

Особенности обеспечения пожарной безопасности при проектировании строительных конструкций модульных зданий

Азамат Абдуллахович Гасиев^{1,2}✉, Владимир Валерьевич Павлов³,
Александр Васильевич Гомозов³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, г. Москва, Россия

³ Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Московская обл., г. Балашиха, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Обеспечение широкого и эффективного внедрения в практику строительства модульных зданий обуславливает необходимость разработки современных требований к пределам огнестойкости и классу пожарной опасности строительных конструкций этих зданий, а также разработку и обоснование эффективных технических решений, позволяющих реализовать данные требования.

Цели и задачи. Целью статьи является разработка требований к пределам огнестойкости и классу пожарной опасности строительных конструкций модульных зданий, а также к пределам огнестойкости примыканий и узлов крепления, для которых положениями Федерального закона № 123-ФЗ и нормативными документами по пожарной безопасности указанные требования не установлены в необходимом объеме, а также разработка и обоснование эффективных технических решений, позволяющих реализовать указанные требования. Апробация результатов вышеуказанных разработок на объектах различной этажности и функционального назначения.

Методы. Используется аналитический метод обоснования требований к пределам огнестойкости и классу пожарной опасности строительных конструкций модульных зданий, дополняющий и детализирующий в необходимом объеме положения Федерального закона № 123-ФЗ и нормативных документов по пожарной безопасности, с учетом результатов расчетов и огневых испытаний огнестойкости и классов пожарной опасности основных строительных конструкций модульных зданий.

Результаты. Внедрение результатов работы в проекты противопожарной защиты модульных зданий различного назначения и этажности, разработка предложений в СП 2.13130.2020 по требованиям к пределам огнестойкости и классам пожарной опасности для объектов из данных конструкций.

Выводы. На основе исследований разработаны требования к пределам огнестойкости и классу пожарной опасности конструкций объемно-блочной модульной системы (ОБМС), отличительной особенностью которой является расположение несущих элементов внутри ограждающих конструкций здания, вследствие чего положениями № 123-ФЗ и нормативных документов по пожарной безопасности не установлены требования к пределам огнестойкости элементов подобных систем, требования к огнестойкости узлов крепления и примыкания, а также требования к классам их пожарной опасности. Разработанные требования носят комбинированный характер, т.е. содержат минимально необходимые и отличные друг от друга по численному значению требования по признакам R, а также по E и I для каждой конструкции, и позволяют в сочетании с разработанными требованиями к узлам крепления обеспечить общую прочность и пространственную устойчивость конструктивной системы, а также предотвратить прогрессирующее (лавинообразное) разрушение конструкций, находящихся за пределами очага пожара. Проведено обоснование эффективных технических решений, позволяющих реализовать разработанные требования.

Ключевые слова: универсальная объемно-блочная модульная система; предел огнестойкости конструкций; класс пожарной опасности модульных конструкций; узел крепления; узел примыкания; огнестойкость

Для цитирования: Гасиев А.А., Павлов В.В., Гомозов А.В. Особенности обеспечения пожарной безопасности при проектировании строительных конструкций модульных зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 4. С. 42–57. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.42-57

✉ Гасиев Азамат Абдуллахович, e-mail: gasiev@bk.ru

Fire safety in the design of building structures of modular buildings

Azamat A. Gasiev^{1,2}✉, Vladimir V. Pavlov³, Alexander V. Gomofov³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

² Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

³ All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Updated requirements to (1) fire resistance limits and (2) the fire hazard class of building structures must be developed, and effective engineering solutions, allowing to implement these requirements, must be developed and substantiated due to the effective large-scale introduction of modular buildings into construction practice.

Goals and objectives. The aim of the article is to develop requirements to fire resistance limits, to the fire hazard class of building structures of modular buildings, and to fire resistance limits of intersections and fastening units, that are beyond the scope of Federal Law No. 123-FZ and fire safety regulations. The aim of the article also encompasses the development and justification of effective engineering solutions required to implement these requirements, as well as the pilot testing of the above-mentioned findings at construction facilities, having different numbers of storeys and functional purposes.

Methods. The analytical method is employed to substantiate the requirements applied to fire resistance limits and the fire hazard class of modular building structures. The proposed method supplements and refines provisions of the Federal Law No. 123-FZ and other fire safety regulations, taking into account the results of calculations and fire tests of fire resistance and fire hazard classes of basic building constructions of modular buildings.

Results. Introduction of the results of the work in fire safety designs of modular buildings, having different purposes and numbers of storeys; development of revisions for SP (Construction Regulations) 2.13130.2020 in compliance with the requirements applied to fire resistance limits and fire hazard classes for facilities composed of these structures.

Conclusion. Requirements for fire resistance limits and fire hazard classes were developed on the basis of the research; their distinctive feature is the location of load-bearing elements inside the building envelope, as a result of which provisions of No. 123-FZ and regulatory documents on fire safety do not establish requirements for the fire resistance limits of elements of such systems, requirements for fire resistance of intersections and fastening units, as well as requirements for fire hazard classes. The requirements have a combined nature, in other words, they contain minimum necessary and numerically different requirements for R, E, and I signs of each structure. They ensure the overall strength and 3D stability of the structural system and prevent the progressive collapse of structures outside the fire. Effective engineering solutions, allowing to implement the developed requirements, were substantiated.

Keywords: universal volume-block modular system; fire resistance limit of structures; fire hazard class of modular structures; attachment point; junction point; fire resistance

For citation: Gasiev A.A., Pavlov V.V., Gomofov A.V. Fire safety in the design of building structures of modular buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(4):42-57. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.42-57 (rus).

✉ Azamat Abdullahovich Gasiev, e-mail: gasiev@bk.ru

Введение

Внедрение технологий модульного объемно-блочного строительства на сегодня является актуальной и важной задачей, данные технологии могут стать одним из инструментов решения поставленных руководством страны задач в области жилищного строительства. Для развития модульных технологий Минстроем России принята дорожная карта, утвержденная приказом министерства № 22-П/08 от 08.08.2022 г.

Вместе с тем обеспечение широкого и эффективного внедрения в практику строительства модульных зданий обуславливает необходимость разработки современных требований к пределам огнестойкости

и классам пожарной опасности строительных конструкций этих зданий, а также разработки эффективных технических решений *по реализации разработанных требований*.

Проблема совершенствования норм для внедрения новых технологий строительства, в том числе в области пожарной безопасности, сформулирована в [1].

Данная статья является развитием обзорной статьи [2], в которой описана универсальная объемно-блочная модульная система (ОБМС) с несущим металлическим каркасом.

Как показано в [2], основой конструктивной системы ОБМС являются стальные рамные каркасы, выполняемые из горячекатаных и холодногнутых

профилей различного сечения. Каркасы обшиты листовыми материалами типа ГВЛ, ГКЛО или аналогичными материалами, с внутренним заполнением теплоизоляционными материалами из минеральной ваты, которые изготавливаются на основе технических условий [3] и др.

При этом конструкции, образующие рамный каркас, выполняют функцию несущих элементов здания, т.е. обеспечивают общую прочность и пространственную устойчивость здания, а также предотвращают прогрессирующее (лавинообразное) разрушение конструкций, находящихся за пределами очага пожара. Специфической особенностью конструктивной системы ОБМС является то, что ее отдельные несущие элементы расположены внутри ограждающих конструкций здания — наружных стен, покрытий, внутренних стен и перегородок и т.д.

Указанная особенность конструктивной системы не позволяет обоснованно и однозначно применять требования табл. 21 № 123-ФЗ, поскольку в ней содержатся только дифференцированные требования к пределам огнестойкости строительных конструкций, являющиеся только ограждениями, только несущими элементами и т.д. Таким образом, положениями № 123-ФЗ не установлены достаточные для проектирования требования к пределам огнестойкости элементов конструктивной системы ОБМС, и данные требования должны быть разработаны и обоснованы. Указанные требования с целью обеспечения экономической целесообразности должны носить комбинированный характер, т.е. содержать для каждой конструкции минимально необходимые и отличные друг от друга по численному значению требования по признакам R, E и I.

