

УДК 69.059.22:699.8

## СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТОВ БЕЛАРУСИ, УКРАИНЫ, ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА, А ТАКЖЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ

Голоднов А.И.\*, д.т.н., проф., Кудряшов В.А.\*\*, к.т.н., доц.,  
Полевода И.И.\*\*, к.т.н., доцент, Отрош Ю.А.\*, к.т.н., доц.,  
Ткачук И.А.\*, Семиног Н.Н.\*, Дробыш А.С.\*\*

\* Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины

\*\* Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: otrosh@i.ua\*; vadmud@gmail.ru\*\*

*В настоящей статье проведен анализ требований стандартов на испытания огнестойкости конструкций Украины, Беларуси и Европейского союза, а также данных многочисленных испытаний огнестойкости наиболее распространенных железобетонных многопустотных плит. Приведены результаты испытаний предела огнестойкости предварительно напряженных железобетонных многопустотных плит перекрытия в сопоставлении с данными экспертных расчетов.*

*Fire resistance standards for test structures comparison of Ukraine, Belarus and the European Union, as well as multiple fire test data of the most common reinforced concrete hollow-core slabs is analyzed in the article. The fire resistance test results for prestressed concrete hollow core slabs in comparison with fire resistance design methods are presented.*

(Поступила в редакцию 23 января 2015 г.)

**Введение.** Железобетонные многопустотные плиты являются основными несущими элементами, применяемыми в перекрытиях и покрытиях жилых и общественных зданий. Огнестойкость указанных конструкций является важным аспектом пожарной безопасности, так как их работа сказывается на общей геометрической неизменяемости конструктивной системы здания.

Плиты перекрытий, как правило, имеют достаточный запас несущей способности при нормальных условиях, который может достигать 1,35...1,5 от уровня действующей нагрузки и даже выше [1, 2]. Однако в случае аварийного (чрезвычайного) воздействия пожара [3-6] нагрев до высоких температур приводит к существенным изменениям деформативных и прочностных характеристик стали и бетона, ведущим к снижению общей несущей способности железобетонных конструкций и даже их разрушению.

Для предотвращения преждевременного обрушения конструкций при пожаре, их проектирование осуществляется на основании результатов испытаний либо экспертных расчетов [3, 7-10]. Испытания, как правило, проводятся по общим стандартам либо стандартам для строительных конструкций конкретных видов (колонн, балок, перекрытий, дверей, подвесных потолков, кабельных проходок и т.п.). Экспертные расчеты проводятся на основании действующих технических нормативных правовых актов. Очевидно, что в экспертных расчетах в качестве исходных данных используются данные, полученные изначально на основе экспериментальных исследований. Это могут быть как непосредственно характеристики бетона и стали при высокотемпературном нагреве, так и особенности тепломассопереноса в конструкции при пожаре. Не исключено использование экспериментальных данных в рамках оценки достоверности расчетных моделей. Ряд документов [3, 10] допускает комбинацию результатов испытаний и численного моделирования огнестойкости.

В настоящей статье проведен анализ требований стандартов на испытания огнестойкости конструкций Украины, Беларуси и Европейского союза, а также данных многочисленных испытаний огнестойкости наиболее распространенных железобетонных многопустотных плит. Приведены результаты испытаний предела огнестойкости

предварительно напряженных железобетонных многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования ПБ 36-12-8 (3а) по серии ИЖ 568-03 [11] в сопоставлении с данными экспертных расчетов.

**Сопоставление стандартов на испытания огнестойкости конструкций.** Предел огнестойкости конструкций – характеристика огнестойкости конструкции, определяемая временем (в часах или минутах) от начала стандартного огневого испытания до наступления нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости [7, 12]. Методы испытаний на огнестойкость регламентированы соответствующими национальными стандартами Украины [7, 13], Республики Беларусь [8, 14] либо Европейского союза [15] и позволяют путем испытаний на специальном оборудовании определять предел огнестойкости. Указанные методики позволяют проводить испытания плит перекрытия и покрытия на огнестойкость при стандартном температурном режиме с приложением механической загрузки.

В соответствии с национальными стандартами Украины [7, 13], испытания плит перекрытия осуществляются при нагреве их на огневой печи согласно стандартному температурному режиму до времени достижения одного из предельных состояний по признакам потери несущей способности (**R**), целостности (**E**) или теплоизолирующей способности (**I**). Указанные признаки испытания горизонтальных конструкций характерны и для общемировой практики [8, 14, 15].

