

УДК 699.812:614.841

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

В. С. Федоров, В. Е. Левитский

Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)

Показаны исходные предпосылки, основные принципы и преимущества оценки огнестойкости конструкций, основанной на требованиях к их фактическим характеристикам при пожаре. Обсуждаются особенности моделирования поведения конструкций и опыт применения подобного подхода в мировой практике.

Ключевые слова: противопожарная защита, огнестойкость, предписывающий подход, объектно-ориентированное проектирование, стандартные испытания на огнестойкость, полномасштабные испытания, реакция конструкций.

USING OF THE OBJECT-ORIENTED APPROACH TO THE ASSESSMENT OF FIRE RESISTANCE OF STRUCTURES

V. S. Fedorov, V. E. Levitsky

Russian University of transport (Moscow)

The initial prerequisites, basic principles and advantages of fire resistance assessment of structures, based on the requirements for their actual characteristics in case of fire, are shown. The features of modeling the behavior of structures and the experience of applying such an approach in world practice are discussed.

Keywords: fire protection, fire resistance, prescriptive approach, performance-based design, standard fire test, full-scale tests, structural response.

В настоящее время в мировой строительной практике наблюдается активное внедрение подхода к проектированию зданий, основанного на требованиях к эксплуатационным характеристикам. В английском варианте это называется «Performance-based Building Design (PBBD)», что дословно можно перевести как «проектирование зданий, основанное на производительности». Речь идёт о том, что здание должно отвечать определенным требованиям к характеристикам производительности, например, требованиям к энергоэффективности или восприятию сейсмических воздействий, без специального предписанного метода, которым можно было бы выполнить эти требования.

Одна из первых реализаций, основанных на характеристиках требований к проектированию зданий, содержалась в Кодексе Хаммурапи (ок. 1795–1750 гг. до н.э.), где говорится, что «дом должен не разрушаться и никого не убивать». Эта же концепция описана у Витрувия (1-й век н.э.). Вместе с тем, строительные правила долгое время основывались лишь на опыте успешной эксплуатации существующих построек, а возможность формулировать их в виде целевых требований появилась только после создания расчётных методов. Заметное развитие «Performance-based» подход получил в 70-е годы 20-го века, когда потребовалась большая гибкость для снятия барьеров в торговле и повышения скорости внедрения инноваций в процессе строительства.

Наиболее чёткое определение концепции «Performance-based» было дано в 1982 году в отчёте Комиссии CIB W60: «Прежде всего, подход к

производительности – это практика мышления и работы с точки зрения целей, а не средств. Это связано с тем, какие функции должно выполнять здание или строительный продукт, а не с предписанием, как оно должно быть построено». Такой подход предоставляет свободу в разработке инструментов и методов на протяжении всего жизненного цикла объекта, от деловых операций и закупок до строительства и управления технической эксплуатацией здания.

Performance-based подход иногда также называют как «основанный на показателях», «основанный на эффективности», «основанный на результатах», «ориентированный на достижение конкретных результатов», «целевой», «гибкий», «объектно-ориентированный». Последнее определение является, по нашему мнению, в данном контексте наиболее исчерпывающим, и применяется в ряде отечественных работ по пожарной безопасности зданий.

2. Предписывающий и объектно-ориентированный подходы к оценке огнестойкости конструкций

Объектно-ориентированный подход применяется во многих областях техники, например, при проектировании строительных конструкций. Однако в области противопожарной защиты зданий основным пока является предписывающий подход.

Предписывающий подход основывается на тестировании конструктивных элементов в печах, где устанавливается стандартный режим изменения температуры во времени. Время, в течение которого элемент может сопротивляться воздействию пожара, становится его

пределом огнестойкости, выраженным в минутах. При проектировании здания применяются конструкции с пределом огнестойкости не менее требуемого. Данный подход достаточно прост в использовании, а его надежность подтверждена многолетней практикой эксплуатации объектов, однако имеются и серьезные недостатки, перечисленные в таблице.

Сегодня всё чаще в нормах разных стран, в том числе и в России, находит отражение воз-

можность применения компенсирующих мероприятий и альтернативных методов. Имеются успешные примеры зарубежных построенных объектов, проектирование которых осуществлялось на основе объектно-ориентированного подхода. Однако большая часть существующих в этой области разработок относится к стальным конструкциям. Применение объектно-ориентированного подхода к зданиям из железобетона даже в зарубежной практике находится в начальной стадии своего развития.