Аналогичным образом, положения № 123-ФЗ (в том числе табл. 23) и [4] не содержат требований к противопожарным перегородкам, которые выполняют функции несущих элементов.

Кроме того, необходимо уточнение положений ч. 2 ст. 137 ФЗ-123 и [4] применительно к узлам примыкания внутренних стен лестничных клеток к наружным ограждениям.

Класс пожарной опасности конструктивных систем типа ОБМС, где численные значения пределов огнестойкости по признакам E или I отличаются от численного значения предела огнестойкости по признаку R положениями ГОСТ 30403–2012 «Конструкции строительные. Метод испытания на пожарную опасность» (далее ГОСТ 30403), не определен. Данное обстоятельство также требует проведения необходимых научных обоснований.

С учетом изложенного целью настоящей статьи является разработка комбинированных требований к пределам огнестойкости и классу пожарной опасности элементов конструктивной системы ОБМС,

узлам крепления и примыкания, а также разработка технических решений, позволяющих реализовать данные требования. В рамках статьи проведен анализ результатов внедрения вышеуказанных разработок на объектах различного назначения.

Обоснование пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций ОБМС

Обоснование пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций проведено для систем ОБМС, которые должны отвечать требованиям к зданиям II степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности С0.

Бесчердачные покрытия и наружные стены в таких зданиях следует проектировать с пределами огнестойкости RE 15 и E 15 соответственно.

Согласно положениям [4], предел огнестойкости наружных несущих стен по потере целостности (E) должен быть не менее требуемого предела огнестойкости для наружных ненесущих стен (при этом возможность применения данного положения для несущих элементов здания не оговорена).

С учетом того, что наружные стены и покрытие являются несущими элементами, с помощью которых необходимо обеспечить общую прочность, пространственную устойчивость, а также предотвращение прогрессирующего обрушения конструктивной системы ОБМС при пожаре, в сочетании с экономической целесообразностью предложены следующие комбинированные требования к пределам огнестойкости наружных ограждающих конструкций данной системы:

- предел огнестойкости наружных стен R 90/E 15;
- предел огнестойкости бесчердачных покрытий R 90/E 15.

Междуэтажные перекрытия являются элементом конструктивной системы ОБМС, т.е. являются несущими элементами. С учетом этого их предел огнестойкости должен быть не менее R 90/EI 45.

Противопожарные преграды для выделения технических помещений, деления здания на секции и т.д., предусмотренные в составе конструктивной системы ОБМС, также являются несущими элементами. С учетом этого их предел огнестойкости должен быть не менее R 90/EI 45. Если противопожарные перегородки I-го типа имеют самостоятельный каркас или самостоятельную опору, то их предел огнестойкости может быть предусмотрен не менее EI 45.

При формировании требований к узлам крепления и примыкания необходимо учитывать, что положения [4] в части огнестойкости узлов примыкания и крепления требуют детализации и развития применительно к конструктивной системе ОБМС.

В частности, применение п. 5.2.1 [4] для узла примыкания внутренней стены лестничной клетки (REI 90) к наружной стене здания (R 90/E 15) предполагает, что предел огнестойкости узла примыкания этих конструкций между собой должен быть не ниже минимального требуемого предела огнестойкости стыкуемых строительных конструкций, что не является корректным.

Поэтому разработанные требования предусматривают, что узел примыкания внутренней стены лестничной клетки к наружной стене здания должен иметь предел огнестойкости не ниже EI 90.

При этом предел огнестойкости узлов крепления этих конструкций должен быть не менее R 90.

Аналогичным образом, прямое применение п. 5.2.1 [4] для узла примыкания внутренней стены лестничной клетки (REI 90) к покрытию здания (R 90/E 15) или к межэтажному перекрытию (R 90/E 45) без учета специфических особенностей конструктивной системы ОБМС также не будет корректным. Поэтому разработанные требования предусматривают, что узел примыкания внутренней стены лестничной клетки к покрытию или к перекрытию здания должен иметь предел огнестойкости не ниже EI 90, а предел огнестойкости узлов крепления этих конструкций должен быть не менее R 90.

Согласно разработанным требованиям, предел огнестойкости других узлов крепления и примыкания строительных конструкций в составе ОБМС должен соответствовать:

- для узлов крепления и примыкания наружных несущих стен к конструкциям междуэтажных перекрытий (в том числе чердачного и над подвалами, отвечающих за устойчивость здания) — R 90 для узла крепления и EI 45 для узла примыкания;
- для узлов крепления и примыкания внутренних несущих стен к конструкциям междуэтажных перекрытий (в том числе чердачного и над подвалами, отвечающих за устойчивость здания) — R 90 для узла крепления и EI 45 для узла примыкания;
- для узлов крепления и примыкания внутренних и наружных несущих стен к конструкциям междуэтажных перекрытий с пределом огнестойкости REI 45 (в том числе чердачного и над подвалами, не участвующих в обеспечении устойчивости здания) — R 45 для узла крепления и EI 45 для узла примыкания.

Обоснование требований к классу пожарной опасности элементов системы ОБМС базировалось на положениях ГОСТ 30403.

Для простых конструкций, у которых численные значения пределов огнестойкости по признакам E или I не отличаются от численного значения предела огнестойкости по признаку R, при форми-

ровании требований по классу пожарной опасности исходят из положений ГОСТ 30403.

Однако в ГОСТ 30403 не определен порядок проведения испытаний для конструкций, предел огнестойкости которых носит комбинированный характер (т.е. когда численные значения пределов огнестойкости по признакам E или I отличаются от численного значения предела огнестойкости по признаку R), а также не определен порядок классификации таких конструкций по классу пожарной опасности.

Исходя из этого, разработанные требования к классу пожарной опасности элементов системы ОБМС базируются на предположении, что данные элементы должны соответствовать классу K0 при испытаниях, продолжительность которых соответствует максимальному численному значению из признаков по E, I или R.

Обеспечение огнезащиты конструкций ОБМС

Разработка огнезащиты конструкций ОБМС базировалась на результатах анализа особенностей поведения стальных конструкций при пожаре [5–7], методологических положениях расчетов их пределов огнестойкости как с огнезащитой, так и без огнезащиты [8–18], а также огневых испытаний [19, 20].

На основе анализа разработанной ВНИИПО структурно-методологической схемы выбора огнезащиты конструкций (рис. 1) с учетом [10, 21–23] принято решение, что для конструкций ОБМС наиболее целесообразно применение огнезащитной теплоизоляции, устраиваемой сухим способом с применением обшивных плитных материалов.

На первом этапе обоснования параметров огнезащиты использован расчетный метод. При этом расчетное обоснование огнезащиты несущих стальных конструкций предусматривало решение следующих задач:

- выбор огнезащитных материалов для несущих конструкций;
- расчет толщины огнезащиты для несущих стоек и балок.

Степень огнестойкости модульных зданий зависит от несущей способности всего силового металлического каркаса. Поэтому потеря прочности или устойчивости каркаса в условиях пожара может произойти вследствие нагревания и снижения сопротивления одного из составляющих его элементов. Для выявления наиболее слабого, с точки зрения огнестойкости, элемента необходимо определить пределы огнестойкости всех нагруженных элементов каркаса. Для определения фактического предела огнестойкости несущих элементов стального каркаса необходимо разбить сложносоставную конструкцию на ряд простейших элементов, представляющих собой стержневые металлические конструкции, поддающи-



Рис. 1. Структурно-методологическая схема выбора огнезащиты для стальных конструкций [10]

Fig. 1. Structural and methodological scheme for the choice of fire protection for steel structures [10]

еся расчетам на огнестойкость. Эти элементы определяются из спецификации проекта в соответствии со схемой конструкций модульного здания системы ОБМС, которая приведена на рис. 2.