Требования национальных стандартов Украины [7, 13] по определению предельного состояния по признаку потери несущей способности (**R**) идентичны требованиям международного стандарта ISO 834-1 [15]. Признак потери несущей способности характеризуется выполнением следующих условий:

1. Происходит обрушение конструкции.
2. Значение прогиба конструкции превышает значение:

$$\Delta = \frac{L^2}{400 d}, \quad (1)$$

где  $L$  – значение пролета, м;  $d$  – расчетная высота сечения конструкции, м.

3. Скорость нарастания деформации превышает значение (при условии превышения значения прогиба  $1/30$  величины пролета), метров в минуту:

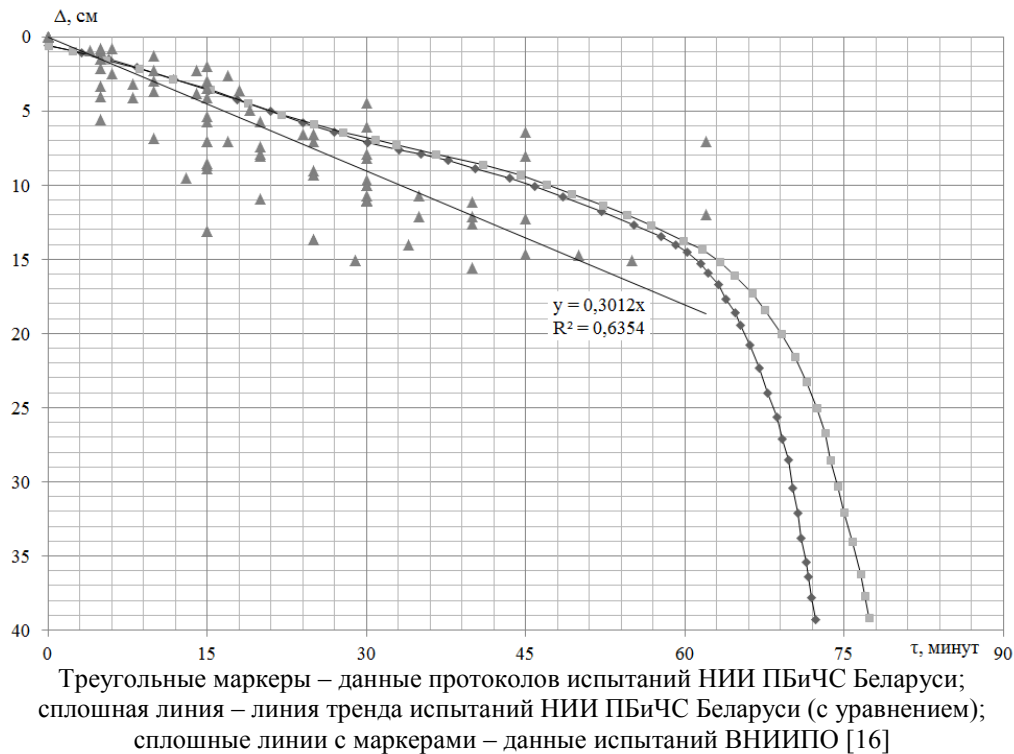
$$\frac{d\Delta}{dt} = \frac{L^2}{9000 d}. \quad (2)$$

Стандарты, действующие в Республике Беларусь [8, 14], рассматривают потерю несущей способности в виде обрушения конструкции либо достижения предельных деформаций. Для изгибаемых элементов предельные деформации – это прогиб конструкции, равный  $1/20$  величины пролета, либо скорость нарастания прогиба, превышающая значение (2).

Для сопоставления перечисленных критериев различных стандартов проанализированы результаты испытаний наиболее часто встречающихся железобетонных многопустотных плит перекрытия толщиной 220 мм пролетом 6,0 м, проведенные ранее во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны (далее – ВНИИПО) и опубликованных в [16], а также данных сертификационных испытаний железобетонных 44 (22 пары) аналогичных многопустотных плит перекрытия, проведенных в Научно-исследовательском институте пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Беларуси (далее – НИИ ПБиЧС) в 2004-2010 годах. В соответствии с ГОСТ 30247.1 [14] предельное значение прогиба, соответствующее достижению предела огнестойкости, составляет 300 мм, а в соответствии с ISO 834-1 и ДСТУ Б В.1.1-20 [13, 15] – 409 мм ( $1/14,5$  значения пролета). Предельная скорость увеличения прогиба по всем стандартам составляет 18 мм в минуту (для [13, 15] – начиная с 200 мм).

