

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПОЖАРЕ С УЧЕТОМ ИХ ВЗРЫВООБРАЗНОЙ ПОТЕРИ ЦЕЛОСТНОСТИ

**Е. А. МЕШАЛКИН**, доктор технических наук, профессор, академик НАН ПБ, профессор Академии Государственной противопожарной службы МЧС, председатель правления Федеральной Палаты пожарно-спасательной отрасли;

**С.П. АНТОНОВ**, генеральный директор компании «ПРОЗАСК» (Противопожарная защита строительных конструкций), член комитета Федеральной Палаты пожарно-спасательной отрасли России

**Статья подготовлена на основе диссертации, в которой поднимаются вопросы огнестойкости бетонных конструкций, взрывообразной потери целостности бетонных изделий. Диссертация была написана Е.А. Мешалкиным в 1979 году и, как оказывается, не потеряла актуальности и в наши дни.**



Е.А. МЕШАЛКИН. Генерал-лейтенант внутренней службы в отставке, автор более 300 научных работ, а при его участии и непосредственном руководстве было выполнено свыше 70 НИОКР по актуальным проблемам пожарной безопасности. В этом году Е.А. Мешалкин отметил свое 70-летие. Желаем ему новых творческих успехов и крепкого здоровья



С.П. АНТОНОВ

Основные положения, вошедшие в диссертационную работу:

- методы и средства регистрации разрушения изделий из капиллярно-пористых материалов в условиях воздействия агрессивных факторов и определения фильтрационных характеристик этих материалов;

- результаты экспериментального исследования процессов разрушения тяжелых бетонов на цементном вяжущем в зависимости от ряда технологических и экспериментальных факторов в условиях «стандартного» пожара с учетом специфики протекания явления их взрывообразной потери целостности;

- метод оценки стойкости бетонных изделий к взрывообразной потере целостности при пожаре;

- результаты оценки стойкости некоторых видов конструкций из тяжелого бетона к взрывообразной потере целостности.

Еще в 1979 году отмечалось, что, несмотря на большой опыт исследований в области огнестойкости конструкций, практика продолжает ставить перед исследователями все новые проблемы. Одной из таких проблем является взрывообразная потеря целостности бетонных изделий. «Внешнее проявление взрывообразной потери целостности состоит в том, что во время пожара или при испытаниях на огнестойкость уже через 5-10 минут после начала теплового воздействия почти непрерывно от обогреваемой поверхности бетонных конструкций откалываются пластинки материала площадью 0,04-0,05 м<sup>2</sup> и

толщиной 0,005-0,015 м. Куски откалывающегося бетона отлетают при этом с хлопками и треском на расстояние 10-15 м. В результате конструкции преждевременно утрачивают свою несущую способность сжатые элементы (например, колонны) – в результате резкого уменьшения рабочего сечения, а изгибаемые элементы (плиты перекрытий) – из-за быстрого нагревания растянутой рабочей арматуры до критической температуры».

Актуальность вопроса повышения стойкости железобетонных конструкций к огневому воздействию и, в частности, их стойкости к взрывообразному (хрупкому) разрушению подтверждается и сегодня, а количество пожаров как в мире, так и в России (только у нас около 150 тысяч в год) все еще велико.

По данным Всемирного Центра пожарной статистики, убытки от пожаров составляют в развитых странах до 2% от их национального дохода. Изучение результатов пожаров – явное свидетельство того, что в некоторых случаях разрушение конструкций произош-



Фото 1. Колонна на отм. 348,80 м после трехстороннего огневого воздействия. Разрушение узла соединения сборной и монолитной частей. Выгиб арматурных стержней

ло именно по причине оголения арматурного каркаса вследствие взрывообразного разрушения бетона

Как пример данного явления можно указать на пожар на Ирганайской ГЭС (2010 г.), который привел к деструкции бетона и потере им первоначальной прочности на сжатие на глубину до 270 мм (по результатам испытаний кернов).



Фото 2. Разрушение силовой арматуры и бетона плиты перекрытия над очагом пожара №1 в зоне сопряжения плиты со стенкой генератора ГА-1. Наблюдается эффект расплавления металла в металле (характерно для нагрева конструкций до 1400°C).

