

**КОНСТРУКТИВНАЯ ПОЖАРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
В УПРАВЛЕНИИ СТАДИЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ
С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская

Федоров Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация;

Золина Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, ректор, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация;

Купчикова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, проректор по научной работе и международной деятельности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация;

Реснянская Анна Станиславовна, кандидат химических наук, доцент кафедры пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация

Рассмотрены вопросы конструктивной пожарной инженерии в управлении стадией проектирования высотного здания с учетом требований пожарной безопасности управления инвестиционно-строительным проектом высотного здания.

Ключевые слова: высотное здание, инвестиционно-строительный проект, жизненный цикл проекта, пожарная безопасность, противопожарные мероприятия.

**STRUCTURAL FIRE ENGINEERING IN THE MANAGEMENT OF THE DESIGN STAGE
OF A HIGH-RISE BUILDING TAKING INTO ACCOUNT SAFETY REQUIREMENTS**

V. S. Fedorov T. V. Zolina, N. V. Kupchikova, A. S. Resnyanskaya

Fedorov Viktor Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Structures, Buildings and Structures, Russian University of Transport RUT (MIIT), Moscow, Russian Federation;

Zolina Tatyana Vladimirovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Rector, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation;

Kupchikova Natalya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Expertise, Operation and Management of Real Estate, Vice-Rector for Research and International Affairs, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation;

Resnyanskaya Anna Stanislavovna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Fire Safety and Water Use, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation

The article deals with the issues of constructive fire engineering in the management of the design stage of a high-rise building, taking into account the requirements of fire safety management of an investment and construction project of a high-rise building, taking into account safety requirements.

Keywords: high building, investment and construction project, project life cycle, fire safety, fire prevention measures.

Появление нового направления «Конструктивная пожарная инженерия» – Structural Fire Engineering (SFE) в реализации гибкого (объектно-ориентированного) подхода в проектировании требует дальнейшей разработки расчетных инструментов и методов, доступных для применения в инженерной практике с тем, чтобы огнестойкость конструкций определялась наряду с обычными расчетами при действии эксплуатационных и особых нагрузок и воздействий. Развитию данного направления посвящены исследования под руководством V. K. R. Kodur в Университете штата Мичиган (США), C. G. Bailey, Y. C. Wang, M. Gillie в Университете Манчестера (Великобритания), J.-M. Franssen в Университете Льежа (Бельгия), I. Burgess в Университете Шеффилда (Великобритания), A. H. Buchanan

в Кентерберийском университете (Новая Зеландия), L. Taerwe в Университете Гент (Бельгия) и др.

Стадия проектирования

При проектировании строительных конструкций высотных зданий с точки зрения пожарной безопасности наиболее важным является их огнестойкость (Fire Resistance), которую можно рассматривать в качестве элемента пассивного управления противопожарной защиты.

Огнестойкость зданий важна для обеспечения безопасной эвакуации людей, но становится особенно значимой для высоких зданий, в которых эвакуация затруднена. Согласно СП 267.1325800.2016 высотным считается здание, высота которого составляет более 75 м. Высотные здания в основном

относятся к проектам наивысшего уровня ответственности и класса надежности.

Огнестойкость также важна для доступа пожарной службы и спасения, потому что иногда пожарные могут находиться внутри здания и после эвакуации всех находящихся в нем людей. Для ряда объектов

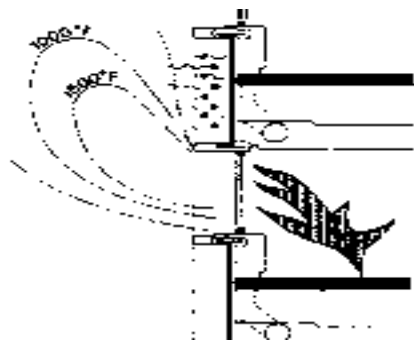


Рис. 1. Принципиальная схема вертикального распространения пожара в высотном здании

