

Е. Г. КОСТЮЧЕНКО, ассистент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: _ICA kbs@mgsu.ru)

В. Д. ЗАХМАТОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

УДК 614.841.343.699.814

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПУСТОТНЫХ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОД НАГРУЗКОЙ

Представлены экспериментальные зависимости предельных состояний пустотных плит перекрытий при комбинированном воздействии на них. Установлены зависимости прогрева армирующих элементов плит (тросов) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара. Показаны зависимости прогрева плит на глубине 150 и 200 мм в течение времени в условиях стандартного режима пожара, а также зависимости прогиба плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки. Установлено, что время достижения предельного состояния по потере несущей способности (величина прогиба и скорость прогиба при прогреве плиты и под действием расчетной нагрузки) и потере теплоизолирующей способности составляет более 65 мин. Показано, что потери несущей способности в течение 65 мин достигнуто не было; прогиб и скорость прогиба плиты в результате прогрева и воздействия на нее расчетной нагрузки составили 156 мм и 2,5 мм/мин соответственно, причем эти значения не являются критическими. Установлено также, что в течение 12 ч после прекращения огневого воздействия, но при наличии расчетной нагрузки обратной деформации (прогиба) не произошло; количество трещин на образце и их размеры не превысили нормативных; прогрева плиты до критической температуры 140 °С не наблюдалось.

Ключевые слова: пустотные плиты перекрытия; предельные состояния; огневое воздействие под нагрузкой; потеря несущей способности; потеря теплоизолирующей способности.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74

Введение

Пустотные плиты перекрытия из железобетона давно и прочно зарекомендовали себя как незаменимый элемент сооружений при строительстве различных объектов гражданского и промышленного назначения [1–4]. Даже появление новых технологий строительства, к которым может быть отнесено монолитное строительство, не уменьшило актуальности использования пустотных плит перекрытия из железобетона. Такие плиты являются недорогим и прочным строительным материалом, приобрести который могут не только строительные компании, но и частные лица [5–9].

К основным преимуществам пустотных плит перекрытия могут быть отнесены: оптимальная стоимость изделия, возможность использования при возведении объектов различного назначения, высокая прочность, высокие изоляционные характеристики.

Бетонные перекрывающие плиты являются наиболее востребованными в строительстве. Такой материал незаменим при возведении жилых, промышленных и административных зданий любой этажности. Особенно популярны пустотные перекрытия, так как они имеют меньшую массу по сравнению со сплошными без потерь в прочности и надежности. Наличие в плитах пустот также не сказывается на несущих способностях конструкции [10–13], а их тепло- и звукоизоляция намного выше.

Основное назначение пустотных плит — использование в качестве перекрытий на стыках этажей при строительстве домов из кирпича, стеновых блоков и бетона. Благодаря своим преимуществам этот вид перекрытий стал самым популярным из железобетонных изделий (ЖБИ). Пустотные плиты используют в качестве перекрытий в многоэтажных, частных и монолитных объектах, а зачастую в качестве несущих каркасов. В промышленности чаще

применяются многпустотные армированные модификации плит из тяжелых бетонов.

Главным фактором, определяющим преимущества перекрывающих конструкций, является наличие пустот. Благодаря им на изготовление конструкции требуется меньше стройматериала и, как следствие, снижается масса изделия, а значит, и нагрузка от собственного веса конструкции на фундамент уменьшается. Кроме того, за счет заполнения пустот воздухом перекрытия обладают повышенной тепло- и шумоизоляцией; отверстия в плитах применяются для прокладки инженерных коммуникаций. Использование предварительно-напряженного арматурного каркаса повышает прочностные и эксплуатационные показатели перекрывающего изделия. Применение многпустотного стройматериала экономически оправданно и позволяет в сжатые сроки возводить каркас дома. Отдельным видом пустотных железобетонных перекрытий является плита марки ПБ, полученная путем непрерывного безопалубочного формования на длинных стендах. Ее назначение — обеспечение опоры по двум сторонам.

