

## ВЛИЯНИЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И ПОСТ-НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Введение.** Железобетонные конструкции, удовлетворяющие условиям безопасной эксплуатационной пригодности в обычных условиях не всегда удовлетворяют этим требованиям в особых условиях. На современном этапе актуальным становится исследование работы железобетонных конструкций при огневом воздействии. Такая ситуация реально возможна является при пожаре.

### **Объект исследования.**

Для определения сопротивления железобетонных конструкций огневому воздействию для каждого конкретного случая очевидно необходимо знать следующее: силу пожара, измеряемую температурой огневого воздействия; распространение пожара; продолжительность пожара; вид сгораемых материалов (хлоридное заражение при сгорании поливинилхлоридных материалов); габаритные размеры строительного сооружения, статическую определенность системы (статически определяемая или неопределяемая); вид бетона (качество бетона, заполнителей); вид арматуры (состояние, марка стали) [1].

Рассмотрим воздействия этих факторов в отдельности.

**Сила пожара.** Температуры во время пожара зависят от пожарной нагрузки, т. е. от вида и количества сгораемых материалов в зоне действия пожара (пораженная пожаром часть здания), от доступа кислорода (вентиляции), а также от условий теплоотвода. Возникающие температуры при пожаре могут достигать  $1000^{\circ}\text{C}$  и более.

**Распространение пожара.** Размеры охваченных пожаром территорий оказывают существенное влияние на состояние железобетонной конструкции. При многочисленных очагах возгорания образуется центр пожара с наибольшей температурой, а окружающие его участки не так сильно подвержены огню. При образовании ограниченного центра пожара возникают высокие напряжения в строительных элементах, находящихся непосредственно в зоне центра, а другие конструкции нагреваются незначительно и в большинстве случаев способны воспринимать возникающие в них усилия от внешних воздействий. Однако со временем пожар может нагреть более обширные территории, и тогда возникшие из-за температурных удлинений усилия часто бывают уже не в состоянии воспринимать нагрузки. В результате происходят сильные разрушения зачастую далеко от очага пожара и даже в слабо нагруженных местах конструкции.

**Продолжительность пожара.** Объем разрушения зависит и от времени, в течение которого повышенная температура воздействует на конструкцию. С увеличением продолжительности пожара конструкция постепенно нагревается, и при длительном воздействии огня ставший более хрупким бетонный защитный слой отслаивается и облегчает доступ огневого воздействия в более глубокие слои конструкции, что особенно опасно по отношению к арматуре.

### **Вид сгораемых материалов.**

**Бетон.** При температуре более  $300^{\circ}\text{C}$  начинает распадаться содержащийся в цементном камне гидрат окиси кальция, снижение прочности на сжатие поначалу незначительно, но затем сильно возрастает при повышении температуры свыше  $400^{\circ}\text{C}$ , а при температурах свыше  $500^{\circ}\text{C}$  распадается порода заполнителя (кварц разбивается бла-

годаря содержащейся в кристалле воде; известняк сгорает и распадается при гашении пожара). Снижение несущей способности конструкции, как правило, остается в допустимых границах, так как обусловленное температурным воздействием понижение прочности бетона происходит лишь в слоях, которые непосредственно подвержены воздействию высокой температуры.

**Сталь.** Уже при относительно низких температурах сталь начинает удлиняться, и это происходит тем интенсивнее, чем меньше слой бетонного покрытия. Из-за значительных касательных напряжений в результате удлинения стали по контакту арматура – бетон происходит отслоение бетонного защитного слоя и прежде всего в угловых зонах строительной конструкции. При температуре 500°C сталь достигает предела текучести (зависит от марки стали) и больше не может воспринимать увеличение внешней нагрузки. Если от воздействия пожарной температуры предел текучести стали будет опускаться ниже имеющихся в стали напряжений, то несущая способность конструкции исчерпается, и она будет разрушена.

Размеры конструкций и статическая определимость системы. Можно утверждать, что чем ажурнее конструктивные элементы конструкции или здания в целом, тем более подвержены они разрушениям.