Наиболее представительные результаты испытаний приведены в [16] и на рис. 1 (сплошные линии с маркерами). Фактическое разрушение плит произошло при прогибе, равном 395 мм (1/15 значения пролета) приблизительно на 75 минуте испытаний (в среднем для двух образцов). Следует отметить, что, начиная с прогиба, соответствующего 1/40 значения пролета, увеличение деформаций носило близкий к экспоненциальному характер, при этом занимало последние 15 минут времени перед разрушением (20 % от времени испытаний). До указанного момента увеличение деформаций происходило преимущественно по линейному закону со средней скоростью 2,5 мм минуту. Примечательно, что значение скорости нарастания прогиба, равное 18 мм в минуту было превышено приблизительно на 67 минуте при прогибе, равном 220 мм, что составляет 1/27 значения пролета (немногим более 1/30).

Полученный в [16] предел огнестойкости не зависимо от вида стандарта на испытания принимает идентичное значение – R60. При этом украинский и европейский стандарт более точно предсказали значение прогиба при разрушении. Тем не менее разница между временем достижения 1/20 и 1/15 значения пролета составила не более 3 %, а разница между временем достижения 1/20 и 1/30 значения пролета составила не более 10 %.



**Рисунок 1 – Данные по развитию прогиба при испытаниях огнестойкости железобетонных многопустотных плит пролетом 6,0 м**

Учитывая представленные на рис. 1 данные результатов многочисленных испытаний, можно заключить, что при среднестатистическом пределе огнестойкости железобетонных многопустотных плит перекрытия толщиной 220 мм в интервале **R45...R60** предельный прогиб, равный 1/40 значения пролета развивается в течение 30...50 минут со скоростью 1/1200...1/2000 от значения пролета. Для плит с огнестойкостью **R90...R120** – соответственно, в течение 70...100 минут со скоростью 1/2800...1/4800 от значения пролета. Применение критерия 1/20 либо по формуле (1) не вносит существенной разницы в результаты испытаний многопустотных плит толщиной 220 мм. Ввиду того, что ни одна из испытанных плит не разрушилась ниже значения прогиба, равного 1/40, использование указанного критерия для оценки их огнестойкости допустимо.

Следует отметить, что формула (1) близка к действительной работе железобетонных конструкций, как это показано в статье [17], в то время как критерий предельного прогиба

как доля значения пролета является эмпирическим показателем, более соответствующим железобетонным плитам перекрытия толщиной 220 мм. Очевидно, что значение предельного прогиба, равного  $1/20$  значения пролета недостижимо для железобетонных конструкций с высотой сечения 300 мм и более. С другой стороны, более тонкие конструкции, с высотой сечения менее 200 мм могут принимать и большие значения прогиба, не разрушаясь. Поэтому применение зависимости вида (1) при испытаниях огнестойкости конструкций является перспективным.

Согласно требованиям национальных стандартов Украины [7, 13] и стандарта Европейского союза ISO 834-1 [15], предельное состояние по признаку потери целостности (Е) – это состояние, при котором выполняется одно из следующих условий:

- возникает пламенное горение или тление со свечением ватного тампона, поднесенного к необогреваемой поверхности образца в местах возникших трещин на расстоянии 20...30 мм в течение времени 30 секунд;

- пламя на необогреваемой поверхности образца наблюдается в течение времени не менее чем 10 секунд;

- возникают трещины (или отверстия), через которые можно свободно ввести в печь щуп диаметром 25 мм;

- возникают трещины (или отверстия), через которые можно свободно ввести в печь щуп диаметром 6 мм и переместить его вдоль трещины на расстояние не менее 150 мм.

