



РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ НАРУЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

В.С. Федоров, А.А. Коршунов

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

Представлен анализ огнестойкости наружных железобетонных панелей из тяжелого бетона при стандартном температурном режиме пожара в помещении при действии постоянной нагрузки. На основе данных испытаний сделан вывод, что для увеличения предела огнестойкости двухслойных панелей, утепляющий слой которых имеет низкую прочность, необходимо предусматривать установку между слоями специальных анкерных стержней обеспечивающих их совместную работу.

Разрушение первой панели в испытаниях на огнестойкость произошло с прогибом в обогреваемую сторону, а второй панели с прогибом в необогреваемую сторону. Разница в величинах пределов огнестойкости и схемах разрушения образцов объясняется различной прочностью утепляющих слоев. Выявлено, что огнестойкость железобетонных панелей и схема их работы в условиях высокотемпературного воздействия пожара зависит от прочности утепляющего слоя панели и наличия специальных элементов крепления для обеспечения совместной работы слоёв.

Ключевые слова: *предел огнестойкости, железобетонные панели, тяжёлый бетон, огнестойкость.*

EST RESULTS FOR FIRE RESISTANCE OF EXTERNAL REINFORCED CONCRETE PANELS MADE OF HEAVY CONCRETE

V.S. Fedorov, A.A. Korshunov

Russian University of transport (MIIT), Moscow, Russia

The analysis of fire resistance of external reinforced concrete panels made of heavy concrete under the standard temperature regime of a fire in a room under constant load is presented. Based on these tests, it is concluded that to increase the fire resistance of two-layer panels, the insulation layer of which has a low strength, it is necessary to provide for the installation of special anchor rods between the layers that ensure their joint operation.

The destruction of the first panel in the fire resistance tests occurred with a deflection in the heated side, and the second panel with a deflection in the non-heated side. The difference in the values of fire resistance limits and failure patterns of samples is explained by the different strength of the insulation layers. It is revealed that the fire resistance of reinforced concrete panels and their operation in the conditions of high temperature effects of a fire depends on the strength of the insulation layer of the panel and a special mounting elements for collaboration layers.

Keywords: *fire resistance limit, reinforced concrete panels, heavy concrete, fire resistance.*

В настоящее время в конструкциях зданий достаточно широко используются внецентренно сжатые железобетонные панели из тяжёлого бетона. Панели используют в качестве несущих конструкций, ограждающих элементов, а так как они обладают высокой огнестойкостью их, в том числе, могут применять в качестве противопожарных преград [1–11]. Расчёт таких конструкций на огнестойкость проводится по потере теплоизолирующей способности и по потере несущей способности. Предел огнестойкости железобетонных панелей в основном наступает по теплоизолирующей способности, однако, как показали испытания, огнестойкость данной конструкции может быть исчерпана и по потере несущей способности. При расчёте необходимо учитывать такие факторы как гибкость и геометрическая нелинейность деформирования, а также неравномерность прогрева бетона по сечению и влияние факторов физической нелинейности [1]. При помощи нормативных методов расчёта, использующих прямоугольную эпюру напряжений в сжатом бетоне в предельной по прочности стадии, достаточно проблематично учесть все необходимые факторы. Однако, использование деформационной модели нормальных сечений даёт нам большие возможности для расчётов [2]. На основе вышесказанного, анализ результатов

испытаний, а также усовершенствование расчётных методов представляется актуальным направлением в строительной практике и науке.

Вопрос расчётной оценки огнестойкости железобетонных стен из тяжелого бетона, в особенности на основе деформационной модели нормальных сечений, разработан достаточно слабо. В стандарте – СТО 36554501-006-2006, а также в нормативном документе СП 468.1325800.2019 [3] приводится методика расчёта железобетонных стеновых панелей из тяжёлого бетона лишь по предельным усилиям. В составе Еврокода [4] также приводятся только общие указания по расчёту огнестойкости железобетонных конструкций.

Рассматривая вышеуказанные документы, можно заметить, что они не содержат описание методики выполнений расчётов двухслойных панелей, отсутствуют рекомендации по учету сцепления несущего и утепляющего слоев. В данной статье рассмотрены особенности совместной работы утепляющего и несущего слоев в железобетонных панелях из тяжелого бетона, а также выполнены сравнения опытных данных и теоретических расчётов по данным видам конструкций. Экспериментальные данные взяты из проведенных испытаний во ФГБУ ВНИИПО МЧС России [5].