От размеров пустот зависят эксплуатационные характеристики перекрывающего элемента. Диаметр круглых отверстий в плите колеблется в диапазоне от 140 до 203 мм. Чем меньше эта величина, тем прочнее изделие. На прочность влияет также толщина перекрытия, которая обычно составляет 22 см. Однако есть более массивные продукты, например плита 6ПК, толщина которой 30 см. Облегченные модификации производятся из легкого бетона и имеют толщину 16 см. Из таких плит сооружают межэтажные перегородки для газоблочных или пенобетонных стен.

Стандартная несущая способность таких изделий составляет 800 кг/м^2 , но встречаются межэтажные перегородки, рассчитанные на нагрузку $1200\text{--}1250 \text{ кг/м}^2$. Для получения плит с отверстиями необходим бетонный раствор на цементе марок М300 и М400, который обеспечивает высокую прочность и пластичность готового изделия. Цемент М400 придает ему стойкость к моментальной нагрузке $400 \text{ кг на } 1 \text{ см}^3$ в секунду, а М300 — способность не разрушаться при прогибах [14–17].

Для повышения прочностных характеристик и несущей способности бетонных перекрытий в изделия монтируют стальные пруты. С этой целью используется арматура из нержавеющей стали классов А3 и А4. Такой материал отличается повышенной коррозионной стойкостью и устойчивостью к колебаниям температур в диапазоне от минус 40 до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ [18–20].

На практике часто применяется натяжная арматура. Процесс армирования происходит в четыре стадии: натяжение стальных прутьев в форме; укладка

арматурной сетки в форму; заливка бетоном; обрезка излишка арматурных элементов, выступающих из затвердевшего бетона. Такая арматура придает плитам способность выдерживать максимальное динамическое и статическое давление без провисания и прогибов [21–25]. При этом в торцы, опирающиеся о стены, дополнительно монтируют двойную арматуру, что наделяет изделие устойчивостью к нагрузкам от собственного веса и веса верхних стен без деформации. С использованием таких перекрытий сооружаются высотные промышленные здания.

Цель настоящего исследования — получить экспериментальные зависимости предельных состояний пустотных плит перекрытий под огневым воздействием и расчетной нагрузкой. При этом необходимо установить предельное состояние потери несущей способности, зависимость величины прогиба и скорости прогиба от прогрева плиты и расчетной нагрузки, возможность обратной деформации (прогиба) после прекращения огневого воздействия с расчетной нагрузкой, потерю целостности, зависимость количества трещин и их размеров от прогрева и влажности плиты, а также от расчетной нагрузки, потерю теплоизолирующей способности, зависимость прогрева плиты от длительности огневого воздействия.

Метод испытаний

Для испытаний были использованы пустотные бетонные плиты перекрытий, которые имели размеры, соответствующие проектным, и различались только по толщине (160 и 220 мм) и способу армирования. Состав бетона, строительного раствора и армирующих элементов не различался. Единственный способ, которым, по нашему мнению, можно объективно оценить фактическую степень огнестойкости плиты, — это экспериментально получить графики предельных состояний конструкции (REI).

Перед огневыми испытаниями на горизонтальную поверхность печи были установлены три пустотные бетонные плиты перекрытий (ГОСТ 30247.0), стыки между которыми были заполнены строительным раствором. Торцевые стороны плит также были заполнены раствором. Опалубкой служил лист стали толщиной 5 мм, который фиксировался путем приваривания в нескольких местах к горизонтальной поверхности печи. На необогреваемой стороне плит была сделана стяжка из того же раствора толщиной 20 мм. По бокам плит произведена закладка из ячеистых блоков для устранения зазора между плитой и рамкой горизонтальной печи. После установки плиты должны отстояться в течение расчетного времени для затвердевания строительного раствора. С этого момента все плиты становятся единой конструкцией, которую нагружают в соответствии с

расчетной нагрузкой. В данном исследовании в качестве нагрузки использованы 18 бетонных блоков площадью 1 м^2 и массой 350 кг каждый при первом испытании плит толщиной 160 мм и 36 блоков — при втором испытании плит толщиной 220 мм. Затем устанавливали тросовый датчик линейных перемещений (с цифровым выходом) и термоэлектрические преобразователи (ТЭП). Как правило, тросовые датчики размещают в центре конструкции из трех плит (рис. 1). Среднюю температуру на необогреваемой поверхности плит определяют как среднее арифметическое показаний не менее чем пяти термопар. Одну термопару располагают в центре, а остальные — в точках пересечения прямых, соединяющих центр и углы проема печи (рис. 2). При этом необходимо, чтобы стыковые соединения плит не совпадали с местами установки термопар, предназначенных для измерения средней температуры необогреваемой поверхности. Места расположения термопар для измерения температуры на необогреваемой поверхности образца ограждающей конструкции должны располагаться не ближе 100 мм от края проема печи. В глубине плит термоэлектрические преобразователи типа КТХА устанавливают