Пожары в высотных зданиях – это рискованные события, которые угрожают жизни и имуществу людей. Ежегодно по всей нашей стране происходит около тысяч подобных явлений, которые оказывают воздействие на все общество и наносят огромный ущерб. Для защиты от несчастных случаев при пожаре уровень опасности взрывных пожаров должен быть снижен и опасность должна контролироваться в минимальной степени. Для этого необходима совершенная программа предупреждения чрезвычайных ситуаций и хорошо обученная организация. Анализ причин пожаров в высотных зданиях способствует оказанию помощи аварийно-спасательным службам и выявлению неисправностей системы предупреждения. Это приведет к улучшению системы пожарной безопасности.

Разработка методов расчета отдельных конструкций

Сложность и высокая стоимость огневых испытаний обусловила необходимость разработки простых расчетных методов, способных заменить натурные испытания и позволяющие уже на стадии проектирования вносить изменения в конструктивные решения.

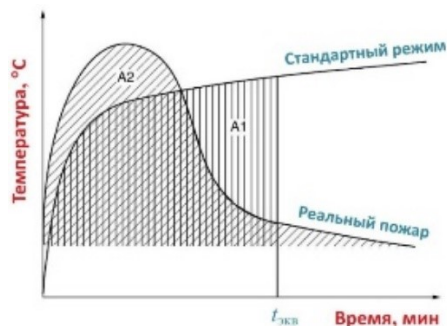


Рис. 2. Гипотеза Ингберга об эквивалентности времени реального пожара и стандартного испытания по равенству площадей $A1 = A2$

необходимо обеспечить такой уровень огнестойкости, чтобы здание выдержало воздействие пожара и после незначительного ремонта было пригодно к дальнейшей эксплуатации (огнесохранность). Для защиты собственности тоже важен наличие огнестойкости, особенно если пожар не контролируется с помощью системы пожаротушения.



Ранние методы расчета рассматривались в основном в качестве замены стандартного огневого испытания. Цель заключалась в том, чтобы рассчитать несущую способность нагретой конструкции аналитически, а не проводить дорогостоящий и ненадежный тест в печи.

Позже акцент сместился в сторону все большего учета различных аспектов поведения конструкций, которые происходят в условиях пожара. Существует несколько методов расчета огнестойкости, которые можно разделить на две группы: упрощенные (simplified) и «продвинутые» (advanced).

Упрощенные методы имеют существенное преимущество в том, что они не требуют глубокого знания программного обеспечения и могут выполняться вручную или в простой электронной таблице. Не всегда следует прибегать к сложным теплообменным моделям для оценки температуры в стали; в нормах доступны несколько предварительно рассчитанных температурных профилей для различных бетонных сечений, подверженных стандартному температурному режиму.



Рис. 3. Сравнение температурных режимов реального пожара и стандартного испытания на огнестойкость

Для элементов железобетонных конструкций наиболее простым и распространенным является метод изотермы 500 °С. Слои бетона, температура которых превышает 500 °С, при расчете несущей способности сечения исключаются, а прочность остального бетона принимается равной прочности при нормальной температуре. Учитывается снижение предела текучести арматуры при нагреве. Далее из уравнений равновесия определяется несущая способность сечения в данный момент времени нагрева, которая сравнивается с усилием от действующей нагрузки.

Разработка простых методов расчета железобетонных конструкций в нашей стране началась с 1962 г. теоретическими исследованиями А. И. Яковлева, А. Ф. Милованова, В. В. Жукова и др. В настоящее время базовые методики расчета железобетонных конструкций, основанные на методе критических температур (отечественный аналог метода изотермы 500 °С) включены в СП 468.1325800.2019.

Усовершенствование расчетных моделей

Интенсивное развитие компьютерной техники послужило причиной противоречия между точностью вычислительных методов и упрощающими предположениями, положенными в основу существующих методик расчета. Это потребовало разработки расчетных моделей, более полно учитывающих фактические условия работы конструкций в условиях нагрева (анализ напряженно-деформированного состояния кон-

струкций, факторов неоднородного нагрева бетона по сечению, физической и геометрической нелинейности и др.).

