределов огнестойкости железобетонных балок с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации, необходимый справочный материал для такого рода оценок, характерные примеры реализации предлагаемого метода.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:**

1) Фёдоров, В.Ю. Необходимость учета времени и условий эксплуатации зданий и сооружений при оценке огнестойкости железобетонных конструкций [Электронный ресурс] / В.Ю. Фёдоров // Технологии техносферной безопасности. – № 2 (78). – 2018 – С. 19–25. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-2/03-02-18.ttb.pdf> (дата обращения 26.09.2017).

2) Фёдоров, В.Ю. Огнестойкость железобетонных балок в зависимости от изменения их несущей способности в условиях эксплуатации [Текст] / В.Ю. Фёдоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (30). – С. 30–35.

**Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**

3) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для оценки огнестойкости эксплуатируемых железобетонных балок на основе справочных данных / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров заявители и правообладатели / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров № 2019615273; заявление 03.04.2019; регистрация 23.04.2019.

**Остальные публикации по теме диссертации:**

4) Фёдоров, В.Ю. О необходимости оценок огнестойкости железобетонных балок с учетом времени и условий эксплуатации [Текст] / В.Ю. Фёдоров // Системы безопасности — 2016: Материалы XXV Международной научно-технической конференции – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 305–307.

5) Фёдоров, В.Ю. О необходимости учета влияния времени и условий эксплуатации зданий и сооружений на их огнестойкость [Текст] / В.М. Ройтман, В.Ю. Фёдоров // Строительство — формирование среды жизнедеятельности — 2017: Сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — М.: МГСУ, 2017. — С. 554–556.

6) Фёдоров, В.Ю. Численное моделирование прогрева железобетонных балок в программном комплексе Ansys [Текст] / Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров // Системы безопасности — 2016: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 218–221.

7) Фёдоров, В.Ю. Учет новых опасностей и угроз — основа современной системы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений [Текст] / В.М. Ройтман, Б.Б. Серков, Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: Материалы VIII Международной научно-практической конференции — Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2017. — С. 90–97.

8) Фёдоров, В.Ю. Влияние влажности строительных материалов на точность расчетов прогрева конструкций при оценках их огнестойкости [Электронный ресурс] / А.А. Волков, В.М. Ройтман, Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы: Сборник Материалов семинара, проводимого в рамках VI Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании — 2018». — М.: МГСУ, 2018. URL: [https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2018/system\\_tech\\_str2018.pdf](https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2018/system_tech_str2018.pdf) (дата обращения 08.08.2018).

9) Фёдоров, В.Ю. Оценка фактического предела огнестойкости железобетонной балки подтрибунного пространства Дворца спорта [Текст] / Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной юбилею Академии. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. — С. 204–208.

10) Фёдоров, В.Ю. Метод оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации [Текст] / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступюк, В.Ю. Фёдоров // Ройтмановские чтения: Сборник материалов VII научно-практической конференции — М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. — С. 34–38.

11) Фёдоров, В.Ю. Развитие теории огнестойкости строительных материалов, конструкций, зданий и сооружений, с учетом комбинированных особых воздействий с участием пожара [Текст] / В.М. Ройтман, А.Б. Сивенков, Д.Н. Приступюк // Ройтмановские чтения: сборник материалов IX научно-практической конференции — М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. — С. 10–17.

Подписано в печать 26.11.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 301

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4