Опытные образцы представляли собой двухслойные железобетонные стеновые панели высотой 264 см и толщиной 35,8 см, армированные стержнями из арматуры класса А-I, диаметром 6 мм (рис. 1). Наружный слой толщиной 28 см выполнен из крупнозернистого керамзитобетона В5, прочностью 65 кг/см², внутренний слой толщиной 10 см выполнен из тяжёлого бетона на гранитном щебне классом В60, прочность 780 кг/см². Испытания проводились при платформенном опирании обоих слоёв. Стеновая панель загружалась постоянной нагрузкой, в виде сосредоточенной силы $N = 70$ т. Усилия прикладывали с эксцентриситетом $e = 5$ мм от оси несущего слоя в сторону слоя легкого бетона (необогреваемую сторону).

Огневое воздействие проводилось по стандартному температурному режиму пожара в помещении, при котором температура среды задаётся непрерывно возрастающей логарифмической функцией времени τ , мин:

$$t = 345 \lg(8\tau + 1) + t_0, \quad (1)$$

где t_0 – начальная температура (обычно $t_0 = 20$ °С).

На рис. 2 представлены полученные кривые распределения температур по толщине стеновой панели во время нагрева. Датчики измерения температуры расположены вдоль толщины испытуемого образца (рис. 1).

Испытания железобетонных стеновых панелей на совместное действие вертикальной нагрузки и огневого воздействия выявили особенности огнестойкости их поведения и разрушения.

При работе в нормальных условиях разрушение внецентренно сжатой стеновой панели происходит из-за потери прочности, а при огневом воздействии и небольшой толщине железобетонной панели разрушение произойдет в результате потери устойчивости, так как гибкость панели при нагреве существенно увеличится. Это означает, что в расчётной оценке огнестойкости железобетонных стен необходимо учитывать их гибкость и геометрическую нелинейность деформирования. Также требуется учесть влияние факторов физической нелинейности и неравномерность прогрева бетона по сечению.

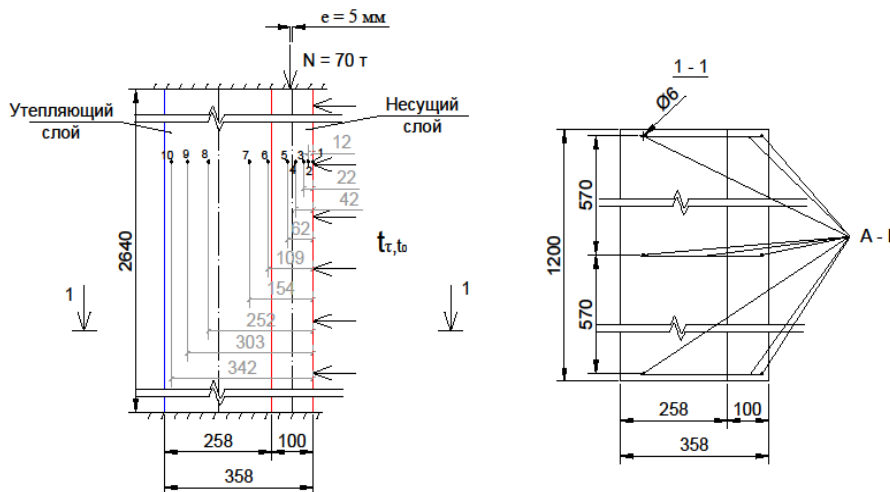


Рис. 1. Расчётная схема железобетонной стеновой панели

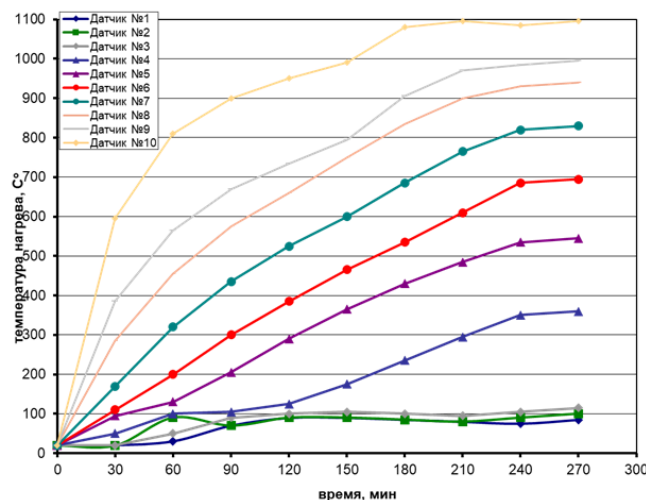


Рис. 2. Кривые температур стеновой панели

В процессе испытаний была выявлена особенность сцепления несущего и утепляющего слоев, которая повлияла на огнестойкость железобетонных панелей. В результате чего необходимо учитывать все слои многослойных железобетонных панелей при расчёте конструкции, так как они могут оказать существенное влияние на несущую способность.