В свою очередь, появились и новые требования к экспериментальным данным [5]. Если до этого в эксперименте достаточно было установить лишь время сопротивления (предел огнестойкости) конструкции и значение прочности бетона при нагреве, то для калибровки и верификации уточненных расчетных моделей потребовалось расширение спектра характеристик, определяемых из натуральных огневых экспериментов (перемещения, деформации и др.), проведение нестандартных крупномасштабных огневых испытаний [4], а также более углубленное исследование теплофизических и механических свойств материалов при нагреве и разработка соответствующих термомеханических моделей (определяющих соотношений – Constitutive relationship), необходимых для реализации нелинейных расчетов.

Изменения коснулись и модели огневого воздействия. «Стандартный пожар» оставался в значительной степени неоспоримым до 1970-х гг., когда О. Петтерссон (Ove Pettersson) из Университета в Лунде (Швеция) предложил так называемые «шведские кривые» (рис. 5, 6). Эти температурно-временные кривые были основаны на учете скорости тепловыделения при пожаре, которое должно быть уравновешено тепловыми потерями через ограждающие конструкции и проёмы в помещении.

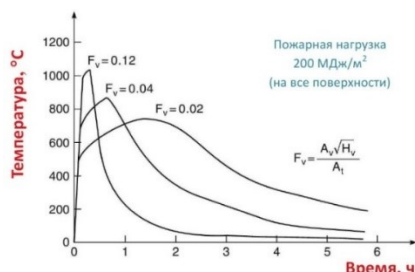


Рис. 4. Кривые роста температуры реального пожара при различных показателях проёмности F_v и постоянной пожарной нагрузке

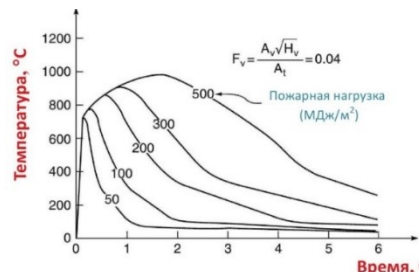


Рис. 5. Кривые роста температуры реального пожара при различных значениях пожарной нагрузки и постоянном показателе проёмности F_v

Таким образом, температура пожара в помещении рассчитывается в зависимости от топливной нагрузки, условий воздухообмена и геометрии помещения. Поскольку решения были неявными, кривые были приведены в табличной или графической форме; для разных значений пожарной нагрузки и показателей проёмности помещения F_v был приведен ряд соответствующих кривых.

Впоследствии температурные кривые Петтерссона были представлены в явном виде и включены в качестве параметрических пожаров в Еврокод 1. У каждого из этих режимов есть упрощенное представление скорости охлаждения. В нашей стране

исследованиями температурных режимов реальных пожаров посвящены работы И. С. Молчадского, Ю. А. Кошмарова и др.

Реализация вычислительных методов немаловажна без специализированных конечно-элементных программных пакетов, среди которых можно выделить две категории:

- целевое программное обеспечение, предназначенное для решения задач пожарной безопасности конструкций: Vulcan и SAFIR, которые разработаны и подтверждены исследователями в университетах Шеффилда и Льежа.
- пакеты программного обеспечения общего назначения, которые могут моделировать реакцию конструкций на воздействие температуры: Abaqus

и ANSYS. Они обладают огромным набором функций, некоторые из которых применимы к области оценки огнестойкости конструкций.

В середине 1990-х годов внедряется *объектно-ориентированный* подход (Performance-based approach) к противопожарной защите, позволяющий инженерам проектировать конструкции для удовлетворения требований к сопротивляемости в условиях пожара, а не следовать предписанному набору правил для каждой конструкции [5, 6].