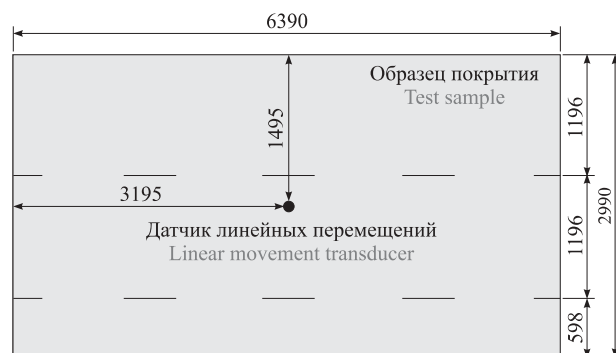


Рис. 1. Схема расположения датчика вертикальных перемещений на поверхности образца испытываемого перекрытия
Fig. 1. Location scheme of vertical displacement sensor placed on the surface of tested floor slab

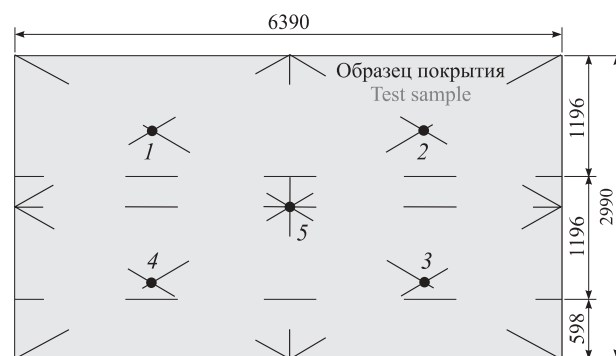


Рис. 2. Схема расположения ТЭП на необогреваемой поверхности образца испытываемого перекрытия
Fig. 2. Location scheme of the thermocouples on the unheated surface of the test sample

парами: один — в центре пустоты плиты, второй — на минимальном расстоянии от первого в нижней прослойке плиты. Термоэлектрические преобразователи, устанавливаемые на тросы, касаются их (тросов) рабочим спаем; ввод термоэлектрических преобразователей в глубь плиты производится с необогреваемой поверхности путем высверливания отверстий. Глубинные термопары размещают в любом свободном от нагрузки месте плиты.

Непосредственно перед началом огневого воздействия измеряется влажность плиты, температура окружающего воздуха и атмосферное давление. После начала огневого воздействия в рабочем листке фиксируются все изменения состояния плиты (визуальное увеличение прогиба, появление трещин, испарение влаги, звуки и т. д.). Расстояние между плитой и местом ее начального крепления измеряется линейкой непосредственно во время испытаний. Измерение динамики прогиба и снятие показаний с термоэлектрических преобразователей производится с помощью автоматизированных средств измерений. Кроме того, фиксируется время от начала огневого воздействия до наступления одного из предельных состояний. Это время и есть фактический предел огнестойкости.

При испытании несущих и ограждающих конструкций различают следующие предельные состояния:

- потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций;
- потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на $140 \text{ }^\circ\text{C}$ или в любой точке этой поверхности более чем на $180 \text{ }^\circ\text{C}$ в сравнении с температурой конструкции до испытания либо более чем на $220 \text{ }^\circ\text{C}$ независимо от температуры конструкции до испытания;
- потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя.

В процессе испытания потерю целостности определяют с помощью тампона (по ГОСТ 30247.0), который помещают в металлическую рамку с держателем, подносят к местам, где ожидается проникновение пламени или продуктов горения, и в течение 10 с держат на расстоянии 20–25 мм от поверхности образца. Время от начала испытания до воспламенения тампона или возникновения тления со свечением является пределом огнестойкости конструкции по признаку потери целостности. Испытания проводятся в условиях стандартного режима пожара (рис. 3).