Из рис. 2 можно сделать вывод, что пределы огнестойкости основных конструкций ОБМС должны устанавливаться исходя из воздействия пожара как с одной стороны, так и нескольких, что необходимо учитывать при обосновании решений по огнезащите этих конструкций.

Анализ элементов каркаса показал, что наиболее слабыми с точки зрения огнестойкости элементами являются металлические конструкции с приведенной толщиной около 4 мм.

В связи с тем, что в системе ОБМС строительные конструкции выполняют функции как несущих, так и ограждающих элементов, обшивка и утеплитель ограждающих элементов (стеновые и потолочные панели) с одной из сторон одновременно являются конструктивной огнезащитой стальных несущих конструкций.

При анализе предела огнестойкости незащищенных элементов каркаса системы ОБМС по методике [11] установлено, что полученное значение существенно ниже требуемого показателя в 90 мин, что обуславливает необходимость огнезащиты этих элементов.

Как уже отмечалось выше, в качестве огнезащиты стальных элементов несущих каркасов здания должны быть использованы двухслойные обшивки из листов ГВЛ или ГКЛЮ толщиной по 12,5 мм каждый, а также слой теплоизоляции из минеральной (каменной) ваты, находящийся в составе конструкций.

На рис. 3 представлены расчетные зависимости времени прогрева металлических конструкций с различной приведенной толщиной металла от количества листов ГВЛ при прогреве с 4-х сторон, используемых для их облицовки. Анализ диаграмм на рис. 3 показывает, что для стальных конструкций, имеющих минимальную приведенную толщину металла не менее 3,5 мм, для обеспечения предела огнестойкости R 90 необходима его двухслойная обшивка из листов ГВЛ толщиной по 12,5 мм каждый (время достижения критической температуры $t_{кр} = 500^\circ\text{C}$ будет превышать 90 мин). Для обеспечения предела огнестойкости R 120 стальных конструкций, имеющих минимальную приведенную толщину металла не менее 3,5 мм, необходима их трехслойная обшивка из листов ГВЛ толщиной по 12,5 мм каждый (время достижения критической температуры $t_{кр} = 500^\circ\text{C}$ будет превышать 120 мин).

Согласно описанным выше конструктивным решениям, для обеспечения указанных пределов огнестойкости в конструкциях ОБМС предусмот-

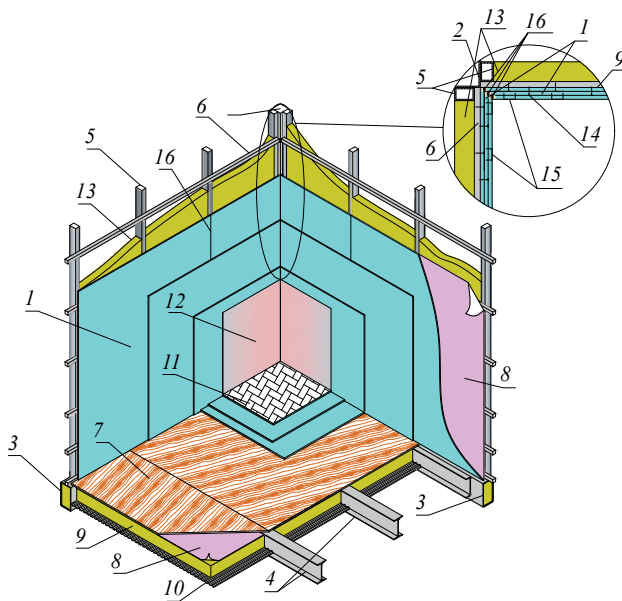
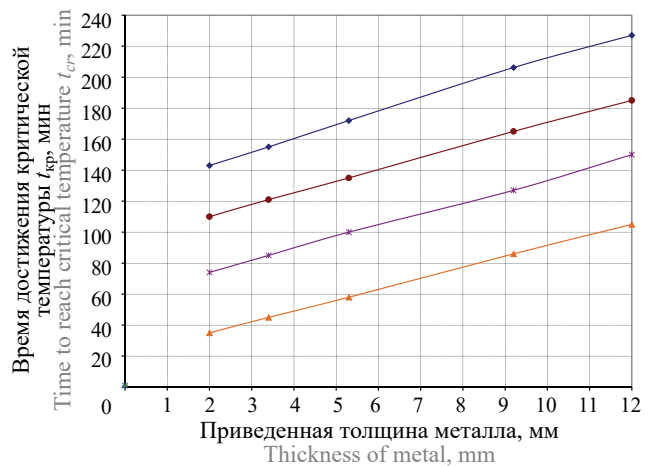


Рис. 2. Конструкция внутренней части модуля: 1 — обшивка слоями ГВЛ (1–3 слоя) пола и стен; 2 — основная стойка каркаса модуля; 3 — основная нижняя балка каркаса модуля прямоугольного сечения; 4 — балка пола модуля таврового сечения; 5 — промежуточные стойки каркаса модуля; 6 — горизонтальные направляющие для крепления внутренней обшивки модуля; 7 — OSB панели в обшивке пола; 8 — пароизоляция пола и стен; 9 — минераловатные маты — утеплитель в конструкции пола; 10 — гофрлист для установки утеплителя; 11 — отделочное покрытие пола; 12 — отделочное покрытие стен; 13 — минераловатные маты — утеплитель в конструкции стен; 14 — металлические гвозди для крепления 1 и 2-го слоев ГВЛ из газового монтажного пистолета; 15 — металлические скобы для крепления 3-го слоя ГВЛ; 16 — герметизирующий неорганический клей

Fig. 2. The design of the internal part of the module: 1 — sheathing with GFS layers (1–3 layers) of the floor and walls; 2 — main stand of the module frame; 3 — main lower beam of the frame of the module of rectangular section; 4 — beam floor of the T-section module; 5 — intermediate racks of the module frame; 6 — horizontal rails for fastening the inner skin of the module; 7 — OSB panels in the floor sheathing; 8 — vapor barrier of the floor and walls; 9 — mineral wool insulation mats in the floor structure; 10 — corrugator for installing insulation; 11 — finished flooring; 12 — finish wall covering; 13 — mineral wool insulation mats in the wall construction; 14 — metal nails for fastening 1 and 2 layers of GFS from a gas mounting gun; 15 — metal brackets for fixing 3 GFS salts; 16 — sealing inorganic adhesive

рено использование несущих металлических элементов с приведенной толщиной металла не менее 3,5 мм.

При этом выбранные параметры огнезащиты, как показывают результаты расчетов, обеспечивают время прогрева до критических температур металлических конструкций с приведенной толщиной металла не менее 3,5 мм более 90 мин, т.е. обеспечивают предел огнестойкости не менее R 90. Теплоизоляция из минеральной (каменной) ваты толщиной 100 мм, находящейся в составе конструкций, обеспечивает предел огнестойкости не менее EI 90.



Толщина огнезащитной облицовки из листов ГВЛ:

Thickness of fireproof cladding made of GFS:

- 12,5 мм / 12,5 мм
- 25 мм / 25 мм
- 37,5 мм / 37,5 мм
- 45 мм / 45 мм

Рис. 3. Зависимость времени достижения критической температуры от приведенной толщины металла и количества листов ГВЛ

Fig. 3. Dependence of the time to reach the critical temperature on the reduced thickness of the metal and the number of GFS

Трехслойные обшивки из листов ГВЛ (ГКЛО) толщиной по 12,5 мм каждый, а также слой теплоизоляции из минеральной (каменной) ваты, находящийся в составе конструкций, обеспечивают время прогрева до критических температур металлических конструкций с приведенной толщиной металла не менее 3,5 мм более 120 мин, т.е. обеспечивают предел огнестойкости не менее REI 120.

Окончательное решение о корректности выбранных технических решений по огнезащите конструкций позволяет принять проведенные огневые испытания.

Основными конструктивными элементами зданий, возведенных по технологии ОБМС, обеспечивающими его несущую способность, устойчивость и геометрическую неизменяемость как в условиях эксплуатации, так и в условиях пожара, являются стальные несущие каркасы, которые выполняются из стандартных профилей, собираемых на сварке, согласно проекту.

