

ДВУЖИЛОВ Антон Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

About the authors:

KISELEV Alexey Dmitrievich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: alexbasketball31@gmail.com

ANKUSHINA Svetlana Konstantinovna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: sveta.ankushina@yandex.ru

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Material Strength, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

УДК 614.841.332

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**А.А. Мельников, Т.Р. Баркая, А.В. Каляскин,
С.А. Соколов, А.В. Гавриленко**

© Мельников А.А., Баркая Т.Р., Каляскин А.В.,
Соколов С.А., Гавриленко А.В., 2025

***Аннотация.** Описаны общие положения и предпосылки огнестойкости железобетонных конструкций, определяющие вектор развития исследований. Указаны факторы, влияющие на предел огнестойкости. Перечислены виды пожаров.*

***Ключевые слова:** огнестойкость, пожар, стандартный пожар, предел огнестойкости, бетон, арматура, железобетон, конструкции, сохранность, моделирование, разрушение, противопожарная оборона, предотвращение, тепловое расширение.*

В процессе создания продукции капитального строительства значительное внимание уделяется задачам улучшения их качества и безопасности, которые в немалой степени зависят от надежности работы строительных конструкций в условиях воздействий аварийного характера.

Одной из важнейших задач проектирования указанных конструкций является обеспечение безопасной эксплуатации на протяжении всего срока службы сооружения. Ведущими критериями обеспечения

безопасности выступают огнестойкость и огнесохранность элементов каркаса здания.

Огнестойкость – общепринятая международная пожарно-техническая характеристика, которая регламентируется строительными нормами и правилами, и определяет способность конструкций и зданий сопротивляться воздействию огня.

Предел огнестойкости – это время, в течение которого конструкция сопротивляется огневому воздействию и при этом сохраняет свои несущие способности.

Вопросы огнестойкости впервые были поставлены во времена СССР. Подняты они были в ходе наблюдений за реальными пожарами и экспериментальных исследований.

Огневые испытания, очевидно, более наглядно показывают пределы огнестойкости конструкции. Но стоит заметить, что проведение подобных испытаний требует тщательной подготовки, наличия специализированных, дорогостоящих установок, а также большого штата испытателей, что чревато значительными финансовыми затратами. Наиболее рациональный подход – это совмещение методов натурных испытаний и компьютерного моделирования. При указанных испытаниях проводят сбор информации, получают зависимости, пороговые значения различных характеристик материалов и т. д. Наличие этих данных создает основу для разработки методов расчета путем вышеназванного моделирования. Переход к моделированию позволяет варьировать большой спектр переменных и сохранять при этом точность результатов, возможность их сопоставления и подтверждения с итогами ранее проведенных экспериментов.

Первые экспериментальные исследования в рассматриваемой области были реализованы в 1946 году. Ученые из Центрального научно-исследовательского института противопожарной обороны НКВД СССР разработали методики расчета железобетонных конструкций, используемые и в настоящее время. Во время экспериментов было выявлено, что характер разрушения элементов во время пожара аналогичен характеру разрушения железобетонных элементов при нормальной эксплуатации, но очевидно, что несущая способность элемента под действием огня снижается [1–3].

Переход от экспериментов к аналитическим расчетам в целом проделан, и сейчас перспективы совершенствования методов расчета сводятся к учету широкого спектра факторов, влияющих на предел огнестойкости. Даже сегодня расчеты, приведенные в нормативных документах, сильно упрощены и не учитывают множества особенностей работы железобетонных конструкций. Именно поэтому основным вектором развития данного направления является внедрение более точных методик расчетов, позволяющих принять во внимание

разнообразные характеристики поведения железобетонных элементов во время пожара.

Расчетный метод определения пределов огнестойкости обладает рядом преимуществ перед экспериментальным. Вышеназванный метод является более вариативным, и проектировщик, пользуясь им, может добиться желаемого значения указанного предела с меньшими затратами средств и времени.

Предел огнестойкости в железобетонных конструкциях констатирует их разрушение. Это происходит по разным причинам и зависит от вида напряженно-деформированного состояния, теплового расширения и температурной ползучести при увеличении температуры. Перечисленные показатели позволяют определить предел огнестойкости расчетным путем.

На несущую способность элемента при огневом воздействии влияет множество факторов. К таким факторам относятся:

- крупный заполнитель, используемый при изготовлении бетонного элемента (силикатный или карбонатный); его воздействие на ползучесть бетона;

- геометрические характеристики элемента и его форма, сказывающиеся на скорости прогрева элемента;

- направление температурного воздействия (например, колонна может быть подвержена огневому воздействию с одной, двух, трех или четырех сторон);

- конструктивные особенности исследуемого элемента (например, защитный слой арматуры, обуславливающий время достижения в арматуре предельных температур);

- класс арматуры;

- причина возникновения пожара; топливная загрузка, при которой пожар поддерживает свое действие;

- время действия пожара;

- материалы отделки элемента;

- напряженное состояние конструктивного элемента;

- параметры микроклимата (в частности, влажность бетона). Если в капиллярах и порах присутствует избыточное содержание влаги, то при испарении возникает давление водяного пара, которое способно выколоть бетон защитного слоя арматуры. Таким образом, пластические деформации арматуры могут появиться раньше, сжатые стержни – потерять устойчивость и т. д.