Согласно стандарту ГОСТ 30247.1 [14], потерю целостности (Е) в процессе испытания определяют как и в [7, 13, 15] при помощи ватного тампона, который помещают в металлическую рамку с держателем и подносят к местам, где ожидается проникновение пламени или продуктов горения, и в течение 10 секунд держат на расстоянии 20...25 мм от поверхности образца. Время от начала испытания до воспламенения или возникновения тления со свечением тампона является пределом огнестойкости конструкции по признаку потери целостности. Обугливание тампона, происходящее без воспламенения или без тления со свечением, не учитывают. Таким образом, существенным отличием [14] в оценке целостности является факт воспламенения ватного тампона, в то время как по европейскому и украинским стандартам [7, 13, 15] наличие сквозной трещины определенных размеров является достаточным.

Признак потери целостности (Е) связан с особенностями бетона как неоднородного композиционного материала и образования в нем трещин при совместном температурно-силовом воздействии. Фактор потери целостности особенно важен для перекрытий, имеющих зоны высоких механических напряжений, контакты сборных и монолитных элементов, повышенную влажность и в том числе связан с процессами взрывообразного разрушения бетона при нагреве.

Согласно требованиям национальных стандартов Украины [7, 13] и международного стандарта ISO 834-1 [15], предельное состояние по признаку потери теплоизолирующей способности (И) – превышение средней температуры поверхности образца (среднее арифметическое значение средних температур отдельных участков поверхности площадью не менее  $0,2 \text{ м}^2$ ) над начальной средней температурой этой поверхности на  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  или превышение температуры в произвольной контрольной точке необогреваемой поверхности образца над начальной температурой в этой точке на  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  [7, 15].

Согласно стандарту ГОСТ 30247.1 [14] критерии потери теплоизолирующей способности аналогичны – повышение 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 или более  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  независимо от температуры конструкции до испытания. Существенным отличием от европейских и украинских стандартов является то, что в соответствии с [14] температура на необогреваемой поверхности измеряется точно.

Следует отметить, что предельные состояния по потере теплоизолирующей

способности и целостности (EI) редко фиксируются первыми при испытаниях многопустотных железобетонных плит перекрытия. Это вызвано тем, что в зависимости от количества и формы пустот, многопустотная плита перекрытия толщиной 220 мм с точки зрения огнепреграждающей способности эквивалентна сплошной железобетонной панели толщиной 130...135 мм, отвечающей как правило, требованиям EI135...EI150 [9].

Согласно требованиям национальных стандартов Украины [7, 13], результирующий предел огнестойкости определяется по наименьшему пределу огнестойкости, полученному в серии испытаний из двух одинаковых образцов, с корректировкой погрешности по фактическому тепловому режиму в печи по формуле:

$$t_{fr} = t_{mes} - \Delta t, \quad (3)$$

где  $t_{fr}$  – предел огнестойкости, минут;  $t_{mes}$  – наименьшее значение времени от начала испытания к достижению предельного состояния из огнестойкости, минут;  $\Delta t$  – погрешность испытания, минут.

Значение погрешности  $\Delta t$  определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{(0,015 \cdot t_{mes} + 3)(A_s - A_f)}{A_s - A_{min}}, \quad (4)$$

где  $A_s$ ,  $A_f$ ,  $A_{min}$  – интегральные значения площади, которые находятся под кривыми, соответственно, стандартной температуры, средней температуры в печи и минимальной допустимой температуры в печи, ( $^{\circ}\text{C} \times \text{минут}$ ). Если  $A_f$  более  $A_s$ , то  $\Delta t$  следует принимать равным нулю.

Как видно из формул (3) и (4), в том случае, если тепловой режим в печи оказался ниже требуемого по стандарту (что является нормальной практикой, т. к. при сжигании, например, жидкого углеводородного топлива в изначально не нагретой печи практически невозможно выйти на требуемую скорость нагрева), предел огнестойкости конструкции должен быть понижен. В обратном случае, т. е. при превышении результирующего теплового эффекта над стандартным, предел огнестойкости не повышается. Использование приведенных интегральных площадей графиков развития среднеобъемной температуры пожара является достаточно распространенной практикой и встречается также в монографии Ройтмана М.Я. [6].

Европейский стандарт ISO 834-1 [15] предполагает оценку предела огнестойкости только по одному образцу, без корректировки полученных результатов.