Значительно сложнее выявить общую закономерность влияния статической системы строительной конструкции на состояние здания в условиях пожара. Статически определимые системы, как правило, гораздо лучше воспринимают деформации, вызванные сильным нагревом конструкции. Чаще всего они разрушаются лишь тогда, когда арматура, работающая на растяжение, нагрелась до такой степени, что предел текучести стали оказывается ниже действующих в ней напряжений, или же деформации настолько велики, что опорные части конструкции уже не в состоянии воспринимать возникающих значительных усилий.

В статически неопределимых системах при пожаре наряду с напряжениями от внешней нагрузки, величина которых зависит от поперечного сечения конструкции, возникают в большей или меньшей мере дополнительные температурные напряжения, приводящие к сильному разрушению конструкции. В то же время благодаря возможному перераспределению усилий между наиболее загруженными и не полностью загруженными сечениями в этих системах имеется некоторый резерв несущей способности.

**Вид бетона и заполнителей.** Огнестойкость бетона в гораздо меньшей степени зависит от его прочности на сжатие, чем от состава заполнителей и содержания в них влаги. Коэффициент расширения минеральных заполнителей зависит от температуры и с ее повышением увеличивается. При достижении предельной для каждого минерала температуры объем его сильно увеличивается. Вообще качественные изменения минералов происходят в довольно широких пределах температур: кварцевых пород при высоких температурах, известняков – при самых низких температурах.

Однако известняковые породы при повышении температуры сначала становятся прочнее, кварцевые породы при температуре 500°C теряют свою прочность мгновенно. Можно сделать заключение, что бетон на основе известняковых заполнителей лучше противостоит огню, нежели бетон на основе кварцевой породы.

**Вид арматуры.** Выход из строя железобетонных конструкций под воздействием пожара происходит главным образом в результате снижения предела текучести стали на растяжение. Критическая температура, т. е. температура, при которой предел текучести стали становится ниже имеющихся в арматурной стали напряжений, зависит от класса стали.

Однако даже если арматурная сталь конструкции во время пожара хорошо воспринимает действующие нагрузки, то в результате сильного нагрева отдельных элементов

конструкции в течение длительного времени возможно снижение прочностных качеств стали и тем самым снижение запаса прочности всей конструкции.

Вообще обычные стали лучше противостоят воздействию пожара, чем высокопрочные холоднотянутые стали, которые при сильном нагреве быстро теряют прочностные качества. Стали, применяемые главным образом в железобетонных конструкциях, при очень быстром нагреве и последующем охлаждении существенно теряют свою прочность, и, если в расчетах было принято наибольшее значение прочности стали, это может привести к аварийной ситуации.

Особое внимание в статье хотелось бы обратить на то, как будут вести себя пост-напряженные конструкции при огневом воздействии. Но для начала необходимо дать определение этим конструкциям. В переводе с английского *post-tensioning* – это предварительное напряжение железобетонных элементов с натяжением арматуры на бетон, в построечных условиях. Принято считать, что впервые технология пост-напряжения железобетона была использована во Франции при строительстве фундаментов терминала морского флота – автор идеи французский инженер-строитель – Eugene Freyssinet. Его считают основателем технологии пост-напряжения железобетона, а также одним из основателей технологии предварительного напряжения железобетона.

Суть технологии предварительного напряжения с натяжением на бетон в построечных условиях (пост-напряжение) заключается в том, что напрягаемая арматура натягивается после бетонирования и набора бетоном достаточной прочности. В результате напрягаемая арматура обжимает бетон, и тем самым повышается эксплуатационная пригодность конструкции в течение всего срока службы сооружения.

У железобетонных пост-напряженных конструкций с целью создания возможности натяжения арматуры уменьшают сцепления арматуры с бетоном. Для этого при его твердении применяются канаты в специальной пластиковой оболочке со смазкой между металлом и пластиком. Одной из важных особенностей данных конструкций при огневом воздействии является то, что пластиковая оболочка канатов начинает плавиться уже при температуре около 200° С, а релаксация напряжений в канатной арматуре – около 350° С. В пост-напряженных конструкциях при воздействии огня происходит комплексное изменение как прочности бетона, так и преднапряженной арматуры, их модуля упругости, релаксации, расширения, теплопроводности, ползучести и затрагивает все этапы, на которых происходит изменение сопротивляемости железобетонных конструкций при повышении температуры. Данные об этих изменениях, как в бетоне, так и в арматуре, особенно важны для обеспечения несущей способности конструкций, подвергающихся огневому воздействию, и должны быть учтены при разработке методик расчета.