Разработанные требования предполагают, что требуемый предел огнестойкости для элементов несущего каркаса здания составляет R 90.

Результаты огневых испытания подтвердили, что для обеспечения данного значения предела огнестойкости должны быть использованы двухслойные обшивки из листов ГВЛ, каждый из которых имеет толщину по 12,5 мм, а также слой теплоизоляции из минеральной (каменной) ваты толщиной не менее 100 мм. График результатов испытаний аналогичных конструкций перекрытия приведен на рис. 4. Из рисунка видно, что предельный прогиб в середине пролета перекрытия и предельная ско-

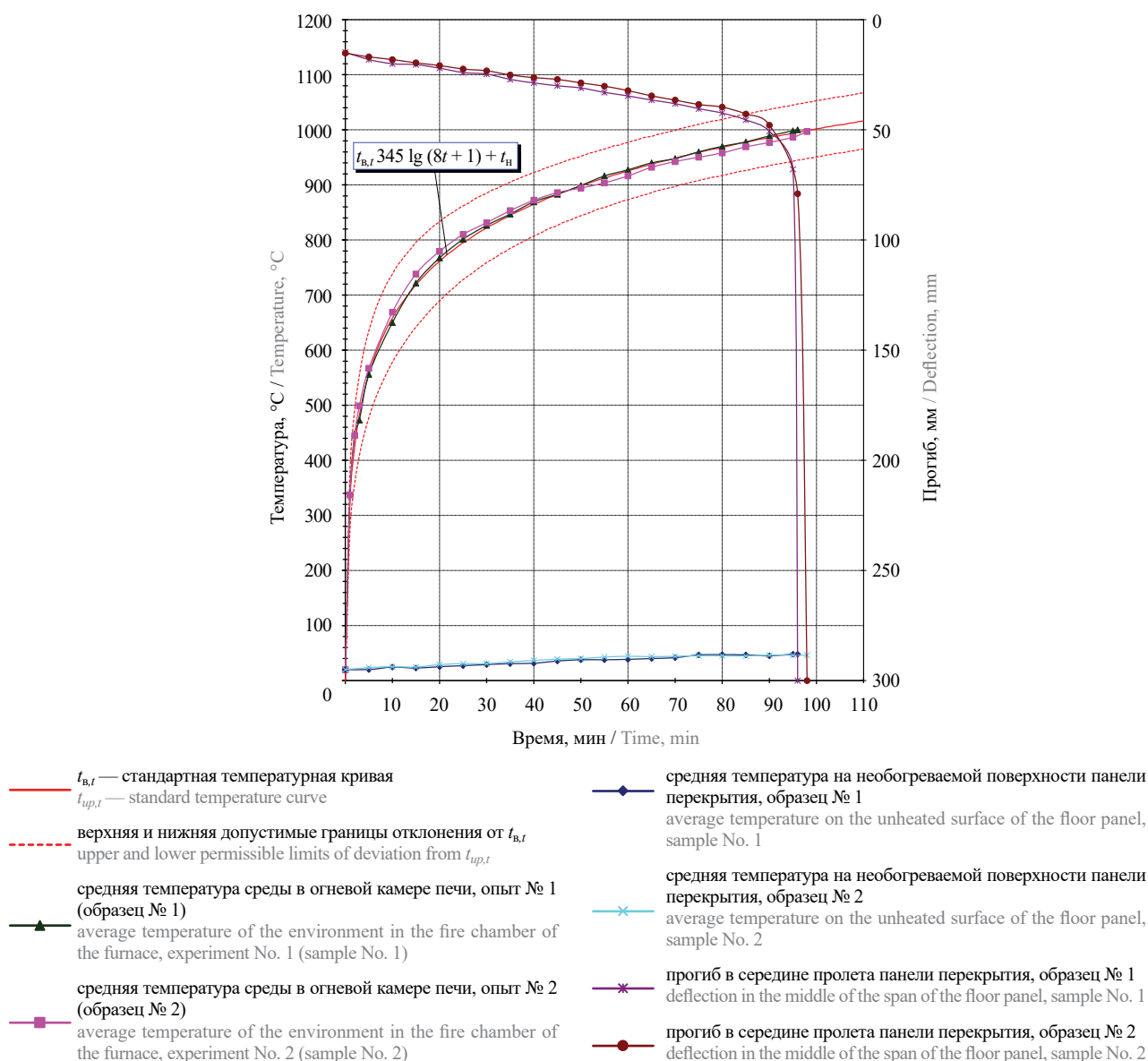


Рис. 4. Результат испытаний на огнестойкость перекрытия на основе металлических профилей с 2-слойной обшивкой из листов ГВЛ^{1, 2, 3}

Fig. 4. The result of tests for fire resistance of ceilings based on metal profiles with a 2-layer sheathing of GFS^{1, 2, 3}

рость нарастания деформаций имеют место на 94-й мин испытания. С учетом этого время достижения предельного состояния по потере несущей способности R составляет 94 мин. При этом на момент потери несущей способности температура на необогреваемой стороне перекрытия не превысила 48 °С, а появления сквозных трещин или отверстий, через

которые проникают продукты горения или пламя, не зафиксировано.

Аналогичным образом результаты огневых испытаний подтвердили, что для обеспечения предела огнестойкости R 120 должны быть использованы 3-слойные обшивки из листов ГВЛ, каждый из которых имеет толщину по 12,5 мм, а также слой теплоизоляции

¹ Отчет ИЛ НИЦ ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 0220-3.2 от 27.04.2017 г. об испытаниях на пожарную опасность «Огнестойкость многослойной конструкции внутренней несущей стеновой панели, изготовленной на основе стального каркаса из тонколистовых оцинкованных холодногнутох профилей ТУ 1120-001-44832776–2015 по технологии ООО «Термопрофиль»» / А.В. Пехотников, В.В. Павлов. 12 л.

² Отчет ИЛ НИЦ ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 0221-3.2 от 27.04.2017 г. об испытаниях на пожарную опасность «Огнестойкость многослойной конструкции наружной несущей стеновой панели, изготовленной на основе стального каркаса из тонколистовых оцинкованных холодногнутох профилей ТУ 1120-001-44832776–2015 по технологии ООО «Термопрофиль»» / А.В. Пехотников, В.В. Павлов. 13 л.

³ Отчет ИЛ НИЦ ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 0222-3.2 от 28.04.2017 г. об испытаниях на пожарную опасность «Огнестойкость многослойной конструкции междуэтажного перекрытия, изготовленного на основе стального каркаса из тонколистовых оцинкованных холодногнутох профилей ТУ 1120-001-44832776–2015 по технологии ООО «Термопрофиль»» / А.В. Пехотников, В.В. Павлов. 13 л.

из минеральной (каменной) ваты толщиной не менее 100 мм. График результатов испытаний стальных двутавровых балок № 35Б1 по АСЧМ 20-93 с приведенной толщиной металла при условии 3-стороннего обогрева, равной 4,4 мм, приведен на рис. 5. Из рисунка видно, что предельный прогиб в середине пролета и предельная скорость нарастания деформаций имеют

место на 123-й мин испытания. С учетом этого время достижения предельного состояния по потери несущей способности R составляет 123 мин.