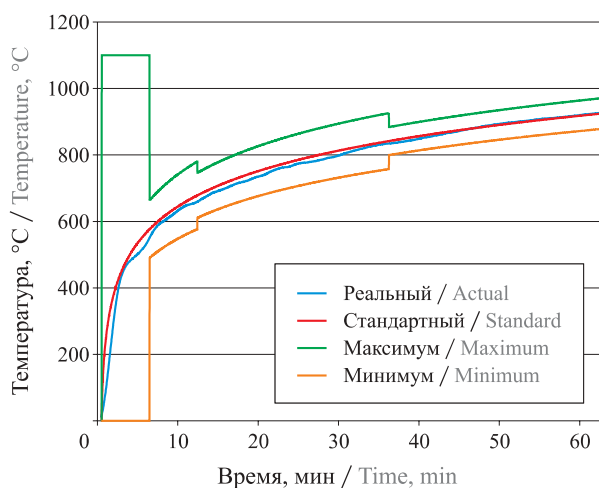


Рис. 3. Зависимость температуры при реальном и стандартном режимах пожара от времени

Fig. 3. Time-temperature curves under actual and standard fire conditions

После испытания, когда горизонтальная поверхность печи остынет до температуры окружающей среды, фиксируют общее количество трещин, их ширину и по возможности глубину, количество трещин на единицу площади. В течение суток после прекращения огневого воздействия регистрируется динамика прогиба, так как может начаться обратная деформация плит.

Результаты испытаний

По результатам проведенных испытаний были получены следующие зависимости (рис. 4–11).

По результатам обработки экспериментальных данных установлено, что повышение температуры на необогреваемой поверхности плиты начинается с 17-й минуты и к 60-й минуте достигает значений на разных термопарах от 65 до 77 °С (см. рис. 4). Сред-

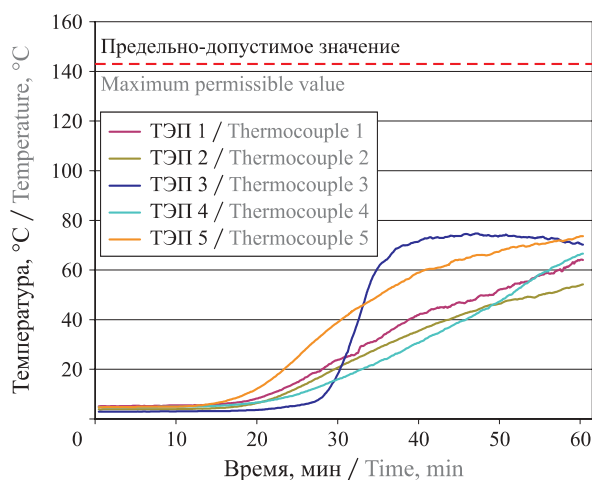


Рис. 4. Зависимость прогрева необогреваемой стороны плит от времени в условиях стандартного режима пожара

Fig. 4. Time dependence of warming up of the unheated side of slabs under standard fire conditions

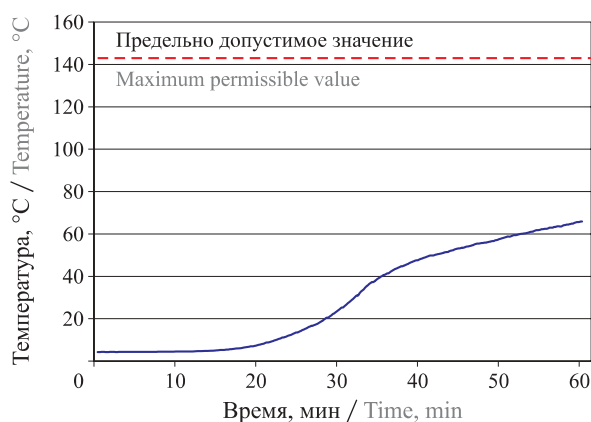


Рис. 5. График среднего значения (ТЭП 1–5) прогрева плит в условиях стандартного пожара

Fig. 5. Curve of the average heating value (thermocouples 1–5) for slabs under standard fire conditions