Нормативные документы во многих странах (например, Eurocode) допускают высокую степень гибкости в противопожарном проектировании конструкций и позволяют проектировщикам использовать любой подход для достижения целевых характеристик конструкции, и, таким образом, можно рационально моделировать как пожар, так и реакцию конструкции, а также количественно оценить характеристики конструкции и сравнить их с целевыми характеристиками. На практике это обычно означает, что конструкции будут спроектированы так, чтобы работать «по крайней мере так же хорошо», как и конструкции, соответствующие историческим предписаниям.

Выводы и заключение

Наиболее значительным результатом применения объектно-ориентированного противопожарного проектирования (Performance-based Fire Design – PBFDF) стало обоснование (как правило, с использованием компьютерного моделирования)

возможности удаления до 40 % огнестойкости с конструкций стальных каркасов, что привело к рыночным преимуществам в строительстве. Для железобетонных конструкций PBFDF пока не получило столь широкого распространения в силу присущей им «естественной огнестойкости», и здесь требуются дальнейшие исследования.

Технические средства пожаротушения не могут однозначно решить проблему пожарной безопасности. С точки зрения нынешней экономической ситуации в стране, системе противопожарной безопасности высотных зданий, которая рассматривает управление в качестве основы, необходимо уделять первостепенное значение.

Управление любым инвестиционно-строительным проектом с учетом требований пожарной безопасности должно осуществляться на всех стадиях жизненного цикла, начиная со стадии проектирования.

Кроме того, необходимо совершенствовать систему противопожарной безопасности высотных зданий. Меры противопожарной безопасности высотных зданий должны реализовываться, развивая одновременно технологию и управление. Чтобы решить проблему противопожарной безопасности высотных зданий, это исследование надеется придать некоторую практическую ценность проектированию высотных зданий, оценке пожарной безопасности и созданию программы предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. Придвижкин С.В., Баженов О.В. Организация управления инвестиционными проектами в строительстве // Дискуссия. 2017. №4(78). С. 45-49.
2. Liu L., 2010. The discussion of high-rise building fire causes and countermeasures, China New Technologies and products 15, p. 189.
3. Zhu J., Huo R., Fu Y S., 2007. Smoke control in super tall buildings, Fire Science and Technology 1, p. 59.
4. Xiu Yu L., Hao Z., Qingming Z. Factor Analysis of High-Rise Building Fires Reasons and Fire Protection Measures // Procedia Engineering. 2012. Vol. 45. Pp. 643-648.
5. Рязевская Я.А. Проблемы высотного строительства в Российской Федерации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №12-3. С. 127-130.
6. Граник Ю. Г. Проектирование и строительство высотных зданий. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2444
7. Казакова В.А., Терещенко А.Г., Недвига Е.С. Пожарная безопасность высотных многофункциональных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 38-56.
8. Федоров В.С. Основные положения теории расчета огнестойкости железобетонных конструкций // Жилищное строительство. — 2010. — № 4. — С. 29-32.
9. Фёдоров В.С., Левитский В.Е. Анализ влияния различных факторов на огнестойкость железобетонных конструкций // Новые энергосберегающие архитектурно-конструктивные решения жилых и гражданских зданий: тр. вторых академич. чтений. 2003.
10. Федоров В.С., Матвеев В.А. Прогнозирование предела огнестойкости железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивной среде (коррозии) // Известия юго-западного государственного университета. - 2011. - № 5-2(38). - С. 197а-201.
11. Проектирование строительных конструкций и оснований с учётом надёжности и режимных воздействий / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова [и др.]. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 209 с. – ISBN 978-5-93026-143-1. – EDN PWZTHR.

© В. С. Фёдоров Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, А.С. Реснянская

Ссылка для цитирования

Фёдоров В. С., Золина Т. В., Купчикова Н. В., Реснянская А. С. Конструктивная пожарная инженерия в управлении стадией проектирования высотного здания с учетом требований безопасности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 141–144.

УДК 69

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-144-148

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРЕДПРОЕКТНОЙ И ПРОЕКТНОЙ СТАДИЙ В РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, К. Е. Джантазаева, Е. Е. Купчиков

Золина Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, ректор, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация;