

УДК 699.812:614.841

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ В СОСТАВЕ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЯ

В. С. Федоров

*Российский университет транспорта (МИИТ)
(г. Москва, Россия)*

Показаны недостатки существующих методов оценки огнестойкости конструкций, основанных на предписывающем подходе, в части учета температурного режима реального пожара и особенностей совместной работы конструкций в составе несущей системы здания.

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

The shortcomings of the existing methods for estimating the fire resistance of structures based on the prescriptive approach are shown, in terms of taking into account the temperature regime of a real fire and the features of the joint operation of structures in the structure of the building's bearing system.

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

На протяжении многих лет подход к оценке огнестойкости конструкций не подвергался значительным изменениям. Даже сегодня некоторые инженеры уделяют оценке огнестойкости очень мало внимания по сравнению с другими аспектами проектирования конструкций и в значительной степени полагаются на простые, принятые для выполнения (предписывающие) правила обеспечения огнестойкости зданий, начиная от одноэтажных домов и заканчивая многоэтажными зданиями, которые определяют облик наших городов.

Сегодня законодательство, касающееся противопожарной защиты зданий, охватывает безопасность жизни с точки зрения приемлемого риска, с учетом находящихся в здании людей, пожарных и находящихся в непосредственной близости от здания. В формулировках функциональных целей утверждается, что здание должно быть спроектировано и построено таким образом, что в случае пожара его устойчивость должна сохраняться в течение разумного периода времени и что распространению огня внутри здания должно препятствовать разделение здания на противопожарные отсеки в зависимости от размера и предполагаемого использования помещений. Для удовлетворения этих требований безопасности жизни могут быть

приняты либо простые предписывающие правила, как указано в утвержденных нормативных документах, или более рациональный *объектно-ориентированный подход*, основанный на характеристиках здания, с учетом реального развития пожара и реакции конструкций.

В последнее время теория огнестойкости, которая включает моделирование развития пожаров, теплопередачи, реакции конструкций и несущей системы в целом, начала развиваться значительными темпами, позволяя уверенно применять объектно-ориентированный подход к оценке огнестойкости. Частично это было вызвано недавними исследованиями полномасштабных пожаров и осведомленностью общественности о крупных пожарах во всем мире. Теперь заказчики начинают задавать вопрос: «Насколько я уверен, что это безопасное здание?», и каков вероятный результат после пожара. Кроме того, спрос на создание более сложных сооружений, которые не могут быть разработаны с использованием простых предписывающих правил, становится все более распространенным явлением. Внедрение Еврокодов, которые включают в себя отдельные разделы для проектирования огнестойкости конструкций из железобетона, стали и др., также повысило внимание к данному вопросу в рамках проектного сообщества.

Предписывающие методы основаны на простых правилах, таких как минимальная толщина защитного слоя и размеры сечения для железобетонных элементов, степень защиты стальных элементов, минимальная геометрия кладки стен и минимальный размер поперечного сечения деревянных элементов. Часто возникает заблуждение о том, что заявленная огнестойкость (т.е. 30, 60, 90 или 120 минут) напрямую связана со временем, в течение которого здание будет противостоять воздействию огня без разрушения. Предел огнестойкости элементов выражает лишь время, в течение которого элемент выдержит испытание в огневой печи, где температура определяется стандартизированной зависимостью от времени. Требуемые пределы огнестойкости, используемые в предписывающем подходе, также достаточно условно определяются исходя из назначения здания, его высоты и площади пожарного отсека.

Установленные критерии отказа при нагреве зависят от типа испытываемого элемента и определяются с точки зрения несущей способности (R), изоляции (I) и целостности (E). При этом исчерпание несущей способности определяется по достижению заданных пределов максимального смещения и скорости перемещения, которые были установлены для уменьшения вероятности повреждения печи и не имеют физического смысла при определении отказа элемента.

История стандартного огневого испытания может быть прослежена с 1890-х годов, когда ранние попытки установления поведения при пожаре конструктивных элементов были сделаны по поручению страховых компаний и органов власти в США, с первым стандартом, опубликованным в

1917 г. Общая концепция стандартного испытания на огнестойкость не претерпела существенных изменений с момента его разработки, и за эти годы были внесены лишь незначительные изменения.

Стандартное огневое испытание всегда подавляло понимание того, как здания фактически ведут себя при пожаре. Проблема состоит в том, что инженеры и производители стремятся сосредоточиться только на характеристиках конструктивных элементов и систем в стандартном огневом испытании, которое не имеет никакого отношения к фактическим характеристикам зданий. Кроме того, качество испытываемой системы всегда будет намного выше, чем на реальных объектах.

Здание вовсе не представляет собой набор отдельных элементов, работающих независимо друг от друга, как это проверяется в стандартной печи. Взаимодействие между конструктивными элементами в огне может иметь как положительное, так и отрицательное влияние на устойчивость здания в целом. Благоприятные эффекты, как правило, обусловлены формированием альтернативных механизмов передачи нагрузки, сжимающим и растягивающим действием мембранного эффекта, контактным действием и возможным вращательным сдерживанием моментов из-за стальных соединений, которые были сконструированы как жесткие в холодном состоянии.

Неблагоприятное влияние системы конструктивных элементов, действующих как единое целое, может быть связано с ограничением теплового расширения, приводящим к возникновению больших сжимающих сил в элементах (особенно в колоннах), которые затем приводят к потере устойчивости [1].

В изгибаемых элементах возникающее при нагреве осевое усилие, приложенное снизу по отношению к нейтральной оси, вызывает разгружающий момент и повышает огнестойкость. В ряде случаев положение осевого усилия может быть определено достаточно просто (рис. 1а–в). Как показывают испытания [2], для замоноличенных ригелей линия осевого температурного усилия будет находиться на уровне нижней грани в начале пожара, причем ее положение медленно возрастает в процессе нагрева (рис. 1г).

Передача возникающих температурных усилий на колонны может привести к их разрушению от среза (рис. 2). Деформация несущих элементов при нагреве может привести к преждевременному разрушению перегородок, являющихся противопожарными преградами (рис. 3). Испытанная изолированно, в стандартной печи, перегородка не будет подвергаться дополнительным нагрузкам от окружающих конструкций. Кроме того, необходимо принимать во внимание разрушения, вызванные падением конструкций во время пожара.

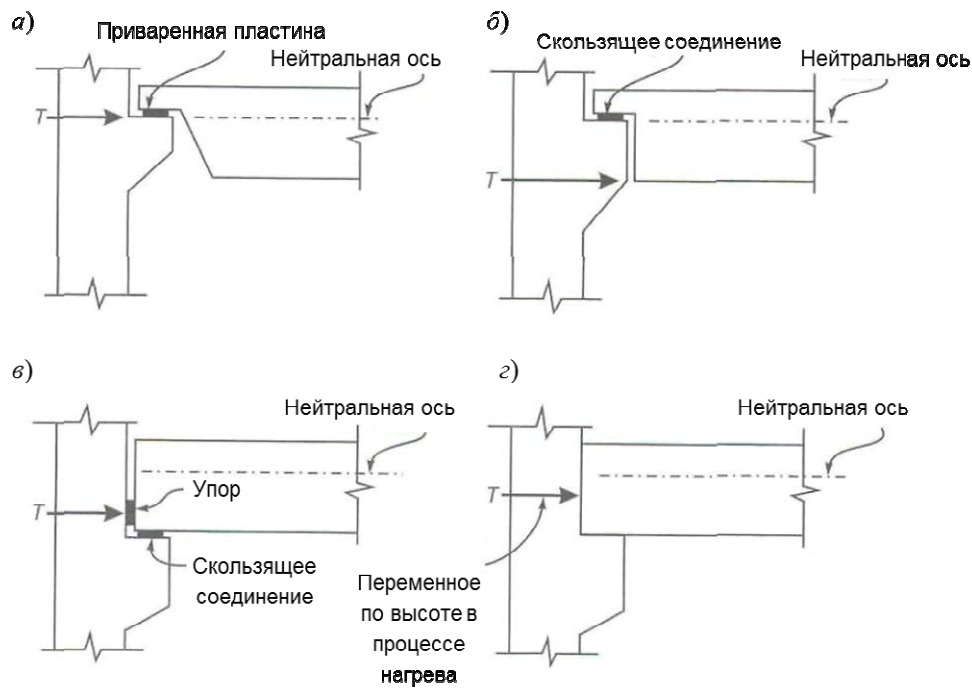


Рис. 1. Положение возникающего осевого температурного усилия по высоте сечения в зависимости от конструктивного решения



Рис. 2. Разрушение железобетонной колонны от сдвига, вызванного тепловым удлинением ригеля

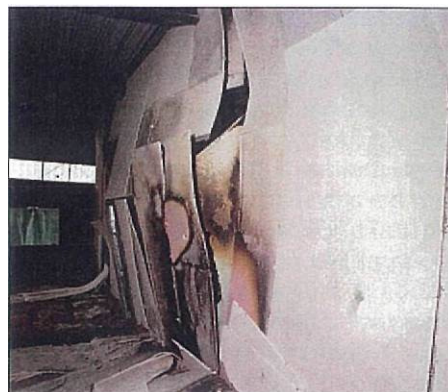


Рис. 3. Разрушение противопожарной перегородки из-за деформации колонны [3]

Существенным недостатком стандартного огневого испытания является то, что унифицированная температурная кривая не отражает развитие настоящего пожара. Существует, как правило, три отдельные фазы для реального пожара, включающего рост, устойчивую фазу горения и охлаждения. Мощность пожара определяется геометрией отсека, количеством горючего материала, условиями вентиляции и тепловыми характеристиками границ отсека. Различные типы пожара могут привести к различному поведению конструкций. Например, кратковременный высокотемпературный нагрев может привести к отколам бетона и воздействию огня на стальную арматуру; долговременный низкотемпературный нагрев может привести к

более высокой средней температуре в бетоне, что приводит к большему тепловому расширению и большему снижению прочности бетона. В огневом испытании, как только цель будет достигнута (30, 60, 90, 120 мин.), печь отключается, и нагрузка удаляется. В реальном здании нагрузка остается, и нагрев продолжается. Во время фазы охлаждения реального огня массивные колонны, защищенные стальные балки и сборные плиты продолжают нагреваться из-за временной задержки, вызванной низкой теплопроводностью материала. Например, максимальная температура арматуры в сборных плитах составляла 554 °С даже после того, как температура внешней среды остыла от пика 1069 °С до 541 °С [4].

Наконец, еще одна проблема стандартного испытания на огнестойкость заключается в том, что по экономическим соображениям и конкурентоспособности производители хотят пройти тест с наименьшими затратами. Если система защиты сохраняет огнестойкость значительно выше требуемого времени, защитный материал становится неконкурентоспособным, а надежность полученных результатов усугубляется ограниченным количеством испытаний.

Выводы. Мировой тенденцией развития противопожарного нормирования является переход к объектно-ориентированному проектированию в условиях пожара. Такой подход позволяет лучше оценивать поведение здания при пожаре в результате учета полезных эффектов и идентификации любых «слабых звеньев» в конструктивной системе. Используя последние достижения теории огнестойкости, инженер может оценить надежность зданий и повысить уровень безопасности (если это требуется заказчиком) выше минимальных законодательных требований к безопасности, чтобы лучше защитить здание и его содержимое, непрерывность бизнеса, культурное наследие, корпоративный имидж и воздействие на окружающую среду.

Список литературы

1. Федоров В. С., Левитский В. Е., Молчадский И. С., Александров А. В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М. : АСВ, 2009. 408 с.
2. Gustaferrero A. H.; Martin L. D. PCI Design for fire resistance of precast prestressed concrete. Prestressed Concrete Institute, USA, 1977.
3. Bailey C. G. Structural fire design: core or specialist subject? // Struct. Eng. 2004. Vol. 82 (9). P. 32–38.
4. Bailey C. G., Lennon T. Full-scale fire tests on hollowcore floors // The Struct. Eng. 2008, March. P. 33–39.