Оказалось, что применяемые методы исследования изменения прочностных и деформативных характеристик бетона при огневом воздействии «не дают информации о процессах в структуре материала и, тем более, не предназначены для исследования такого сложного и специфического явления, как взрывообразная потеря целостности (ВПЦ) бетона, которая протекает в условиях резко нестационарных процессов тепло- и влагопереноса, сопровождающихся фазами превращения содержащейся в материале влаги, неравномерным распределением температур и влагосодержаний внутри материала, возникновением градиента избыточного давления и т.д.».

Основными источниками информации о поведении бетона при пожаре являлись стандартные испытания конструкций на огнестойкость. Результаты таких испытаний показали:

- «взрывообразная потеря целостности происходит, начиная с 5-10 минуты от начала высокотемпературного воздействия и часто продолжается до 40-50 минуты;
- повышенное влагосодержание бетона в конструкциях является одним из основных факторов, определяющим склонность изделия к ВПЦ, которая наблюдается в широком интервале влагосодержаний (от 2% до 4%);
- склонность бетона к ВПЦ определяется также типом применяемого заполнителя;
- в нагруженном состоянии ВПЦ происходит при меньших значениях влагосодержания бетона, что говорит о существенном влиянии нагрузки на склонность изделия к ВПЦ».

Исследования авторов показали, что начальное влагосодержание бетона при вводе здания в эксплуатацию в 2-5 раз превосходит допускаемую величину (1-2% по СНиП

П-А.7-71) и может достигать 12%, при этом сорбционная влажность эксплуатируемых конструкций из тяжелого бетона может составлять до 6,5%, а процесс потери излишней влаги может составлять более 4-5 лет (на примерах исследований в Риге, Магнитогорске, Минске и Мурманске).

«Существующие подходы к оценке явления ВПЦ основаны на:

- статической (чисто механической) концепции разрушения, которая рассматривает разрушение бетона как мгновенный акт, наступающий при достижении рабочими напряжениями в материале некоторого критического значения прочности. Теория, основанная на этой концепции, получила название «теории предельных состояний». Однако в ряде случаев такая теория не позволяет объяснить наблюдаемые в действительности явления, обусловленные внутренними процессами (ВПЦ бетонных изделий при высокотемпературном воздействии);

- кинетической концепции разрушения.

Отмечая сложность процессов тепло- и влагопередачи при интенсивном высокотемпературном воздействии, кратко можно так сформулировать предлагаемые учеными «статические» объяснения причин «взрыва» бетона в рассматриваемых условиях:

- во влажном бетоне — это рост давления паров до некоторой разрушающей величины (0,7-2,0 МПа);
- в высушенном бетоне — это достижение температурными напряжениями некоторого критического значения.

Кинетическая, температурно-временная трактовка получает все большее распространение. Критическая величина критерия повреждаемости в некоторой точке считается критерием разрушения в рассматриваемой точке. В этой связи ВПЦ бетонных изделий при пожаре определяется как периодически повторяющаяся во времени зональная потеря целостности со стороны обогреваемых поверхностей, являющаяся конечной стадией накопления нарушений структуры материала в зонах потери целостности за счет комбинированного воздействия термических, силовых и влажностных стимуляторов разрушения.

Была предложена система оценки стойкости бетонных изделий к взрывообразной потере целостности в условиях пожара, которая включала 11 направлений, среди которых:

- исследование механизма ВПЦ, понимание источников прочности и разрушения изделий в рассматриваемых условиях;
- выбор и обоснование параметров и показателей стойкости к ВПЦ;
- анализ основных факторов, влияющих на процесс разрушения материалов и конструкций при высокотемпературном воздействии;
- установка взаимосвязи между факторами, влияющими на разрушение изделий и показателями стойкости к ВПЦ;
- разработка практических требований, исходя из области возможного использования материалов и конструкций;
- разработка системы количественной оценки стойкости к ВПЦ, включающей в себя методы и средства диагностики, разработку объективной шкалы прочности и др.