Таблица 1

Недостатки предписывающего подхода к оценке огнестойкости

№ п/п	Недостатки предписывающего подхода к оценке огнестойкости	Предпосылки к объектно-ориентированному подходу
1	Используется неубывающий стандартный температурный режим испытания	Необходимо учитывать режим реального пожара, характерный для данного помещения, включая фазу охлаждения
2	Испытывается отдельная конструкция, вне связи с другими элементами каркаса. Размеры испытываемого элемента ограничены конструкцией печи	Необходимо рассматривать полномасштабное поведение каркаса в целом, с учётом совместной работы конструкций и влияния неразрезности
3	Критерии разрушения приняты из условий сохранности испытательной установки	Необходимо рассматривать критерии разрушения, соответствующие фактическому состоянию конструкций
4	Требуемые пределы огнестойкости приняты волевым порядком и достаточно условны. Ожидаемые характеристики здания при воздействии пожара не анализируются	Необходимо переходить от сравнительного анализа к прогнозному и рассматривать возможные уровни повреждения здания в соответствии с принятыми критериями приемлемости
5	Проводится единичное стандартное испытание на время и температуру, основанное на понимании пожара 19-го века	Необходимо рассматривать различные сценарии развития пожара и выключения несущих элементов, основываясь на модели надёжности и риска

Последняя редакция стандарта ASCE 7-16 [1] разрешает применение проектирования огнестойкости конструкций, основанного на производительности (также называемого конструктивным пожарно-техническим проектированием – Structural Fire Engineering), для явной оценки эффективности конструктивных систем при воздействии огня аналогично тому, как в инженерно-строительной практике рассматриваются другие проектные нагрузки [2].

Объектно-ориентированный подход к проектированию систем противопожарной защиты предусматривает учёт конкретных характеристик рассматриваемого здания, а не применение общих требований «контрольного списка», содержащихся в предписывающих противопожарных строительных нормах, которые могут не подходить из-за уникальных характеристик здания.

Строительные нормы в большинстве стран носят предписывающий характер, однако объектно-ориентированное проектирование противопожарной защиты обычно достигается с помощью «эквивалентностей» или «альтернатив». Нормы допускают применение компенсирующих мероприятий, но такой проект должен быть сначала обсужден с соответствующими уполномоченными органами (АН). Необходимо, чтобы разработчик продемонстрировал, что

альтернативный подход приводит к проектному решению, которое по меньшей мере столь же безопасно, как и при соблюдении предписывающих требований.

Объектно-ориентированное проектирование основывается на компьютерном моделировании воздействия различных сценариев пожара на рассматриваемый объект. Проект считается приемлемым, если расчеты показывают, что он соответствует количественным критериям эффективности, установленным в начале процесса проектирования. Эти критерии эффективности обычно связаны с обеспечением того, чтобы здание оставалось пригодным для эксплуатации, чтобы люди не подвергались воздействию дыма или тепла, и с тем, чтобы не происходило разрушение конструкции. Безопасность при пожаре обеспечивается применением расчетов, научных и инженерных разработок для анализа реакции здания на воздействие пожара, а не демонстрацией того, что оно соответствует контрольному списку предписывающих требований.

Объектно-ориентированное проектирование систем противопожарной защиты предполагает гораздо большую свободу, чем традиционные предписывающие методы, делая акцент на науке, технике, расчетах и моделировании, а не на произвольных «контрольных списках»

предписывающих требований, которые могут не учитывать уникальные характеристики здания. Оценивая несколько альтернативных проектов, можно выбрать экономически эффективный вариант без ущерба для пожарной безопасности.

Назовём четыре основных преимущества объектно-ориентированного подхода:

- **Проектные решения становятся более обоснованными.** Это важно, когда заинтересованные стороны проекта требуют, чтобы фактические противопожарные характеристики здания были поняты и контролировались.

- **Повышается уровень безопасности здания.** Детальное моделирование поведения конструкций позволяет выявить наиболее уязвимые, ключевые элементы, и повысить уровень их защиты.