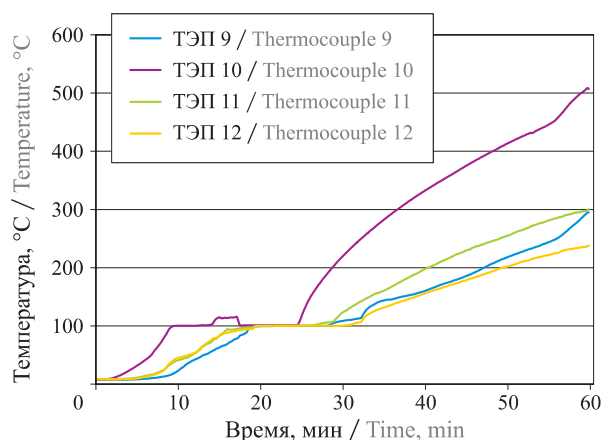


Рис. 6. Зависимость прогрева плит на глубине 150 мм (ТЭП 9, ТЭП 12) и 200 мм (ТЭП 10, ТЭП 11) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара

Fig. 6. Dependence of heating up of slabs at the depth of 150 mm (thermocouples 9 and 12) and 200 mm (thermocouples 10 and 11) during the time of fire exposure

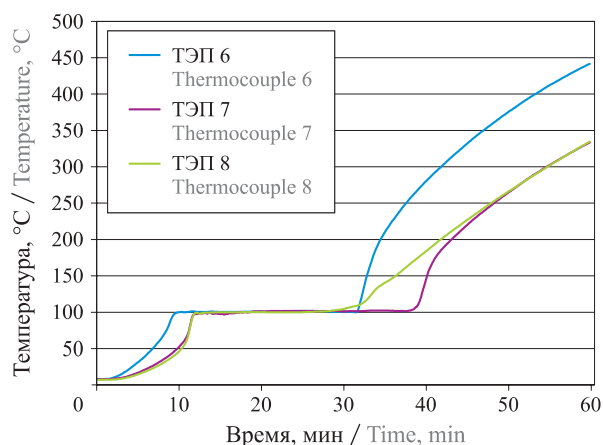


Рис. 7. Зависимость прогрева армирующих элементов плит (росов) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара

Fig. 7. Dependence of heating up of the slab reinforcing elements (ropes) during the time of fire exposure

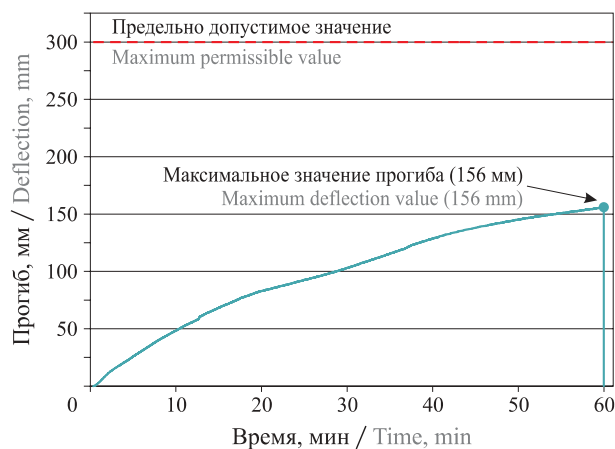


Рис. 8. Зависимость прогиба плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки

Fig. 8. Time dependence of deflection of the slabs under the standard fire conditions and specified load

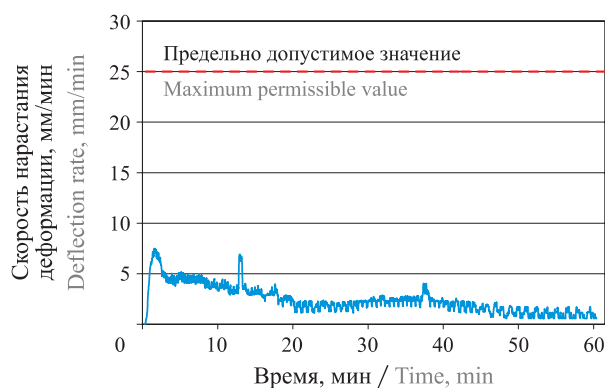


Рис. 9. Зависимость скорости нарастания деформации плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки

Fig. 9. Time dependence of the strain rate value on slabs under standard fire conditions and specified load

нее значение температуры на необогреваемой поверхности плиты составляет $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 5).