При разработке шкалы стойкости к ВПЦ, в соответствии со сложившимися представлениями, а также имеющимися данными ВНИИПО по результатам натуральных испытаний конструкций на огнестойкость, было принято деление материалов и изделий по стойкости к ВПЦ на три класса:

I класс (стойкие к ВПЦ) — относятся материалы и конструкции, которые в условиях пожара не склонны к ВПЦ в диапазоне возможных при пожаре влагосодержаний, интенсивностей теплового воздействия, нагрузок и т.д.,

II класс — склонные к ВПЦ в интервале эксплуатационных влагосодержаний только в нагруженном состоянии и III класс — склонные к ВПЦ в интервале эксплуатационных влагосодержаний при отсутствии нагрузок.

Была проведена широкая серия огневых экспериментов во ВНИИПО для проверки предлагаемого метода оценки стойкости бетонных изделий к хрупкому разрушению при огневом воздействии. Испытывались бетоны с различными заполнителями. Испытания 6 плит проводились через год после изготовления, и они показали, что бетон образцов разрушался с эффектом «взрыва» уже через 9-15 минут огневого воздействия. При этом в нижней полке образывались сквозные отверстия.

Последующая серия испытаний, через 2 года после изготовления плит и хранения их в отапливаемом помещении, с влажностью бетона 1,5-3%, дала такие же результаты.

На рис. 3 — один из результатов испытаний.



Рис. 3. Вид плиты (модели нижней полки коробчатого настила) после взрывообразной потери целостности при испытаниях на огнестойкость

Проведенный анализ теоретико-экспериментальных исследований показал, что основные факторы, в той или иной мере оказывающие влияние на стойкость бетонных изделий к ВПЦ, можно подразделить на группы:

технологические, конструктивные, эксплуатационные (в обычных условиях эксплуатации), и эксплуатационные (в аварийных условиях эксплуатации).

Разработка мероприятий по регулированию стойкости к ВПЦ может осуществляться в трех направлениях:

- воздействие на процесс разрушения материала прогреваемого изделия в стадии накопления нарушений, предшествующей возникновению актов ВПЦ;

- воздействие на развитие магистральной трещины на заключительном этапе разрушения материала конструкции в условиях пожара;

- комплексное воздействие на процесс разрушения материала конструкции как в стадии накопления нарушений, так и в стадии потери изделием целостности.

Основные мероприятия, связанные с воздействием на конструктивные факторы:

- введение специальных защитных элементов в бетонные конструкции. Достаточно эффективным средством является нанесение теплоизоляционного слоя из базальтового волокна на поверхность изделия, и другие решения;

- перфорирование поверхностей конструкции для «стравливания» избыточного давления, создаваемого при испарении содержащейся в бетоне влаги;

- введение элементов, препятствующих развитию процесса разрушения материала при его интенсивном прогреве;

- дополнительное армирование поверхностного слоя бетона сварными сетками с различными размерами ячеек.

Тут следует отметить, что Е. А. Мешалкин практически предвосхитил разработанные позже требования Еврокода 2 «Проектирование железобетонных конструкций», а именно части EN 1992-1-2 «Общие правила определения огнестойкости». Данный документ в п.6.2 рекомендует для защиты бетона от хрупкого разрушения при пожаре применять указанные выше методы (более подробно в статье «Российское противопожарное законодательство и требования по обеспечению огнестойкости железобетонных строительных конструкций» см. стр. 38).

Основные мероприятия, связанные с воздействием на эксплуатационные факторы:

- территориальное зонирование применяемых в строительстве конструкций по влажностным поясам;

- дифференцированное применение конструкций в зданиях и сооружениях в зависимости от требуемого предела огнестойкости и фактически возможной интенсивности высокотемпературного воздействия в условиях пожара;

- ограничение области применения конструкций и материалов (с учетом климатических зон и влажностного режима в помещении).

Проверка эффективности рекомендуемых или используемых в практике мероприятий по регулированию стойкости к ВПЦ бетонных изделий в условиях пожара должна производиться путем экспериментального определения фактических значений показателя стойкости к ВПЦ и сравнения их с требуемыми значениями этого параметра согласно шкалы классов стойкости к ВПЦ.