- **Проектные решения более полно соответствуют требованиям заказчика.** Например, благодаря гибкости требований к противопожарной защите принимаются проектные решения, благоприятно влияющие на эстетику или функциональность здания.

- **Снижаются затраты на противопожарную защиту.** Например, если появляется возможность показать, что температура незащищенного стального элемента, подвергнутого воздействию огня, не будет превышать критическую температуру разрушения, то его огнезащите можно исключить без ущерба для безопасности [3, 4]. Поскольку этот пункт допускает возможность ухода от исполнения обязательных противопожарных требований, он всегда вызывает ожесточенные возражения и споры.

3. Выбор критериев приемлемости

Предписывающий подход к оценке огнестойкости не даёт ответа на вопрос, что гарантируется: или только безопасность людей, или частичная ремонтпригодность, или же полная огнестойкость конструкции после пожара. Ключевым преимуществом объектно-ориентированного подхода является гибкость в определении количественных целей, выходящих за рамки минимальных требований безопасности. Можно, например, установить ограничение на количество элементов конструкции, поврежденных во время пожара, чтобы гарантировать, что ремонт после пожара возможен и рентабелен. Целевые показатели эффективности также могут варьироваться в зависимости от вероятности сценариев развития пожара, чтобы каждый сценарий представлял непротиворечивый риск для владельца объекта или страховщика.

4. Анализ реальных пожаров

Наблюдения последствий реальных пожаров предоставили некоторые доказательства того, что элементы конструкции, составляющие

часть готовых зданий, работают значительно лучше, чем те, которые были испытаны в изоляции в идеализированных условиях, не характерных для большинства конструкций. Одним из наиболее убедительных примеров был пожар, вспыхнувший на поздних этапах строительства 14-этажного стального каркасного здания Broadgate Phase 8 в Лондоне в 1990 году. Пожар начался в помещении подрядчика на первом этаже, и быстро распространился по всему зданию, системы автоматического обнаружения, сигнализации и разбрызгиватели еще не работали. В результате огонь бушевал в течение более четырех часов с пиковыми температурами, оцененными в более чем 1000°C – намного выше того, что было бы признано критической температурой. Однако, несмотря на то, что большая часть конструкции еще не была защищена от огня, ни один из элементов конструкции – балки, колонны, плиты – не рухнул. Была некоторая локализованная деформация, с большими прогибами в некоторых балках и укорочением незащищенных колонн примерно на 100 мм, но в остальном структура работала хорошо и сохраняла устойчивость. Поврежденные элементы были заменены быстро и легко, и не было никаких долгосрочных эффектов. Это вызвало исследовательский и аналитический интерес к поведению всей несущей системы.

5. Исследование несущих систем в целом. Кардингтонские тесты

Испытание на огнестойкость, даже на изолированных конструктивных элементах, является дорогостоящим, и, несмотря на ограничения стандартного испытания, было бы нецелесообразно проводить обычные испытания на более обширных конструкциях. Поэтому цель экспериментальных исследований, которые проводились на полных конструкциях, заключалась в том, чтобы предоставить данные для разработки и проверки компьютерных моделей и создать основу для более совершенных рекомендаций по проектированию.

Результаты специальных испытаний на огнестойкость полноразмерных конструкций согласуются с наблюдениями от реальных пожаров, таких как приведенные выше в Бродгейте. Однако наиболее значимым источником экспериментальных данных для стальных конструкций при пожаре является программа испытаний в Кардингтоне, проводимая совместно Исследовательским центром зданий (BRE) и British Steel [5]. Аналогичные результаты, полученные в более поздних испытаниях, предоставляют количественные доказательства новых подходов к проектированию.

Экспериментальные работы проводились на 8-этажном здании со стальным каркасом размером 21 x 45 м в плане с 3 пролетами (6 м, 9 м и 6

м) по ширине и пятью 9 м пролетами по длине (рис. 1). Каркас был построен как типичное офисное здание с использованием системы балок, поддерживающих легкие бетонные плиты, отлитые на месте на ребристом стальном

настиле. Композитное действие было достигнуто как между главной, так и второстепенной стальной балкой и плитами пола с использованием сквозных сварных срезных шпилек.