По результатам испытаний предел огнестойкости первой панели по признаку потери несущей способности составил 1 ч 46 мин, а второй панели – 4 ч 28 мин. Предел огнестойкости панелей по признаку прогрева необогреваемой поверхности к этим моментам времени не был достигнут, что можно наблюдать на кривых прогрева железобетонной панели по сечению (рис. 3).

Разрушение первой панели произошло с прогибом в обогреваемую сторону, а второй панели с прогибом в необогреваемую сторону. Такая разница в величинах пределов огнестойкости и схемах разрушения образцов объясняется различной прочностью утепляющих слоев. В первой панели прочность была почти в 2 раза меньше проектной величины. Низкая прочность обуславливает плохую сцепляемость поверхностей несущего и утепляющего слоёв панели при работе конструкции в процессе огневого воздействия. Когда при нагреве панели по стандартному температурному режиму возник температурный прогиб её в сторону нагрева, произошло расслоение утепляющего и несущего слоёв конструкции, в результате чего была нарушена их совместная работа. Рабочая нагрузка с этого момента времени воспринималась только несущим слоем и вызвала дополнительный прогиб панели в обогреваемую сторону.

Значительный суммарный прогиб в сторону нагрева от нагрузки и температурного воздействия привел к потере несущей способности первой панели через 1 ч 46 мин огневого воздействия. В данном случае панель работала как однослойная с большой гибкостью. Этот вывод подтвердили и теоретические исследования огнестойкости панелей.

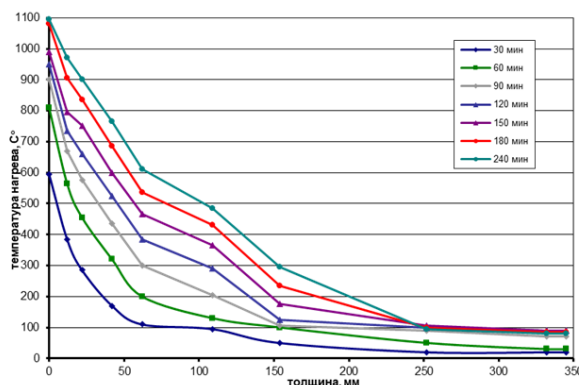


Рис. 3. Кривые прогрева бетона по сечению стеновых панелей

На основе данных испытаний можно сделать вывод, что для увеличения предела огнестойкости двухслойных панелей, утепляющий слой которых имеет низкую прочность, необходимо предусматривать установку между слоями специальных анкерных стержней обеспечивающих их совместную работу.

Во второй панели прочности утепляющего слоя хватило, чтобы обеспечить достаточную сцепляемость слоев конструкции в процессе нагрева. Панель при огневом воздействии работала как единое целое, то есть как панель с малой гибкостью.

Результатом теоретического исследования по деформационной модели является диаграмма «момент – прогиб» (рис. 4) для фиксированного значения постоянно действующей нагрузки. Данная диаграмма показывает поведение железобетонной панели на всех стадиях работы внецентренного нагружения. Для определения предела огнестойкости с помощью деформационной модели были построены шесть диаграмм «момент – прогиб» для разных моментов времени и по методике работы [6] определен критический начальный эксцентриситет $e_{0,cr}$. Величину расчетного предела огнестойкости по несущей способности определяем в момент времени, когда произойдет снижение критического эксцентриситета до фактического значения e_0 .

Построение диаграммы осуществлено с учётом выполнения статического равновесия внешних и внутренних сил [2]:

$$M = \sum_i \sigma_{b,ti} y_{b,i} A_{b,i} + \sum_j \sigma_{s,tj} y_{s,j} A_{s,j} \quad (2)$$

$$N = \sum_i \sigma_{b,i} A_{b,i} + \sum_j \sigma_{s,j} A_{s,j} \quad (3)$$

Напряжения на расчётных участках определялись исходя из физического соотношения, описываемого следующими уравнениями:

$$\sigma_{b,i} = E_{b,ti} \cdot \nu_{b,i} \cdot \epsilon_{b,i}, \quad (4)$$

$$\sigma_{s,j} = E_s \cdot \nu_{s,j} \cdot \epsilon_{s,j}. \quad (5)$$

Силовые деформации расчётных участков определяются по гипотезе плоских сечений с учётом температурных деформаций:

$$\epsilon_{b,i} = \epsilon_0 + \left(\frac{1}{r} \right) \cdot y_{b,i} - \epsilon_{b,i}^{(t)}, \quad (6)$$

$$\epsilon_{s,j} = \epsilon_0 + \left(\frac{1}{r} \right) \cdot y_{s,j} - \epsilon_{s,j}^{(t)}. \quad (7)$$

При одностороннем огневом воздействии вследствие появления температурной кривизны диаграмма «момент-прогиб» смещается вправо и становится несимметричной. Критиче-

ский эксцентриситет сдвигается вправо, в сторону положительных значений с увеличением времени нагрева.