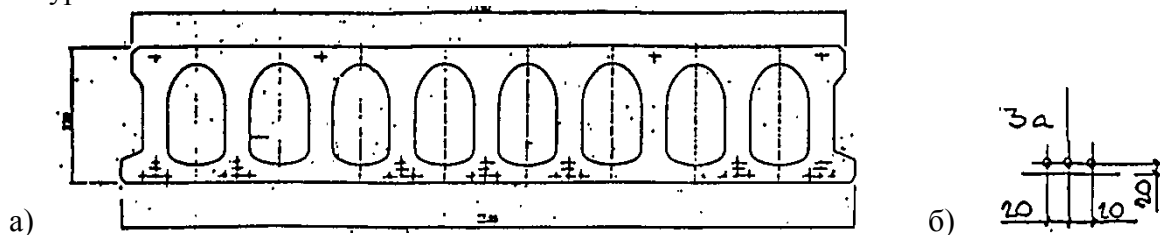
В соответствии с ГОСТ 30247.0 [8], предел огнестойкости конструкции (в минутах) определяют как среднее арифметическое результатов испытаний двух образцов. При этом максимальное и минимальное значения пределов огнестойкости двух испытанных образцов не должны отличаться более чем на 20 % (от большего значения). Если результаты отличаются друг от друга больше чем на 20 %, должно быть проведено дополнительное испытание, а предел огнестойкости определяют как среднее арифметическое двух меньших значений.

Таким образом, сопоставление стандартов [7-8, 12-15] по оценке пределов огнестойкости применительно к горизонтальным железобетонным конструкциям показывает, что несмотря на то, что все перечисленные документы позиционируют себя аутентичными ISO 834-1 [15] и оперируют единым понятием предела огнестойкости, разница в подходах к оценке его значения имеется. Украинские стандарты [7, 13] наиболее близки по своему содержанию к европейским [15], отличаются требованием к количеству образцов, необходимых для испытаний, и методикой оценки результирующего значения предела огнестойкости. Стандарты, действующие в Беларуси [8, 14], в большей мере отличаются от европейских, являются более простыми, но жесткими, не всегда позволяющими подстраиваться под действительную работу конструкций. Применение зависимости вида (1) при испытаниях огнестойкости конструкций является перспективным [17].

**Анализ результатов испытаний на огнестойкость плиты перекрытия.** Испытания железобетонных многопустотных предварительно напряженных плит перекрытия безопалубочного формования ПБ 36-12-8 (3а) по серии ИВ 568-03 [11] проведены в испытательном центре ООО «Тест» в г. Бровары (Украина) в соответствии с требованиями национальных стандартов Украины [7, 13].

В первой серии исследований были испытаны два образца плиты ПБ 36-12-8 (3а) размерами 3580x1195x220 мм (длина × ширина × высота сечения) [11]. Вторая серия испытаний предусматривала испытания аналогичных плит, но с заполненными пустотами в торцах плит на глубину 150 мм битым кирпичом на цементно-песчаном растворе и с облицовкой обогреваемой поверхности слоем гипсовой шпаклевки SATENGIPS толщиной 1 мм. Указанные мероприятия не учитывались в статической изгибной работе железобетонных плит при нагреве ввиду пренебрежимо малой прочности бетонов на основе кирпичного поя (1,3...2,0 МПа в соответствии со СНиП II-22-81 [18]), а также пренебрежимо малой толщины шпатлевки, сопоставимой с шероховатостью обогреваемой поверхности плиты. Поэтому вторая серия испытаний была принята эквивалентной первой.

Нижнее армирование плиты ПБ 36-12-8 (3а) представлено в виде семи тройных групп преднапряженных стержней диаметром 5 мм, выполненных из гладкой проволоки класса Вр-II по ГОСТ 7348 [19] (соответствует классу S1400 по СНБ 5.03.01 и СТБ 1706 [20, 21]). Верхнее армирование представлено в виде четырех стержней диаметром 5 мм, выполненных из проволоки класса Вр-II (S1400 по СТБ 1706). При изготовлении плиты использован бетон класса В30 (соответствует классу  $C^{25}/_{30}$  по СНБ 5.03.01 и СТБ 1544 [20, 22]). Схема армирования приведена на рис. 2. Как видно из схемы армирования 3а, все нижние стержни (21 стержень) расположены в одном уровне с расстоянием до оси арматуры 20 мм.