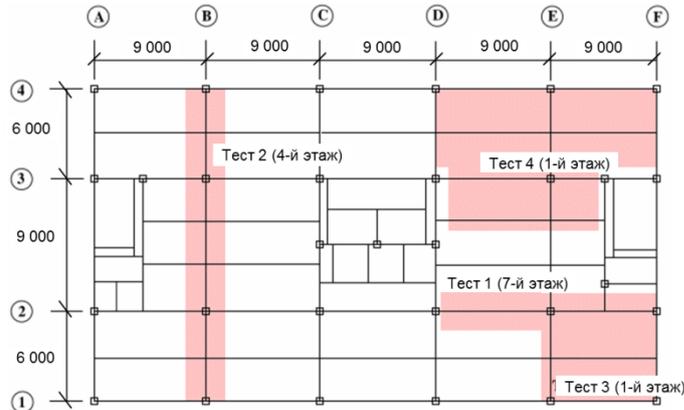


Рис. 1. Кардигтонские тесты

Внутренние балки и большинство периметральных балок не были защищены, но колонны, подверженные воздействию огня, как правило, были защищены. Как показали предварительные исследования, у колонн был небольшой запас прочности, и, конечно, последствия отказа колонны могли быть чрезвычайно серьезными.

Шесть испытаний на огнестойкость, предназначенные для проверки различных ситуаций, были проведены в противопожарных отсеках различных типов и размеров. Полы были загружены в течение всего периода испытаний с использованием мешков с песком, что дало общую нагрузку на пол в $5,48 \text{ кН/м}^2$. Для вторичных составных балок уровень нагружения составил 44 %.

Тесты были предназначены для верификации программного обеспечения, и конечным результатом стал конечно-элементный пакет Vulcan – специализированный программный комплекс для моделирования поведения стальных каркасных конструкций.

Наиболее значимым качественным наблюдением, полученным в ходе испытаний, было то, что ни в одном случае не было никаких признаков отказа, несмотря на то, что в некоторых испытаниях температура незащищенной стальной балки превышала $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Детальный анализ данных испытаний (рис. 2) и результатов компьютерного моделирования показал, что эффект действия растягивающей мембраны становится значительным в плитах при большом вертикальном смещении, и играет очень важную роль для восприятия нагрузки. При этом в центральной области плиты создается радиальное поле натяжения мембраны, уравно-

вешенное периферийным кольцом сжатия. В результате этого механизма сопротивляемость плиты увеличивается с увеличением прогиба. В нормальных условиях невозможно допустить, чтобы достаточно большие прогибы вносили существенный вклад в конструктивные характеристики, но при пожаре основное требование заключается в том, чтобы конструкция сохраняла свою целостность и не разрушалась; и, конечно, критерий отказа для стандартного испытания балки сам по себе является большим отклонением ($1/20$ пролёта). Поэтому в условиях пожара действие растягивающей мембраны является важным эффектом, предоставляя возможности для использования незащищенных стальных балок.

Хотя тестируемые балки, как правило, не были защищены, площадь пола, подверженного воздействию огня в ходе испытаний, была во всех случаях, кроме одного, ограниченной, и в самом большом тесте, который охватывал всю ширину здания и два полных отсека, температура стали оставалась относительно низкой. Последующие исследования с использованием Vulcan, которые предоставили доказательства развития действия мембраны на растяжение, показали, что условиями, необходимыми для развития этого механизма, были двусторонний изгиб и вертикальная поддержка вдоль всех четырех сторон плиты. Это привело к новому подходу к проектированию, в котором главные балки защищены, но промежуточные, вторичные – не защищены. В типичной каркасной конструкции композитная плита опирается на вто-

ричные балки пролётом около 3 м, и, следовательно, потенциальная экономия может быть значительной.



Рис. 2. Испытания стального каркаса в Кардингтоне: а – отказ соединения (тест 2 – испытание плоской рамы); б – потеря местной устойчивости балок (тест 3 – угловое испытание); в – пожар в отсеке (тест 4 – пожар в офисном помещении); г – последствия мембранного эффекта в тесте 4

6. Исследование характеристик пожара

Повышение температуры атмосферы при пожаре традиционно было представлено стандартной кривой время-температура, и это использовалось в качестве основы для предписывающих методов проектирования. Тем не менее, при объектно-ориентированном подходе к проектированию логично использовать более реалистичную модель пожара, и это также является предметом крупных научных исследований по всему миру. Ранние работы в этой области привели к ряду различных «эквивалентных по времени» подходов, в которых реальный пожар приравнивался к эквивалентной продолжительности воздействия при стандартном пожаре.