Кроме того, огневые испытания показали, что для обеспечения установленного требуемого предела огнестойкости REI 150 для строительных конструкций стен и перекрытий ОБМС зданий должны приме-

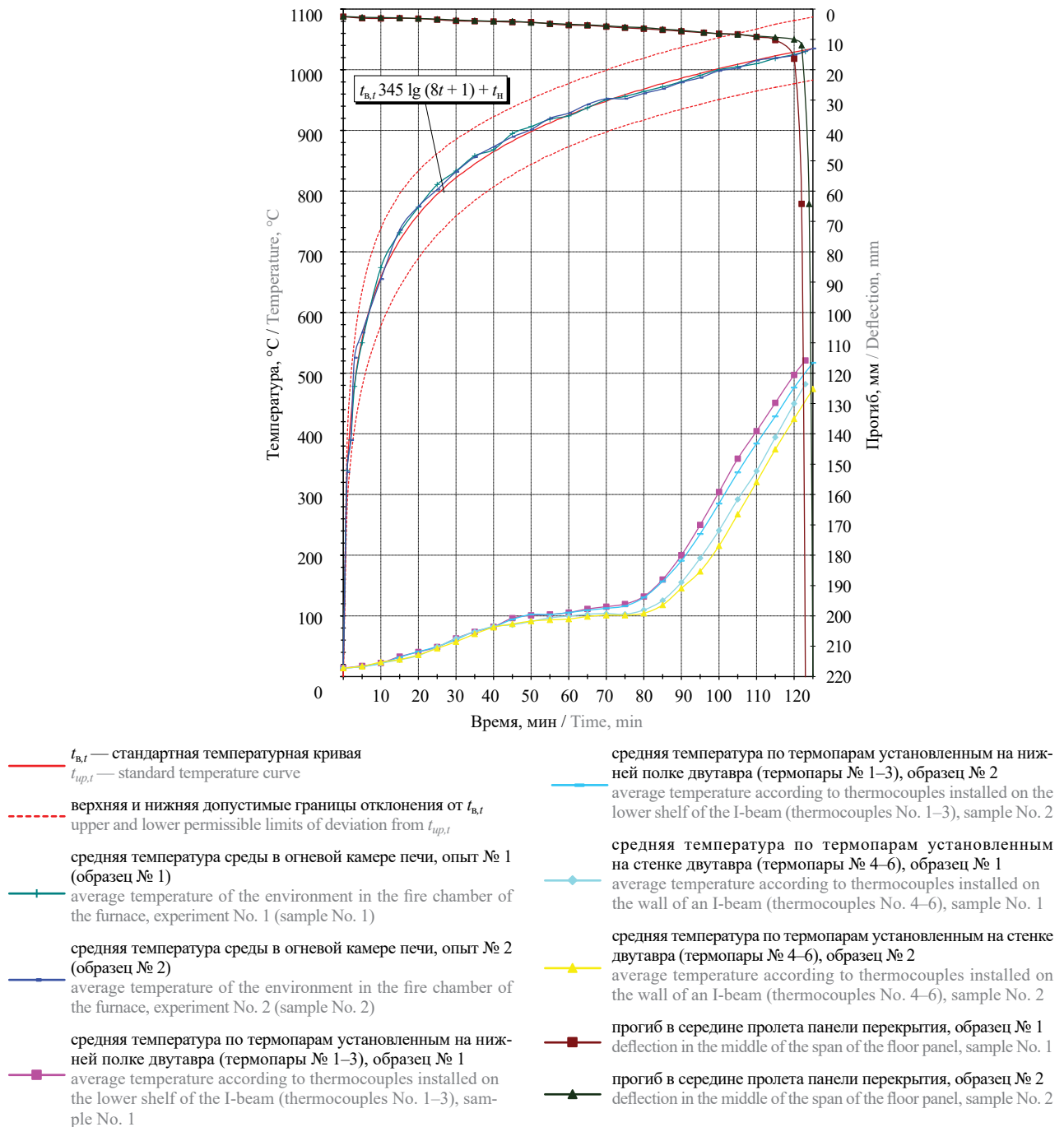
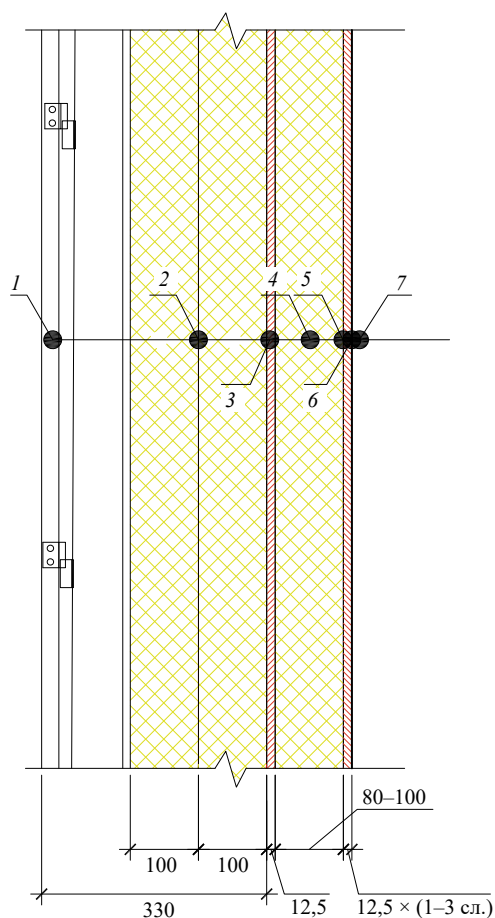


Рис. 5. Результат испытаний на огнестойкость стальной двутавровой балки № 35Б1 АСЧМ 20-93 с 3-слойной обшивкой из листов ГВЛ⁴

Fig. 5. The result of fire resistance tests of a steel I-beam No. 35B1 ASFM 20-93 with a 3-layer sheathing of GFL⁴

⁴ Отчет ИЛ НИЦ ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 332-3.2 от 01.11.2017 г. об испытаниях на пожарную опасность «Огнестойкость стальной двутавровой балки № 35Б1 АСЧМ 20-93 с трехслойной огнезащитной облицовкой, выполненной из листов ГВЛ ГОСТ Р 51829–2001 толщиной 3 × 12,5 мм (общая толщина облицовки 37,5 мм) по стальному каркасу из тонколистовых оцинкованных профилей ТУ 1121-012-04001508–2011» ООО «Кнауф гипс Челябинск» / А.В. Пехотников, В.В. Павлов. 19 л.



1 — вентилируемый фасад либо декоративная штукатурка с силикатной окраской по сетке из стеклоткани;
2 — плиты утеплителя из каменной ваты типа ROCKWOOL (либо аналог), толщина и плотность определяется по теплотехническому расчету, а также зависит от материала отделки;

3 — цементная плита АКВАПАНЕЛЬ Knauf (либо аналог) 12,5 мм;

4 — стальной каркас, защищенный от коррозии согласно ГОСТ 21.513–83 из прямоугольных профилей, плотно вложенные между стальным остовом минераловатные плиты Rockwool Акустик Баттс 80–100 мм в зависимости от расчетных требований к сечению профиля;

5 — пароизоляционная пленка 0,5 мм;

6 — 1, 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 45, 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ можно заменить на гипсокартонные (ГКЛО) плиты — 12,5 мм;

7 — стеклообои — настенное покрытие с дисперсной покраской (керамическая плитка на плиточном клее) 2–10 мм

1 — ventilated facade or decorative plaster with silicate coloring on a grid of fiberglass;

2 — insulation boards made of rock wool type ROCKWOOL (or equivalent) thickness and density is determined by thermal engineering calculation, and also depends on the finishing material;

3 — cement board AQUAPANEL Knauf (or equivalent) 12.5 mm;

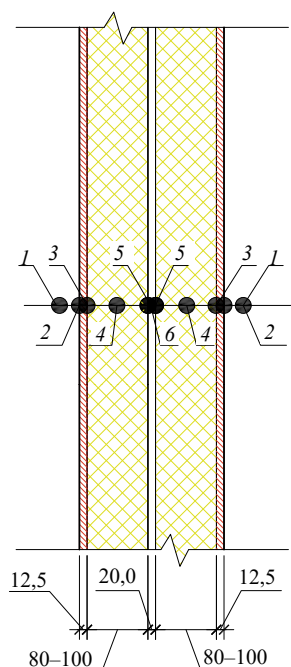
4 — steel frame, protected from corrosion according to GOST 21.513–83 from rectangular profiles, Rockwool Acoustic Butts 80–100 mm mineral wool boards tightly nested between the steel frame, depending on the design requirements for the profile section;

5 — vapor barrier film 0.5 mm;