а – поперечное сечение плиты с расположением арматуры всех вариантов армирования;  
б – количество и расположение арматурных стержней варианта армирования «3а»

**Рисунок 2 – Схема армирования плиты ПБ 36-12-8 (3а) [11]**

Образцы железобетонных плит размещали на горизонтальной печи ООО «Тест» (Украина) с двусторонним опиранием глубиной 100 мм с каждой стороны по слою базальтовых плит ROCKMIN плотностью 30 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 100 мм. Нагрузка осуществлялась откалиброванными бетонными грузами в виде блоков (по 4 шт. на каждую плиту), которые устанавливались на образцах через компенсирующие опоры размерами 160x30x25 мм из минеральных плит CONLIT 150P (производства «Rockwool Polska Sp.z o.o.», номинальной плотностью 165 кг/м<sup>3</sup>). Эквивалентная распределенная нагрузка на каждую плиту составляла 520 кг/м<sup>2</sup>. Общий вид образцов во время испытаний представлен на рис. 3.

В соответствии с условиями опирания, пролет плиты составлял 3 480 мм, расчетная толщина – 220 мм. Предельное значение прогиба в соответствии с критерием (1) составляет 138 мм (1/25 значения пролета), предельное значение скорости нарастания деформации (2) – 6 мм/мин начиная с прогиба 116 мм (1/30 значения пролета) [7, 15]. Примечательно, что ввиду меньшего значения пролета предельный прогиб согласно ГОСТ 30247.1 [14] в данном случае принимает большее значение – 174 мм. Во всех испытаниях прогиб принимался равным вертикальному перемещению вниз геометрического центра необогреваемой поверхности плиты.



Рисунок 3 – Вид образцов на печи под нагрузкой

Для оценки теплоизолирующей способности с необогреваемой стороны было установлено 5 термпар типа ТХ(А). Избыточное давление в печи в процессе испытаний соответствовало требованиям [7, 13] и составляло 9,0 Па на 5 минуте испытаний и 11,0 Па на 10 минуте испытаний и позже.

В процессе первой серии испытаний на 25 минуте зафиксировано образование продольных трещин в каждой плите, которые со временем увеличивались. На 39 минуте испытаний зафиксировано обрушение части одной из плит. Испытание было продолжено еще до 45 минуты и остановлено ввиду невозможности поддержания требуемого огневого режима и давления в печи. Для второй плиты не были зафиксированы предельные состояния по огнестойкости. Максимальное значение прогиба для двух плит составляло 30...31 мм на 45 минуте, средняя скорость увеличения прогиба составляла 0,7 мм в минуту. Погрешность испытаний, рассчитанная по формуле (5), составила 0,2 минуты.

Во второй серии испытаний испытания продолжались 62 минуты, после чего были остановлены. Поведение плит при нагреве было идентичным первой серии испытаний, предельные состояния по огнестойкости не зафиксированы.

Таким образом, предел огнестойкости плит ПБ 36-12-8 (3а) [11] по результатам испытаний составляет не менее 60 минут. При этом характер преждевременного обрушения одной из плит может быть вызван заводским дефектом и требует дальнейшего изучения. Во избежание преждевременного частичного обрушения при реальных пожарах следует тщательно заполнять межплитные швы качественным бетоном марки не ниже В15 (соответствует классу  $C^{12}/_{15}$  по СНБ 5.03.01 и СТБ 1544 [20, 22]).

Основываясь на выводах, полученных в первой части настоящей статьи, с учетом результатов испытаний во ВНИИПО [16] и НИИ ПБиЧС Беларуси, можно спрогнозировать, что достижение прогиба, равного 1/40 значения пролета (87 мм) при постоянной линейной скорости 0,7 мм в минуту должно произойти на 124 минуте испытаний. Соответственно предел огнестойкости указанной плиты может быть не менее R120.