Однако, возможно, самая важная работа привела к разработке в 1970-х годах так называемых параметрических кривых пожара (шведские кривые, О. Петтерссон), которые обеспечивают полную временную и температурную ис-

торию для пожарного отсека, включая фазы роста и затухания, с учетом пожарной нагрузки, условий вентиляции и характеристик отсека. Они были включены в Еврокоды (BSI, 2002) и обеспечивают более реалистичное представление о том, как могут развиваться температуры при пожаре в здании, но и у них есть ограничения – в частности, они чувствительны к предполагаемым характеристикам вентиляции. Как это обычно бывает, невозможно прогнозировать степень вентиляции с достаточной точностью, поэтому часто необходимо рассмотреть диапазон параметрических кривых.

Большое исследование было также проведено с использованием вычислительной гидродинамики – Computational Fluid Dynamics (CFD). Это было успешно использовано для моделирования температурных изменений в широком диапазоне условий, и некоторые такие исследования привели к разработке упрощенных моделей пожара для использования на практике [6].



Традиционно пожары считались либо однородными (объемными), и в этом случае могут использоваться упрощенные модели, либо локальными, что может потребовать другого подхода. В большинстве случаев пожар воспринимается как статический, что в контексте отдельных элементов конструкции является вполне реалистичным. Тем не менее, в более поздних исследованиях изучалось влияние перемещающихся пожаров, при которых огонь распространяется как функция времени по всему отсеку. Это дает лучшее представление о воздействии тепла на конструкцию в зависимости от времени, и это особенно уместно при рассмотрении полномасштабных конструкций с разными участками отсека при разных температурах в зависимости от развития пожара. В ряде случаев было обнаружено, что такие неоднородные воздействия могут привести к более тяжелым условиям, чем равномерный пожар, и некоторые разработчики начинают рассматривать это как нечто само собой разумеющееся.

Как правило, модели пожаров используются гораздо более широко, чем структурные модели. Простейшим из них является подход, эквивалентный по времени, описанный выше. В Великобритании Национальное приложение к Еврокоду (BSI, 2007) включает конкретный метод, эквивалентный по времени, и он чаще всего используется для согласования требования снижения огнестойкости, например, от 2 часов до 90 минут [6].

Иногда также используют подход, эквивалентный по времени, для представления пожара при проведении структурного анализа как части проекта, основанного на производительности. В таких случаях соотношение времени и температуры следует стандартной кривой пожара в течение продолжительности, указанной в результате анализа, эквивалентного времени, а не стандартному предписанному времени.

Наиболее строгие подходы учитывают ряд сценариев пожара, изучая влияние различных уровней пожарной нагрузки и вентиляции, выбирая наихудший случай с точки зрения структурной реакции. Могут быть рассмотрены различные интенсивности пожара в зависимости от степени пораженной огнем зоны – например,

локальные пожары могут принимать очень сильную интенсивность, тогда как при рассмотрении пожара, охватывающего весь отсек, будет задан более низкий уровень. Более низкая интенсивность теплового воздействия может также использоваться при рассмотрении пожара на более чем одном этаже.

В контексте практической пожарной техники CFD может использоваться для изучения движения дыма, но обычно не используется для моделей огня. К сожалению, вычислительные требования CFD, как правило, очень высоки при очень длительном времени анализа. Следовательно, его использование на практике, как правило, ограничивается изучением локализованных условий или областей, представляющих особый интерес, и в подавляющем большинстве в настоящее время используются более простые кривые пожарного эквивалента или параметрического пожара.

7. Конструктивные модели

После того, как сценарии пожара и критерии эффективности сформулированы, необходимо провести термический и конструктивный анализ сопротивляемости конструкций. Таким образом, оценка огнестойкости заключается в последовательном решении трёх связанных задач (рис. 3).

Целью термического анализа является определение температуры в конструкции во время и после принятого сценария развития пожара. Анализ выполняется на мультифизической модели здания, которая включает различные формы теплопередачи: конвекцию и излучение в воздухе, а также теплопроводность в конструкции и неструктурных компонентах.