6 — 1, 2, 3 GFS layer (GOST R 51829) with a thickness of 12.5 mm, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 45, 90, 120 min, the outer layer of GFS can be replaced with plasterboard (GPB) plates 12.5 mm;

7 — glass fiber — wall covering with dispersion painting (ceramic tiles on tile adhesive) 2–10 mm

Рис. 6. Конструкция наружной стены с пределами огнестойкости RE 45, RE 90, RE 120 и классом пожарной опасности K0
Fig. 6. Exterior wall construction with fire resistance limits RE 45, RE 90, RE 120 and fire class K0



1 — стеклообои — настенное покрытие с дисперсной покраской (керамическая плитка на плиточном клее) 2–10 мм;

2 — 1, 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 45, 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ можно заменить на гипсокартонные (ГКЛО) плиты — 12,5 мм;

3 — пароизоляционная пленка — 0,5 мм;

4 — стальной каркас, защищенный от коррозии, согласно ГОСТ 21.513–83, из прямоугольных профилей, плотно вложенные между стальным остовом миниплиты Rockwool Акустик Баттс — 80 мм;

5 — термоусадочная пленка, плотность — 200 мк;

6 — слой воздуха до оси конструкции, 20 мм

1 — glass fiber — wall covering with dispersed painting (ceramic tiles on tile adhesive) 2–10 mm;

2 — 1, 2, 3 — layers of GFS (GOST R 51829) 12.5 mm thick, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 45, 90, 120 minutes, the outer layer of GFS can be replaced with plasterboard (GPB) plates — 12.5 mm;

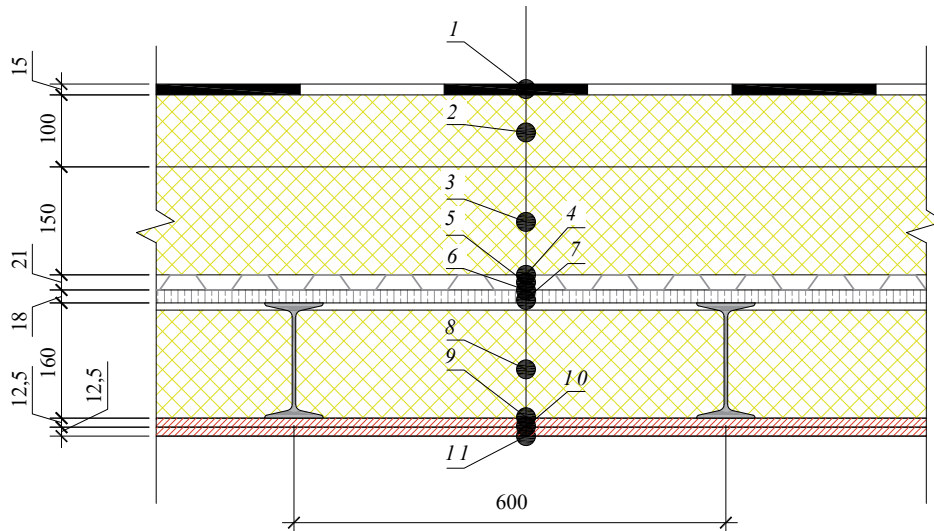
3 — vapor barrier film — 0.5 mm;

4 — steel frame protected against corrosion according GOST 21.513–83 from rectangular profiles, tightly nested between the steel frame of the Rockwool Acoustic Butts — 80 mm miniplate;

5 — shrink film density — 200 microns;

6 — air layer up to the axis of the structure, 20 mm

Рис. 7. Конструкция внутренней стены с пределами огнестойкости R 45, R 90, R 120 и классом пожарной опасности K0
Fig. 7. Internal wall structure with fire resistance R 45, R 90, R 120 and fire hazard class K0



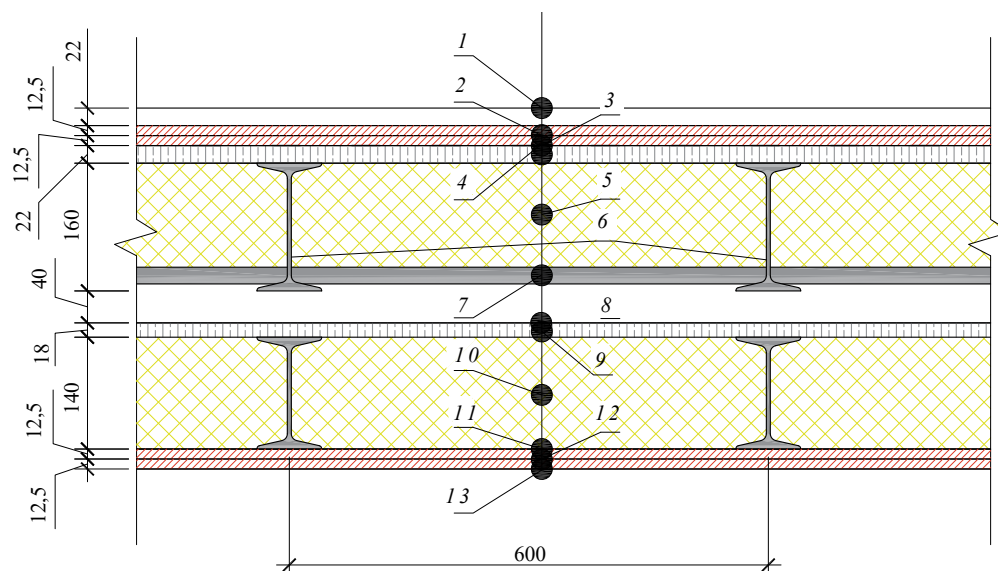
- 1 — гидроизоляция ПВХ мембрана 1,5 мм;
 2 — разуклонка кровли из минераловатных плит утеплителя из каменной ваты типа ROCKWOOL (либо аналог), толщина и плотность определяется по теплотехническому расчету;
 3 — минераловатные плиты утеплителя из каменной ваты типа ROCKWOOL (либо аналог), толщина и плотность определяется по теплотехническому расчету;
 4 — пароизоляция;
 5 — профлист С21–22 мм;
 6 — транспортная кровельная мембрана — 3 мм;
 7 — плиты OSB (ориентированно-стружечные) — 18 мм;
 8 — стальной каркас, защищенный от коррозии согласно ГОСТ 21.513–83, из прямоугольных профилей (140 мм) — 160 мм, плотно вложенные между стальным остовом минераловатные плиты Rockwool Акустик Баттс;
 9 — пароизоляционная пленка — 0,5 мм;
 10 — 1, 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 45, 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ можно заменить на гипсокартонные (ГКЛЮ) плиты — 12,5 мм;
 11 — стеклообои, покрытие с дисперсной покраской или подвесной потолок
- 1 — waterproofing PVC membrane 1.5 mm;
 2 — sloping of the roof from mineral wool slabs of stone wool insulation of the ROCKWOOL type (or equivalent) thickness and density are determined by thermal engineering calculation;
 3 — mineral wool insulation boards made of rock wool of the ROCKWOOL type (or equivalent), thickness and density are determined by thermal engineering calculation;
 4 — vapor barrier;
 5 — profiled sheet C21–22 mm;
 6 — transport roofing membrane — 3 mm;
 7 — OSB boards (oriented strand) — 18 mm;
 8 — steel frame protected against corrosion according GOST 21.513–83 from rectangular profiles (140 mm) — 160 mm, Rockwool Acoustic Butts mineral wool boards tightly nested between the steel frame;
 9 — vapor barrier film — 0.5 mm;
 10 — 1, 2, 3 GFS layer (GOST R 51829) with a thickness of 12.5 mm, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 45, 90, 120 minutes, the outer layer of GFS can be replaced with plasterboard (GPB) plates — 12.5 mm;
 11 — glass fiber coating with dispersed painting or suspended ceiling

Рис. 8. Конструкция покрытия с мягкой кровлей с пределами огнестойкости R 45, R 90, R 120 и классом пожарной опасности K0
Fig. 8. Roof structure with soft roof with fire resistance R 45, R 90, R 120 and fire hazard class K0

няться следующие проектные решения⁵: обшивки стен (с обеих сторон для внутренних стен, для наружных стен со стороны помещения) выполняются двухслойными и состоят из двух слоев плит КНАУФ — Файерборд толщиной по 24 мм, при этом слой утеплителя в конструкциях должен быть из минеральной каменной ваты плотностью не менее 45 кг/м³.