Для подтверждения прогнозного (экстраполированного) показателя произведены экспертные расчеты по белорусским нормам ТКП 45-2.02-110 и СНБ 5.03.01 [9, 20], идентичным ЕН 1992-1-2 [10]. С учетом собственного веса плиты 1270 кг и равномерно распределенной нагрузки 520 кг/м<sup>2</sup> внешний изгибающий момент в середине сечения составляет:

$$M_{sd} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \left( \frac{m_{nl}}{L_{nl}} + m_p \cdot b \right) \frac{g \cdot L^2}{8} = \left( \frac{1270}{3,58} + 520 \cdot 1,195 \right) \frac{9,81 \cdot 3,48^2}{8} = 14,5 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (5)$$

где  $q$  – погонная нагрузка, Н/м;  $L$  – расчетный пролет плиты, м;  $m_{nl}$  – масса плиты, кг;  $L_{nl}$  – длина плиты, м;  $m_p$  – масса полезной нагрузки, приведенная к 1 м<sup>2</sup> площади плиты, кг;  $b$  – ширина плиты, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Несущая способность плиты определена на основании теплотехнического расчета и оценки статической работы плиты на основании формул:

1. по оценке условной высоты сжатой зоны сечения:

$$x_{eff} = \frac{n_1 \cdot A_{s1} \cdot k_s(\theta) \cdot f_{pd} - n_2 \cdot A_{s2} \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} \quad (м), \quad (6)$$

где  $n_1, n_2$  – количество, соответственно, растянутых и сжатых арматурных стержней, шт.;  $A_{s1}, A_{s2}$  – площадь поперечного сечения арматурного стержня, соответственно, в зоне растяжения и сжатия,  $м^2$ ;  $f_{pd}$  – расчетное сопротивление напрягаемой арматуры, Па;  $f_{yd}$  – расчетное сопротивление ненапрягаемой арматуры, Па;  $k_s(\theta)$  – коэффициент условий работы арматуры при пожаре;  $f_{cd}$  – расчетное сопротивление бетона сжатию, Па.

2. по оценке прочности сечения на изгиб:

$$M_{Rd} = n_1 \cdot A_{s1} \cdot k_s(\theta) \cdot f_{pd} \cdot (d - 0,5x_{eff}) + n_2 \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (0,5x_{eff} - c), \quad (7)$$

где  $d$  – рабочая высота, м;  $c$  – расстояние до центра тяжести сжатой арматуры, м.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты расчетов для плиты ПБ 36-12-8 (3а)**

Время, мин.	$\theta, ^\circ C$	$k_p(\theta)$	$x_{eff}, м$	$M_{Rd,fi}, кН·м$
0	20	1,00	0,017	98,38
30	344	0,89	0,012	71,94
45	463	0,64	0,009	50,06
60	543	0,44	0,006	33,90
90	646	0,30	0,004	24,76
120	682	0,22	0,003	17,37
135	738	0,10	0,002	12,05

Таким образом, экспертными расчетами подтверждено, что предел огнестойкости плиты ПБ 36-12-8 (3а) составляет не менее R120, что соответствует экстраполированному значению.

### **Заключение.**

1. Сопоставление стандартов Украины [7, 13], Республики Беларусь [8, 14] и Европейского союза [15] по оценке пределов огнестойкости применительно к горизонтальным железобетонным конструкциям показывает, что несмотря на то, что все перечисленные документы позиционируют себя аутентичными ISO 834-1 [15] и оперируют единым понятием предела огнестойкости, разница в подходах к оценке его значения имеется. Стандарты Украины [7, 13] наиболее близки по своему содержанию к ISO 834-1 [15], отличаются количеством образцов, необходимых для испытаний, и методикой оценки результирующего значения предела огнестойкости. Стандарты, действующие в Беларуси [8, 14], в большей мере отличаются от европейских, являются более простыми, но жесткими, не всегда позволяющими подстраиваться под действительную работу конструкций. Применение зависимости вида (1) при испытаниях огнестойкости конструкций является перспективным [17].

2. Стандарты Республики Беларусь [8, 14] отличаются от европейского и украинских стандартов [7, 13, 15] также подходами по оценке огнепреграждающей способности плит. При оценке критерия потери теплоизолирующей способности температура на необогреваемой поверхности по ГОСТ 30247.1 измеряется точно (по ISO 834-1 и ДСТУ Б В.1.1-20 – на участках поверхности площадью не менее  $0,2 м^2$ ), а при оценке целостности – факт воспламенения ватного тампона (по ISO 834-1 и ДСТУ Б В.1.1-20 наличие сквозной трещины заданных размеров является достаточным).

3. Анализ и сопоставление результатов испытаний 44 железобетонных



многopустотных плит перекрытия, проведенных в НИИ ПБиЧС Беларуси в 2004-2010 годах, а также испытаний ВНИПО [16] позволяет утверждать, что предельный прогиб, равный 1/40 значения пролета может быть использован для линейной экстраполяции результатов испытаний, не доведенных до предельных состояний по огнестойкости.