По сравнению с расчетом на обычное температурное воздействие эксплуатационная пригодность пост-напряженных конструкций (существующих или модернизированных), подверженных воздействиям пожара, значительно отличается. И в первую очередь это связано с особенностями снижения их несущей способности.

Европейские и американские нормы [2,3] используют для оценки обеспечения безопасности при огневом воздействии на железобетонные конструкции условие, что

$$\frac{R_{\text{Fire}}}{U_{\text{Fire}}} \geq 1,$$

где  $R_{\text{Fire}}$  – несущая способность после воздействия пожара (расчетная нагрузка);

$U_{\text{Fire}}$  – минимальная несущая способность при всех факторах.

Несущая способность после воздействия пожара ( $R_{\text{Fire}}$ ) рассчитывается с учетом средних значений прочностных характеристик материала, которые прогнозируются ис-

ходя из максимальной ожидаемой температуры в случае пожара и заданной продолжительности пожара.

В нормах для проектирования по степени пожарной опасности обычно указывается нагрузка (в случае пожара UFire) ниже, чем те, которые используются в проекте для нормальных температурных условий. Например, постоянная нагрузка (DL) и переменная нагрузка (LL) факторов пожара нормы ASCE и Еврокод предоставляют следующие:

1.2DL + 0.5LL (ASCE, 1995),

1.0DL + 0.9LL (ECI, 1994).

Близкие значения несущей способности после воздействия пожара установлены и в других нормах по проектированию. Хотя такой подход оценивает меньшие предельные усилия, но он считается адекватным. Оценки эксплуатационных нагрузок при нормальных условиях эксплуатации показали, что большинство зданий отвечают требованиям условий (DL + LL) / (UFire) коэффициент 0,5 или меньше [6].

#### **Выводы**

В настоящее время широко внедряются пост-напряженные железобетонные конструкции. Учет влияния температуры на такие конструкции практически не исследовался. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости более полного обследования влияния факторов огневого воздействия на несущую способность пост-напряженных железобетонных конструкций.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Руфферт, Г. Дефекты бетонных конструкций / Под ред. В.Б. Семенова. – Москва, 1987. – 111 с.
2. Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements: ACI 216R-89. American Concrete Institute, Farmington Hills. – Michigan.
3. ECI 1994, Eurocode 1: Basis of Design and Design Actions on Structures, Part 2-2: Actions of Structures Exposed to Fire, European Committee for Standardization. – Brussels, Belgium.
4. Buchanan, A. H. Fire Engineering Design Guide, Center for Advanced Engineering, / University of Canterbury. – New Zealand, 2001 (editor).
5. Buchanan, A. H. Structural Design for Fire Safety, John Wiley and Sons, LTD. – 2001.
6. Kumahara, S. Tensile Strength of Continuous Fiber Bar Under High Temperature, International Symposium on Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, SP-138 / S. Kumahara, Y. Masuda, Y. Tanano; American Concrete Institute, Farmington Hills. – Michigan, 1993.

УДК 692.232

*Седляр Ю.А.*

*Научный руководитель: профессор, к.т.н. Черноуван В.Н.*

### **НАРУЖНОЕ СТЕНОВОЕ ОГРАЖДЕНИЕ «ТЕРМИЧЕСКИЙ ЭКРАН»**

**Введение.** Как показывает практика, сегодня более 40% сметной стоимости общестроительных работ надземной части («коробки») жилых зданий приходится на несущие наружные стены. Высокий удельный вес материальных затрат на возведение 1м<sup>2</sup> наружных стен обусловлен, в первую очередь, эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к ограждающим конструкциям зданий и сооружений:

- теплотехнические характеристики [1];
- обеспечение допустимых уровней проникновения воздушного шума, соответствующих категории «А» для жилых комнат квартир [2].

Очевидно, что базой решения проблемы по обеспечению требуемых (нормируемых) характеристик наружного стенового ограждения на весь период эксплуатации зданий и