Прогрев плит происходит постепенно (см. рис. 6 и 7), и только после 30 мин начинается повышение температуры по всей их толщине. В течение последующих 30 мин температура внутри плиты начинает постепенно повышаться со 100 до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

С возрастанием температуры в печи происходит постепенный прогиб плиты и через 60 мин, по окончании эксперимента, прогиб достигает 156 мм , что практически в 2 раза меньше возможного прогиба для этого типа плит (см. рис. 8), а скорость нарастания деформации плит в течение времени теплового и силового воздействия постепенно уменьшается и составляет в среднем $2,5\text{ мм/мин}$.

Выводы

По результатам проведенных испытаний установлено, что время достижения предельного состояния по потере несущей способности (величина прогиба и скорость прогиба при прогреве плиты и воздействии расчетной нагрузки) и потере теплоизолирующей способности составило более 65 мин. Потери несущей способности в течение 65 мин достигнуто не было; прогиб и скорость прогиба плиты в результате прогрева и воздействия на нее расчетной нагрузки составили 156 мм и $2,5\text{ мм/мин}$ соответственно, причем эти значения не являются критическими. В течение 12 ч после прекращения огневого воздействия, но при наличии расчетной нагрузки обратной деформации (прогиба) не произошло. Количество трещин на образце и их размеры не превысили нормативных. Прогрева плиты до критической температуры $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ не наблюдалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мадатян С. А. Системы предварительного напряжения арматуры с натяжением ее на бетон без сцепления // Технологии бетонов. — 2007. — № 1. — С. 48–51.
2. Кривцов Ю. В., Микеев А. К., Пронин Д. Г. Развитие требований пожарной безопасности к огнестойкости конструкций в Строительных нормах и правилах, разрабатываемых ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко // Промышленное и гражданское строительство. — 2009. — № 10. — С. 25–26.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Vyakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
4. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
5. Жуков В. В., Молчадский И. С., Лавров В. Н. Расчет пределов огнестойкости безбалочных перекрытий // Пожарная безопасность. — 2006. — № 1. — С. 36–41.
6. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М.: Спецтехника, 2001. — 496 с.
7. Корольченко Д. А., Холицевников В. В. Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 44–51.

8. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings // International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — P. 42541–42548.
9. Боровских А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2008. — № 4. — С. 82–86.
10. Демехин В. Н., Лукинский В. М., Серков Б. Б. Пожарная опасность и поведение строительных материалов в условиях пожара. — СПб. : ООО “Ковэкс”, 2002. — 142 с.
11. Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Аганов А. Г. О пожароопасности древесины при возведении мостов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 4(42). — С. 158–162.
12. Боровских А. В., Ягунов Б. А. Эффективность применения высокопрочной арматуры в сжатых зонах железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — 2009. — № 1. — С. 20–21.
13. Круковский П. Г., Ковалев А. И. Методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий многослойных железобетонных плит перекрытий // Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2011. — № 1(23). — С. 87–101.
14. Ковалев А. И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий : дис. ... канд. техн. наук. — К., 2012. — 163 с.
15. Боровских А. В. Экспериментальные исследования железобетонных плит оболочек на крупномасштабных моделях // Пространственные конструкции зданий и сооружений : тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. — М., 2007. — С. 14–15.
16. Степанова В. Ф. Теория и практика обеспечения сохранности арматуры в железобетонных конструкциях // Бетон и железобетон. — 2007. — № 5. — С. 25–29.
17. Изотов Ю. Л., Изотова Т. Ю. О предельной величине насыщения арматурной сжатой зоны поперечного сечения изгибаемых и внецентренно сжатых элементов // Бетон и железобетон. — 2007. — № 6. — С. 19–20.
18. Митасов В. М., Логунова М. А., Стаценко Н. В. Новые подходы к решению задач деформирования железобетонных конструкций с трещинами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2017. — Т. 7, № 1(20). — С. 77–83.
19. Зайцев А. М., Черных Д. С. О системной погрешности аппроксимации температурного режима стандартного пожара математическими формулами // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 14–17.
20. Каледин В. О., Каледин Вл. О., Страхов В. Л., Давыдкин Н. Ф., Марченко А. Ю. Анализ системной прочности оборудования и сооружений при огневом поражении // Математическое моделирование. — 2006. — Т. 18, № 8. — С. 93–100.
21. Werther N. Brandversuche an tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-nordtunnel in Madrid // Beton und Stahlbetonbau. — 2006. — Vol. 101, Issue 9. — P. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.
22. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотииков А. В. Экспериментальные и аналитические исследования несущей способности большепролетных железобетонных балок при огневом воздействии // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.
23. Consolazio G. R., McVay M. C., Rish J. W. III. Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature // Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete / Phan L. T., Carino N. J., Duthinh D., Garboczi E. (eds.). — Gaithersburg, Maryland : NIST, 1997. — P. 125–148.
24. Roytman V. M., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash // Fire and Explosion Hazards : Proceedings of 4th International Seminar. — Londonderry, NI, UK, 2003. — P. 283–293.
25. Lees F. P. Loss prevention in the process industries (3rd ed). Hazard identification, assessment and control. — Texas, USA : Elsevier, Inc., 2005. — Vol. 1. — P. 1/1–16/307. DOI: 10.1016/b978-0-7506-7555-0.x5081-6.