Исследуемая панель исчерпала огнестойкость по потере несущей способности на отметке 240 минут при прогибе равным 6 см, что, с погрешностью в 8 %, совпадает с результатами испытаний. По результатам испытаний прогиб на данный момент времени составил 6,5 см.

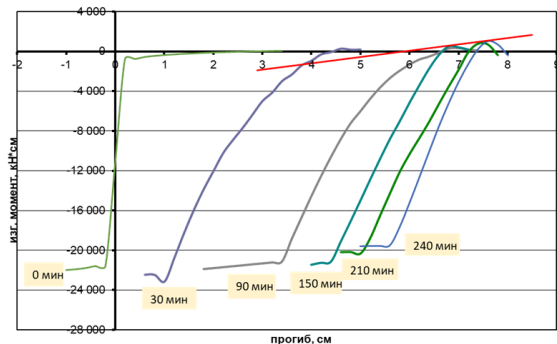


Рис. 4. Диаграмма «момент-прогиб» внецентренно сжатой панели в различные моменты времени нагрева.

В этом случае в соответствии с известными схемами разрушения небольшой температурный прогиб панели в обогреваемую сторону через некоторое время стабилизировался вследствие возникновения в прогретом слое сечения деформаций температурной ползучести. Потеря прочности сжатого бетона и арматуры в сильно нагретом слое сечения привели к уменьшению работоспособной толщины панели. Возникший вследствие этого изгибающий момент деформировал панель в обратном направлении.

Таким образом, можно утверждать, что для проверки огнестойкости нагруженных со случайным эксцентриситетом многослойных железобетонных панелей необходимо проверять не только по потере теплоизолирующей способности, но и по потере несущей способности. Также схема работы в значительной степени зависит от качества сцепления несущего и утепляющего слоев в процессе нагрева.

Список литературы

1. Федоров В.С. Актуальные проблемы оценки огнестойкости конструкций в составе несущей системы здания // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Материалы Национальной научно-практической конференции (9 февраля 2018 г.). – Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. – С. 3–7.
2. Федоров, В.С. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций / В.С. Федоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. [текст]. – М.: АСВ, 2009. – 408 с.
3. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций / ФГУП «НИЦ «Строительство». [текст].
4. EN 1992-1-2. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. [текст].
5. Провести исследования огнестойкости несущих конструктивных элементов зданий и сооружений из железобетона. Отчёт по теме П.03.С.002.80, инв. № 0282, 2890. Рук. – А.И. Яковлев. [текст]. – М.: ВНИИПО, 1981.
6. Федоров В.С., Левитский В.Е. Оценка огнестойкости внецентренно сжатых железобетонных колонн по потере устойчивости // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2012. – №2(241). – С. 53-60.
7. Zolina T., Kupchikova N. Influence of vibration impacts from vehicles on the state of the foundation structure of a residential building. В сборнике: E3S Web of Conferences. Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019. 2019. С. 03053.
8. Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. Analytical method used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. С. 012102.
9. Kupchikova N. Determination of pressure in the near-ground space pile terminated and broadening of the surface. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 04062.
10. Zolina T., Strelkov S., Kupchikova N., Kondrashin K. Monitoring of the collapse of the shores of reservoirs and the technology of their surface and deep fixing. В сборнике: E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019. – 2020. – С. 2–11.

© В.С. Федоров, А.А. Коршунов

Ссылка для цитирования:

В.С. Федоров, А.А. Коршунов. Результаты испытаний на огнестойкость наружных железобетонных панелей из тяжелого бетона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 4 (34). С. 70–73.

УДК 624.1

ЭКСПЕРТИЗА ГЕОПОДОСНОВЫ И СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ НЕЗАВЕРШЁННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Н.В. Купчикова¹, Е.В. Гурова²

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия

²Волгоградский Государственный Технический Университет, г. Волгоград, Россия

Проектирование в отношении объектов, незавершенных строительством, зачастую предполагает решение задач, связанных с желанием заказчика возвести на месте ранее выполненных конструкций объект с отличными от первоначальных объемно-планировочными и конструктивными решениями. В статье представлены результаты проведения авторами экспертизы геоподосновы оснований и фундаментов на участках застройки объектами незавершенного строительства в городах