Давление пара, температурные напряжения и напряжения от внешней нагрузки вызывают образование трещин в слоях у нагреваемой поверхности конструкции, из-за которых затем происходит откол кусков бетона. Разлет отколовшихся кусков иногда достигает десятков метров от конструкции, а это представляет серьезную опасность для

окружающих [4]. Иными словами, огневое воздействие при определенном влажностном режиме конструкции может вызвать хрупкое разрушение железобетонного элемента, которого на практике стараются избегать при проектировании таких конструкций, поэтому рекомендуется не допускать эксплуатации сооружений с повышенной влажностью, а при формировании создавать структуру бетона с более высокой паропроницаемостью.

Отметим, что огневое воздействие при пожаре может быть разным и зависит от условий и причин пожара, поэтому различают стандартный, углеводородный, внешний, тлеющий пожар.

Большинство экспериментальных данных получено для действия именно стандартного пожара. Указанный пожар – это унифицированный температурный режим пожара, который используется для оценочных расчетов. В общем случае расчет состоит из двух частей:

1. Теплотехнической. Цель в этой части – определить температуры по сечению конструкции в процессе воздействия на нее температурного режима, соответствующего стандартному пожару.

2. Статической. Здесь находят несущую способность (прочность) конструкции под нагрузкой с учетом физической нелинейности материала [6].

Несущая способность при огневом воздействии напрямую зависит от изменения свойств бетона и арматуры при росте температуры. Таким образом, расчет предела огнестойкости сводится к нахождению максимального усилия, которое может воспринять сечение элемента, и сравнению его с усилиями, возникающими в процессе эксплуатации.

Расчет необходимо производить с учетом действия постоянных и длительно действующих нормативных нагрузок. Прочностные характеристики материалов также принимаются нормативными.

Сечение железобетонного элемента при расчете следует приводить к редуцированному, размеры которого уменьшены на значение глубины прогрева бетона до расчетных температур, принятых в качестве критических.

Значение, полученное при расчете предела огнестойкости, не должно быть ниже нормативного.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что огнестойкость железобетонных конструкций – это очень большая область исследования, включающая в себя множество переменных, которые оказывают значительное воздействие на конечный результат. Она напрямую связана с безопасностью пребывания людей на объектах капитального строительства, а основная задача инженера – это обеспечить долговечность и надежность проектируемого сооружения. Главными векторами развития являются увеличение достоверности итогов, полученных путем выполнения расчетов на ЭВМ; разработка и внедрение новых методик расчета для обеспечения безопасной

эксплуатации конструкций; изготовление новых материалов, способныхкратно увеличивать предел огнестойкости элементов для ответственныхзданий.

Библиографический список

1. Полевода И.И., Жамойдик С.М., Нехань Д.С. Модельныеогневые испытания железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой // Вестник Университета гражданскойзащиты МЧС Беларуси. 2021. Т. 5. № 3. С. 289–299.

2. Конструирование железобетонного монолитного перекрытия в составе фрагмента каркасного здания для исследований огнестойкости в рамках натурных огневых испытаний / В.А. Кудряшов, С.М. Жамойдик, И.Ю. Кураченко, М.М. Мордич // Вестник Университета гражданскойзащиты МЧС Беларуси. 2021. Т. 5. № 1. С. 33–48.

3. Полевода И.И., Жамойдик С.М., Нехань Д.С. Огнестойкость железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 2. С. 67–81.

4. Мешалкин Е.А., Антонов С.П. Исследование процесса разрушения бетонных изделий при пожаре с учетом их взрывообразной потери целостности // Технологии бетонов. 2019. № 5-6. С. 43–45.

5. ГОСТ 30247.0-94. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. URL: https://proffidom.ru/uploads/files/2019-07/1563810873_gost-30247_0-94.pdf (дата обращения: 03.04.2025).

6. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. М.: Стандартиформ, 2019. 82 с.

FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**A.A. Melnikov, T.R. Barkaya, A.V. Kalyaskin,
S.A. Sokolov, A.V. Gavrilenko**

Abstract. *The general provisions and prerequisites for the fire resistance of reinforced concrete structures that determine the vector of research development are described. The factors influencing the fire resistance limit are indicated. The types of fires are listed.*

Keywords: *fire resistance, fire, standard fire, fire resistance rating, concrete, reinforced, reinforced concrete, constructions, preservation, modeling, destruction, fire protection, prevention, thermal expansion.*

Об авторах:

МЕЛЬНИКОВ Артем Александрович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: Neryose@yandex.ru

БАРКАЯ Темур Рауфович – кандидат технических наук, зав. кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: btrs@list.ru

КАЛЯСКИН Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, директор ООО «ПКБ ОСТОВ», Тверь. E-mail: kalyskin@mail.ru

СОКОЛОВ Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: sokolov_project@mail.ru

ГАВРИЛЕНКО Алексей Владимирович – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: GavrilenkoAV@tstu.tver.ru

About the authors:

MELNIKOV Artem Alexandrovich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: Neryose@yandex.ru

BARAKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: btrs@list.ru

KALYASKIN Alexander Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of Design Bureau OSTOV, Tver. E-mail: kalyskin@mail.ru

SOKOLOV Sergey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: sokolov_project@mail.ru

GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Senior Lecturer of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: GavrilenkoAV@tstu.tver.ru