Материал поступил в редакцию 19 февраля 2018 г.

Для цитирования: Костюченко Е. Г., Захматов В. Д. Определение предельных состояний пустотных преднапряженных железобетонных плит перекрытий при огневом воздействии под нагрузкой // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 67–74. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74.

DETERMINATION OF THE LIMIT STATES OF LOADED PRESTRESSED HOLLOW CORE CONCRETE FLOOR SLABS UNDER FIRE EXPOSURE

KOSTYUCHENKO E. G., Assistant of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

ZAKHMATOV V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

ABSTRACT

Experimental dependences of limit states of the hollow core floor slabs under fire exposure and specified load are presented in this work. It has been defined that the main advantages of hollow core slabs are the cost effectiveness, wide application in construction of various objects, high durability and insulating characteristics. The important advantage of floor slabs is presence of tubular voids that allow reducing material consumption, mass of slabs and load on foundation consequently. Air-filled tubular voids increase thermal and noise insulation of floor slabs and also can be used for laying the service lines. Application of prestressed reinforcing cage raises strengthening and operational indices of the slabs. Dependences of heating up of the slab reinforcing elements (ropes) under standard fire conditions have been determined. Dependences of heating up of slabs at the depth of 150 and 200 mm during the time of fire exposure as well as dependence of their deflection on exposure time and specified load are shown. As a result of fire load tests it was established that time until limit state, when slab loses bearing and thermal insulating capacities, is more than 65 min. During 65 min of the test bearing capacity wasn't lost; deflection and deflection rate of the slab were 156 mm and 2,5 mm/min accordingly, and these values weren't critical. The reversed strain (deflection) didn't become during 12 hours after fire exposure was finished. The number of cracks on a sample and their sizes haven't exceeded standard. Heating of a slab to the critical temperature of 140 °C haven't detected.

Key words: hollow core floor slabs; limit states; fire exposure under load; loss of bearing capacity; loss of thermal insulating capacity.

REFERENCES

1. Madatyana S. A. Pre-stressing systems for reinforcement with tension on concrete without adhesion. *Tekhnologii betonov / Concrete Technologies*, 2007, no. 1, pp. 48–51 (in Russian).
2. Krivtsov Yu. V., Mikeev A. K., Pronin D. G. Elaboration of fire safety requirements for fire resistance of structures in the Code of recommended practice developed at the V. A. Kucherenko TsNIISK. *Pro-myshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2009, no. 10, pp. 25–26 (in Russian).
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
4. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A., Kobelev A. A., Korolchenko D. A. The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45 (in Russian).
5. Zhukov V. V., Molchadsky I. S., Lavrov V. N. Calculation of fire resistance limits of girderless floors. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2006, no. 1, pp. 36–41 (in Russian).
6. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy* [Fire resistance of building structures]. Moscow, Spetsstekhnika Publ., 2001. 496 p. (in Russian).
7. Korolchenko D. A., Kholshchevnikov V. V. Differentiation of the concept of system approach to the urban environment analysis. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 44–51 (in Russian).

8. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42541–42548.
9. Borovskyh A. V. Analysis of stress-strain state of reinforced concrete plate-shell. *Stroitel'naâ mehanika inzhenernykh konstruktsij i sooruzhenij / Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2008, no. 4, pp. 82–86 (in Russian).
10. Demekhin V. N., Lukinskiy V. M., Serkov B. B. *Pozharnaya opasnost i povedeniye stroitelnykh materialov v usloviyakh pozhara* [Fire hazard and behavior of building materials in fire conditions]. Saint Peterburg, Koveks Publ., 2002. 142 p. (in Russian).
11. Lukianov A. M., Korolchenko D. A., Agapov A. G. Fire hazards of the timber during bridge construction. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 4(42), pp. 158–162 (in Russian).
12. Borovskikh A. V., Yagupov B. A. Efficiency of application of high-strength reinforcement in compressed zones of reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton / Concrete and reinforced concrete*, 2009, no. 1, pp. 20–21 (in Russian).
13. Krukovskiy P. G., Kovalev A. I. A method for the determination of the characteristic of fire retardant capability of the coatings of multi-hollow ferroconcrete floor slabs. *Naukoviy visnik: tsivilnyi zakhist ta pozhezhna bezpeka / Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2011, no. 1(23), pp. 87–101 (in Russian).
14. Kovalev A. I. *Improvement of the method for assessing the fire retardant ability of coatings of reinforced concrete floors*. Cand. tech. sci. diss. Kiev, 2012. 163 p. (in Russian).
15. Borovskikh A. V. Experimental studies of reinforced concrete slabs of shells on large-scale models. In: *Prostranstvennyye konstruksii zdaniy i sooruzheniy. Tezisy dokladov nauchnoy sessii MOO i nauchnogo soveta RAASN* [The spatial structure of buildings and facilities. Abstracts of scientific session of the IPO and the scientific council of RAASN]. Moscow, 2007, pp. 14–15 (in Russian).
16. Stepanova V. F. Theory and practice of ensuring the safety of reinforcement in reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton / Concrete and Reinforced Concrete*, 2007, no. 5, pp. 25–29 (in Russian).
17. Izotov Yu. L., Izotova T. Yu. On the limiting saturation value of the reinforcement compressed zone of the cross section of bent and eccentrically compressed elements. *Beton i zhelezobeton / Concrete and Reinforced Concrete*, 2007, no. 6, pp. 19–20 (in Russian).
18. Mitasov V. M., Logunova M. A., Statsenko N. V. New approaches to the solution of the tasks of deformation of reinforced framings with cracks. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost / Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*, 2017, vol. 7, no. 1(20), pp. 77–83 (in Russian).
19. Zaytsev A. M., Chernykh D. S. On system error of approximation of standard fire temperature conditions by mathematical formulas. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 14–17 (in Russian).
20. Kaledin V. O., Kaledin V. I., Strakhov V. L., Davydkin N. F., Marchenko A. Yu. The fire damage equipment structures system solidity analysis. *Matematicheskoe modelirovanie / Mathematical Models and Computer Simulations*, 2006, vol. 18, no. 8, pp. 93–100 (in Russian).
21. Werther N. Brandversuche an tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-nordtunnel in Madrid. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 9, pp. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.
22. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Experimental and analytical studies of the bearing capacity long-span reinforced concrete during fire exposure. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.
23. Consolazio G. R., McVay M. C., Rish J. W. III. Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature. In: Phan L. T., Carino N. J., Duthinh D., Garboczi E. (eds.). *Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete*. Gaithersburg, Maryland, NIST, pp. 125–148.
24. Roytman V. V., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash. In: *Fire and Explosion Hazards. Proceedings of 4th International Seminar*. Londonderry, NI, UK, 2003, pp. 283–293.
25. Lees F. P. *Loss prevention in the process industries (3rd ed)*. Hazard identification, assessment and control. Texas, USA, Elsevier, Inc., 2005, vol. 1, pp. 1/1–16/307. DOI: 10.1016/b978-0-7506-7555-0.x5081-6.

For citation: Kostyuchenko E. G., Zakhmatov V. D. Determination of the limit states of loaded prestressed hollow core concrete floor slabs under fire exposure. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 67–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74.