По результатам проведенных экспериментальных исследований и огневых испытаний установлено, что рассматриваемые типовые строительные конструкции системы ОБМС удовлетворяют требованиям по несущей способности (R), целостности (E) и теплоизолирующей способности (I), предъявляемым к несущим элементам зданий II степени огнестойкости.

⁵ КНАУФ. URL: <https://www.knauf.ru/documents/otchetyizakljuchenija/index.php#vp1431752>



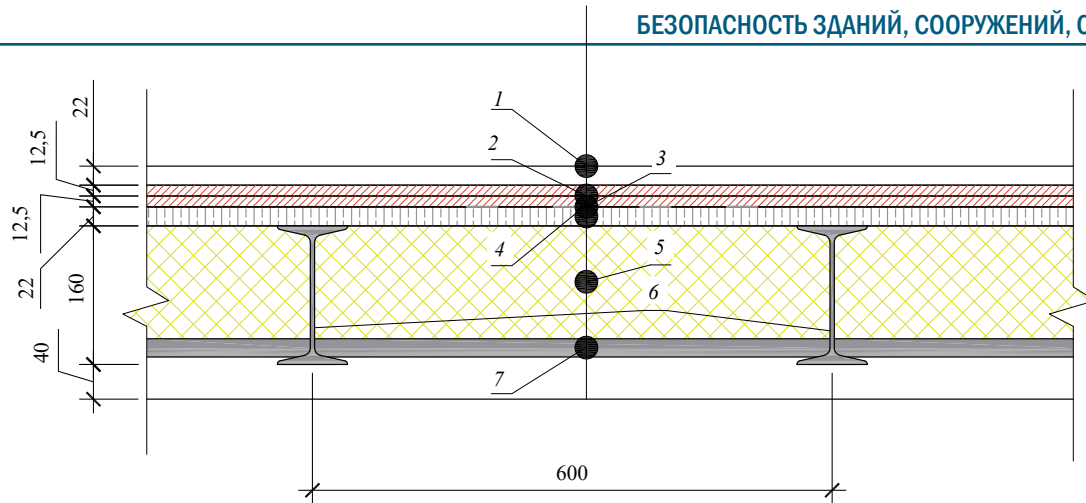
- 1 — линолеум гетерогенный — 3 мм (керамогранитная плитка на плиточном клею — 20 мм);
 2 — 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ при наличии полового покрытия из плитки можно не устанавливать;
 3 — прокладка из неопрена — 5 мм;
 4 — пароизоляционная пленка — 1 слой 0,2 мм;
 5 — OSB древесно-стружечная плита — 22 мм;
 6 — стальной каркас пола из двутавровых профилей 160 мм (главная балка из прямоугольного профиля высотой 200 мм), плотно вложенные между стальным остовом минплиты Rockwool Акустик Баттс;
 7 — профлист С21 — 22 мм;
 8 — транспортная кровельная мембрана — 3 мм;
 9 — OSB древесно-стружечная плита — 18 мм;
 10 — стальной каркас потолка из двутавровых профилей 140 мм (главная балка из прямоугольного профиля высотой 160–180 мм), плотно вложенные между стальным остовом минплиты Rockwool Акустик Баттс;
 11 — пароизоляционная пленка 1 слой — 0,2 мм;
 12 — 1, 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 45, 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ можно заменить на гипсокартонные (ГКЛЮ) плиты — 12,5 мм;
 13 — стеклообои, покрытие с дисперсной покраской или подвесной потолок
- 1 — heterogeneous linoleum — 3 mm (porcelain tiles on tile adhesive — 20 mm);
 2 — 2, 3 layers of GFS (GOST R 51829) with a thickness of 12.5 mm, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 90, 120 minutes, the outer layer of GFS in the presence of a floor covering of tiles cannot be installed;
 3 — neoprene padding — 5 mm;
 4 — vapor barrier film — 1 layer 0.2 mm;
 5 — OSB chipboard — 22 mm;
 6 — steel frame of the floor from profiles 160 mm (main beam from a rectangular profile 200 mm high), Rockwool Acoustic Butts mini — plates tightly nested between the steel frame;
 7 — profiled sheet C21 — 22 mm;
 8 — transport roofing membrane — 3 mm;
 9 — OSB chipboard — 18 mm;
 10 — steel frame of the ceiling from profiles 140 mm (main beam from a rectangular profile 160–180 mm high), Rockwool Acoustic Butts — slabs tightly nested between the steel frame;
 11 — vapor barrier film 1 layer — 0.2 mm;
 12 — 1, 2, 3 GFS layer (GOST R 51829) with a thickness of 12.5 mm, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 45, 90, 120 minutes, the outer layer of GFS can be replaced with plasterboard (GPB) plates — 12.5 mm;
 13 — glass fiber coating with dispersed painting or suspended ceiling

Рис. 9. Конструкция междуэтажного перекрытия с пределами огнестойкости REI 45, REI 90, REI 120 и классом пожарной опасности К0

Fig. 9. Interfloor construction with fire resistance limits REI 45, REI 90, REI 120 and fire hazard class K0

Обоснование классов пожарной опасности строительных конструкций ОБМС сделано на основе анализа результатов проведенных во ВНИИПО огневых испытаний строительных конструкций с обшивками

и подшивками из плитных и листовых материалов типа ГВЛ (ГКЛЮ, ЦСП) [23]. В ходе испытаний установлено, что при одностороннем температурном воздействии листы ГВЛ и их аналоги (отнесен-



- 1 — линолеум гетерогенный — 3 мм (керамогранитная плитка на плиточном клею — 20 мм);
 2 — 2, 3 слоя ГВЛВ (ГОСТ Р 51829) толщиной по 12,5 мм в зависимости от требований к огнестойкости конструкции соответственно 90, 120 мин, наружный слой ГВЛВ при наличии полового покрытия из плитки можно не устанавливать;
 3 — прокладка из неопрена — 5 мм;
 4 — пароизоляционная пленка — 1 слой 0,2 мм;
 5 — OSB древесно-стружечная плита — 22 мм;
 6 — стальной каркас пола из двутавровых профилей 160 мм (главная балка из прямоугольного профиля высотой 200 мм), плотно вложенные между стальным остовом минплиты Rockwool Акустик Баттс;
 7 — профлист С21 — 22 мм
- 1 — heterogeneous linoleum — 3 mm (porcelain tiles on tile adhesive — 20 mm);
 2 — 2, 3 layers of GFLB (GOST R 51829) with a thickness of 12.5 mm, depending on the requirements for fire resistance of the structure, respectively 90, 120 minutes, the outer layer of GFLB in the presence of a floor covering of tiles cannot be installed;
 3 — neoprene padding — 5 mm;
 4 — vapor barrier film — 1 layer 0.2 mm;
 5 — OSB chipboard — 22 mm;
 6 — steel frame of the floor from profiles 160 mm (main beam from a rectangular profile 200 mm high), Rockwool Acoustic Butts mini — plates tightly nested between the steel frame;
 7 — profiled sheet C21 — 22 mm

Рис. 10. Конструкция основания (перекрытия) с пределами огнестойкости REI 45, REI 90, REI 120 и классом пожарной опасности К0

Fig. 10. Base (ceiling) structure with fire resistance limits REI 45, REI 90, REI 120 and fire hazard class K0

ные к материалам группы горючести Г1) в составе конструкции ведут себя как негорючий материал и не дают значительного теплового эффекта.

Наличие внутри рассматриваемых конструкций негорючих утеплителей, отнесенных к материалам класса КМ0 (негорючие — НГ), является положительным фактором, препятствующим скрытому распространению пламени по конструкциям.