4. Железобетонная многopустотная плита перекрытия толщиной 220 мм с точки зрения огнепреграждающей способности эквивалентна сплошной железобетонной панели толщиной 130...135 мм, и соответствует требованиям **EI135...EI150**.

5. Испытания железобетонных многopустотных предварительно напряженных плит перекрытия безопалубочного формования ПБ 36-12-8 (3а) по серии ИВ 568-03 [11] проведены в испытательном центре ООО «Тест» в г. Бровары (Украина), показали значение предела огнестойкости указанных плит не менее R30...R60. При этом предельные состояния по огнестойкости зафиксированы не были. Подход к оценке экстраполированного значения огнестойкости, предложенный в настоящей статье позволил установить фактический предел огнестойкости плиты по несущей способности на уровне R120, что соответствует результатам экспертных расчетов по [9, 10, 20].

6. Во избежание преждевременного частичного и полного обрушения отдельных многopустотных (дефектных) плит при реальных пожарах следует тщательно заполнять межплитные швы качественным бетоном марки не ниже В15 (соответствует классу C<sup>12</sup>/<sub>15</sub> по СНБ 5.03.01 и СТБ 1544 [20, 22]).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.01.07-85. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. – Введ. 01.01.1987 – Москва, Госстрой СССР, 1987. – 46 с.
2. ТКП EN 1990-2011 (02250). Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций – Введ. 01.07.2012 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2012. – 74 с.
3. ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости – Введ. 01.01.2010 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 52 с.
4. Милованов, А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.
5. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
6. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
7. ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования / Госстрой Украины. – К.: Госстрой Украины, 2005. – 18 с.
8. Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Введ. 01.10.1998. – Минск: Минсктиппроект, 1998. – 12 с.
9. ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости. – Взамен П1-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.2008. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2008. – 126 с.
10. ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости – Введ. 01.01.2010 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 79 с.
11. ИЖ 568-03. Панели перекрытий железобетонные многopустотные предварительно напряженные стендового безопалубочного формования, армированные высокопрочной проволокой класса Вр-II. Рабочие чертежи. – Введ. 10.08.1999. – М.: КТБ Мосоргстройматериалы, 2003. – 21 л.

12. Государственный стандарт Республики Беларусь. Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 16.03.1995. – Минск: Госстандарт, 1995 – 15 с.
13. ДСТУ Б В.1.1-20:2007. Защита от пожара. Перекрытия и покрытия. Метод испытаний на огнестойкость (EN 1365-2: 1999, NEQ). – К.: Минрегионстрой Украины, 2007. – 14 с.
14. Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции: ГОСТ 30247.1-94. – Введ. 01.10.1998. – Минск: Минсктиппроект, 1998. – 7 с.
15. International Organization for Standardization. Fire-resistance tests. Elements of building construction. Part I. General requirements: ISO 834-1:1999(E) – Implemented 15.09.1999. – Geneva: ISO, 1999. – 25 p.
16. Волнухин, А.Ю. Огнестойкость многопустотных предварительно напряженных плит перекрытий безопалубочного формования / А.Ю. Волнухин, Ф.Л. Ибатуллин, А.Е. Сегалов // Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений: Сб. науч. тр. / Под общ. ред. А.И. Яковлева. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988. – С. 35-39.
17. Кудряшов, В.А. Расчетная оценка огнестойкости железобетонных плоских сборно-монолитных перекрытий / В.А. Кудряшов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2009. – № 1/9. – С. 93-97.
18. СНиП II-22-81. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Каменные и армокаменные конструкции. – Введ. 01.01.1986 – М.: Госстрой СССР, 1986. – 40 с.
19. ГОСТ 7348-81. Государственный стандарт СССР. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 01.01.83. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 14 с.
20. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Взамен СНиП 2.03.01-84\*. – Введ. 01.07.2003 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
21. СТБ 1706-2006. Государственный стандарт Республики Беларусь. Арматура напрягаемая для железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 01.04.2007 г. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2007. – 13 с.
22. СТБ 1544-2005. Государственный стандарт Республики Беларусь. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – Введ. 01.07.2005 г. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2005. – 20 с.