Вторым этапом моделирования является проведение структурного анализа с использованием температур, полученных в результате термического анализа. Повышение температуры снижает прочность и жесткость материалов и создает тепловые напряжения в элементах, которые не могут свободно расширяться. По результатам анализа определяется, удовлетворяет ли несущая система требованиям эффективности, связанным с каждым анализируемым сценарием.

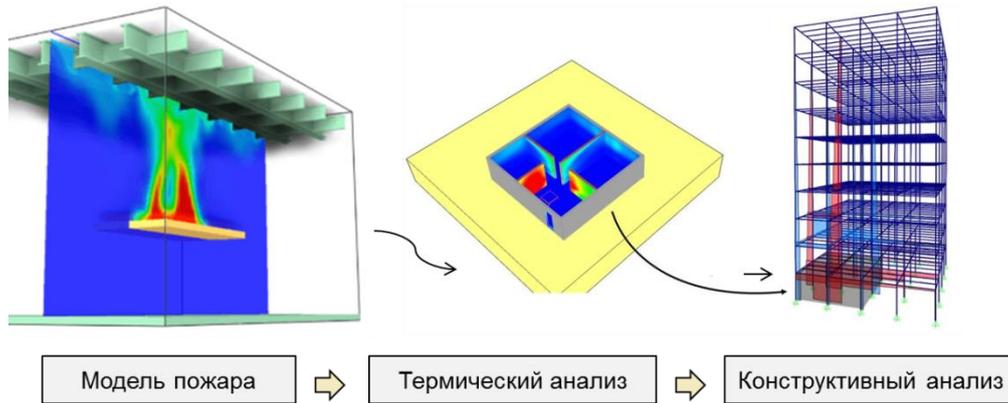


Рис. 3. Концептуальная схема последовательного решения трёх связанных задач оценки огнестойкости конструкций

Действующие Еврокоды предоставляют простые подходы к расчету для отдельных элементов конструкции. На практике для большинства проектов упрощенные методы дают лишь скромную экономию по сравнению с обычным предписывающим подходом, и они не предоставляют полезной информации о том, как конструкция может действительно вести себя при пожаре.

Наиболее строгие модели основаны на анализе методом конечных элементов. Это могут быть пакеты общего назначения, такие как ABAQUS или ANSYS, которые настроены с соответствующими характеристиками материала и элементов, позволяющих моделировать общее структурное поведение при повышающихся температурах, или специализированное программное обеспечение, такое как Vulcan или SAFIR.

Крупные коммерческие пакеты имеют уважаемую историю, и, несмотря на высокую стоимость, могут быть использованы не только для изучения сопротивления пожару, но и для других целей. Тем не менее, они требуют повышенного уровня квалификации со стороны пользователя, особенно в части параметров настройки модели. Кроме того, даже без возможности определения этих параметров, необходимых для анализа сопротивления пожару в упрощенном виде, время, необходимое для создания модели, может быть очень большим, и требуется значительная степень подготовки. Некоторые организации с очень продвинутыми уровнями внутренней квалификации адаптировали пакеты для удовлетворения своих конкретных потребностей и облегчения определения данных, но даже в этом случае процесс может занять очень много времени.

Альтернативные специализированные программные комплексы, такие как Vulcan и SAFIR, намного быстрее и проще в использовании, чем пакеты конечных элементов общего назначения

с точки зрения определения данных и интерпретации результатов. Это является ключевым преимуществом, что делает их идеальными для инженеров-строителей, желающих предложить что-то более передовое, чем простые предписывающие решения. Моделирование является более последовательным и менее подверженным настройке, поскольку некоторые параметры predeterminedены или генерируются автоматически. Однако возможности пользователя ограничиваются на том, чтобы задать конструкцию, нагрузку и условия воздействия огня.

Следует подчеркнуть, что требования к конечно-элементной модели, подходящей для конструктивного анализа при пожаре, довольно специфичны. Для того чтобы представить законченные конструкции, анализ, конечно, должен быть трехмерным, включая как раму каркаса, так и плиты перекрытия, а анализ должен учитывать, как материальную, так и геометрическую нелинейность. Необходимо предусмотреть неравномерное распределение температуры по элементам, что вызывает дифференциальное тепловое расширение, а также изменение свойств материала. Представление плиты является особенно важным и сложным в части адекватного моделирования действия мембраны на растяжение. Обычно используют многослойную ортотропную композицию, которая обеспечивает прогрессирующее растрескивание и разрушение материала по отдельности в двух направлениях, с использованием сложных критериев разрушения для учета характеристик разрушения при сжатии, так и растрескивания при растяжении.

Несмотря на то, что результаты как пакетов общего назначения, так и специализированного программного обеспечения для противопожарного проектирования являются всеобъемлющими, в них явно не указывается критерий, который означает, что конструкция вышла из строя, поэтому требуется некоторая интерпретация.

Существует мнение, что анализ следует прекращать, когда уже невозможно будет найти сходящееся решение, независимо от деформации. Другие придерживаются более консервативного подхода и ограничивают максимальный прогиб до значения, указанного в предписываемых методах, обычно $1/20$ пролёта. Но даже это открыто для обсуждения, так как предписываемые правила были установлены для отдельных балок на шарнирных концевых опорах. В случае плиты полное отклонение происходит не только из-за деформации самой плиты, но и изгиба второстепенных балок и поддерживающих их главных балок. Можно предположить, что рассматриваемое отклонение должно быть отклонением относительно опор, а не абсолютным отклонением.

Пока не появятся более четкие указания о том, что является критерием разрушения, эти различные интерпретации, вероятно, будут преобладать.

Конечно-элементный анализ в настоящее время предлагает наиболее точные представления о том, как конструктивная система будет вести себя при воздействии огня. Однако он требует длительного времени и определение данных часто также очень трудоемко. Соответственно, есть некоторая привлекательность в упрощенной структурной модели, подходящей для быстрого расчета без необходимости в сложном программном обеспечении. Как правило, первоначальные варианты проектных решений оценивают с использованием простого подхода, а затем проводят более строгий анализ с использованием метода конечных элементов.

8. Эффективное проектирование на практике

Даже в странах, где методы противопожарного проектирования, основанные на объектно-ориентированном подходе, развиты достаточно хорошо, полное его применение всё ещё встречается относительно редко [6]. Пока он прочно обосновался как альтернатива простому соблюдению предписываемых правил. В некоторых типах уникальных или сложных объектов, таких как терминалы в аэропортах, это может быть единственным практическим способом достижения соответствующего уровня требований противопожарной защиты. Ценность более фундаментального подхода также начинает осознаваться инвесторами и владельцами зданий, которые ищут эффективные, надежные и последовательные уровни пожарной безопасности.

В контексте противопожарного проектирования конструкций наиболее распространенным подходом является использование альтернативы стандартному режиму, чтобы оправдать ослабление требуемого предела огнестойкости. Обычно это может быть основано на методе, эквивалентном по времени, или параметрических кривых пожара Еврокода. Во многих случаях защита конструкции устанавливается в соответствии с требованиями для этого уменьшенного времени огнестойкости. Во многом это связано с тем, что стоимость более детальных исследований реакции конструкции на пожар зачастую не оправдывается возможной экономией затрат, поскольку в Европе в последнее время произошло значительное (до 60%) снижение стоимости противопожарной защиты.

Список литературы

1. ASCE 7-16. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI. 2017. 889 p.
2. MOP 138. Structural Fire Engineering. ASCE/SEI. 2018. 242 p.
3. British Steel plc. The Behaviour of Multi-Storey Steel Framed Buildings in Fire / Report of a Joint European Research Programme, British Steel plc, Swinden Technology Centre, Rotherham, UK. 1999.
4. Сугрова В. Е., Матвиенко П. А. Обеспечение огнестойкости стальных конструкций конструктивными методами // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы Национальной научно-практической конференции (9 февраля 2018 г.). Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. С. 8-12.
5. Сугрова В. Е., Матвиенко П. А. Современные методы конструктивной огнезащиты зданий транспортной инфраструктуры // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2017. С. 70-75.
6. Plank R. Performance Based Fire Engineering in the UK // International Journal of High-Rise Buildings . Vol 2. No 1. 2013. P.1-9.

© Федоров В. С., Левитский В. Е.

Ссылка для цитирования:

Федоров В. С., Левитский В. Е. Применение объектно-ориентированного подхода к оценке огнестойкости конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 5–12. УДК 624.157; 624.131