Таким образом, на основании анализа результатов огневых испытаний, а также проведенных испытаний на пожарную опасность аналогичных по конструкции ограждений, установлено, что класс пожарной опасности рассматриваемых конструкций при условии выполнения обшивок стен, подшивок и настилов перекрытий из плитных и листовых материалов проектного типа составит:

- для конструкции межэтажных и чердачных перекрытий, а также покрытий — К0 (45);
- для наружных стен с внутренней стороны и внутренних стен лестничных клеток (перегородок) — К0 (45);

- для наружных стен (без учета фасадных систем) с внешней стороны — К0.

Экспериментальное подтверждение огнестойкости описываемых конструкций проведено специалистами ФГБУ ВНИИПО МЧС России совместно со ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России». В ходе исследований разработаны программы и проведен комплекс огневых испытаний узлов и конструкций, входящих в систему ОБМС, и аналогичных систем с металлическим каркасом. Результаты испытаний, отраженные в отчетах, протоколах испытаний и заключениях ВНИИПО, подтвердили требуемые пределы огнестойкости и классы пожарной опасности конструкций модульной системы ОБМС.

Анализ конструкций системы ОБМС и аналогичных систем, проведенный специалистами Академии ГПС МЧС России, также подтвердил их требуемые пределы огнестойкости и классы пожарной опасности, что отражено в заключениях и протоколах испытаний.

На основе результатов расчетов и огневых испытаний, а также имеющегося опыта проектирования

разработаны конструктивные решения для системы ОБМС с различными пределами огнестойкости, основные из которых представлены на рис. 6–10.

Разработанными и реализованными на практике проектами конструкция модуля предусмотрена как балочно-стоечная система из стальных профилей различного сечения.

Конструкции стен и перекрытий примыкают и крепятся между собой при помощи сварки. Крепеж элементов обшивки строительных конструкций между собой производится посредством соединений, выполняемых при помощи самонарезающих шурупов, и осуществляется через соединительные элементы и закладные детали, в соответствии с технической документацией изготовителя.

Узлы соединений, включая крепежные элементы, закрываются от воздействия огня обшивками (подшивками) из листов ГВЛ (ГКЛО и др.), слоем минераловатного утеплителя. Крепление ГВЛ (ГКЛО и др.) к конструкции осуществляется при помощи пристреливаемых гвоздевых соединений и стальных скоб в комбинации с клеевым соединением.

Соединение модулей (объемных блоков) между собой происходит при помощи накладных пластин, которыми блоки свариваются между собой.

Конструкция модульных блоков устанавливается на фундамент. Фундамент для таких зданий может быть различной конструкции (плитный, ленточный, свайный с ленточным или плитным ростверком).

Выводы

Специфической особенностью конструктивной системы ОБМС является то, что ее отдельные несущие элементы расположены внутри ограждающих конструкций здания — наружных стен, покрытий, внутренних стен и перегородок и т.д.

Положениями № 123-ФЗ и нормативных документов в области пожарной безопасности не установлены требования к пределам огнестойкости элементов подобных систем, требования к огнестойкости узлов крепления и примыкания, а также требования к классам их пожарной опасности.

С учетом этого проведены аналитические исследования, позволившие обосновать требования к пределам огнестойкости межэтажных перекрытий, бесчердачных покрытий, наружных стен, внутренних стен лестничных клеток, противопожарных преград и т.д. для зданий II степени огнестойкости класса С0.

Данные требования носят комбинированный характер, т.е. содержат минимально необходимые и отличные друг от друга по численному значению требования по признакам R, а также по E и I для каждой конструкции и позволяют в сочетании с разработанными требованиями к узлам крепления обеспечить общую прочность и пространственную

устойчивость конструктивной системы, а также предотвратить прогрессирующее (лавинообразное) разрушение конструкций, находящихся за пределами очага пожара.

Разработанные комбинированные требования по огнестойкости к узлам примыкания и классу пожарной опасности конструкций обеспечивают ограничение распространения пожара в стыковых соединениях, по поверхности конструкций, а также внутри них.

Обоснование конструктивных решений по обеспечению требуемых пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций ОБМС базировалось на результатах расчетов и огневых испытаний. При этом учитывалось, что для конструкций ОБМС наиболее целесообразно применение огнезащитной теплоизоляция, устраиваемой сухим способом с применением обшивных гипсоволокнистых плит и/или других видов плитных материалов.

В каркасе ОБМС наиболее слабыми с точки зрения огнестойкости элементами являются металлические конструкции с приведенной толщиной около 4 мм.

Анализ результатов расчетов прогрева стальных конструкций с огнезащитой плитами ГВЛ показал, что для стальных конструкций, имеющих минимальную приведенную толщину металла не менее 3,5 мм, для обеспечения предела огнестойкости R 90 необходима его двухслойная обшивка из листов ГВЛ толщиной по 12,5 мм каждый, а для обеспечения предела огнестойкости R 120 стальных конструкций, имеющих минимальную приведенную толщину металла не менее 3,5 мм, необходима их трехслойная обшивка из листов ГВЛ толщиной по 12,5 мм каждый.

С учетом этого в конструкциях ОБМС предусмотрено использование несущих металлических элементов с приведенной толщиной металла не менее 3,5 мм.

При этом для зданий II степени огнестойкости класса С0 в качестве огнезащиты стальных элементов несущих каркасов здания должны быть предусмотрены двухслойные обшивки из листов ГВЛ (ГКЛО) толщиной по 12,5 мм каждый, а также слой теплоизоляции из минеральной (каменной) ваты толщиной 100 мм, находящейся в составе (внутри) конструкций.

А для зданий I степени огнестойкости класса С0 в качестве огнезащиты стальных элементов несущих каркасов здания должны быть предусмотрены трехслойные обшивки из листов ГВЛ (ГКЛО) толщиной по 12,5 мм каждый, а также слой теплоизоляции из минеральной (каменной) ваты толщиной 100 мм, находящейся в составе (внутри) конструкций.

Огневые испытания подтвердили корректность принятых решений по обеспечению пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций ОБМС.

На основе исследований были разработаны и реализованы проекты противопожарной защиты

следующих модульных зданий различного функционального назначения:

- двухэтажное здание ОГБУЗ «Тулунская городская больница» в Иркутской области;
- двухэтажное здание детского сада на 120 мест п. Зеленоградский, МО;
- шестиэтажное здание гостиницы «HOLIDAY INN EXPRESS» в г. Воронеже;
- трехэтажные здания поликлиники и амбулатории в г. Симферополе;
- одноэтажное здание школы с дошкольным отделением в д. Индери Вагайского района Тюменской области;
- одноэтажное здание вокзала в г. Сосногорске и др.

На основе результатов исследований подготовлены предложения по дополнению свода правил СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» требованиями к модульным зданиям по пределам огнестойкости и классам пожарной опасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голованов В.И., Пронин Д.Г. Влияние развития нормативной базы в области огнестойкости на применение стали в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 24–29. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.24-29
2. Гасиев А.А. Современное капитальное объемно-блочное строительство в России на основе универсальной объемно-блочной (модульной) системы с несущим металлическим каркасом // Жилищное строительство. 2020. № 10. С. 38–48. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-10-38-47
3. ТУ 25.11.10-001-02688615–2016. На производство модульных конструкций ООО «ПСК Прозрачный Мир».
4. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
5. Mahale H.D., Kandekar S.B. Behaviour of steel structure under the effect of fire loading // Journal of Engineering Research and Applications. 2016. Vol. 6. Issue 5. Part 5. Pp. 42–46.
6. Behnam B. Structural response of vertically irregular tall moment — resisting steel frames under preand post — earthquake fire // The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2016. Vol. 25. Issue 12. Pp. 543–557. DOI: 10.1002/tal.1271
7. Behnam B. A scenario-based methodology for determining fire resistance ratings of irregular steel structures // Advances in Structural Engineering. 2019. Vol. 23. Issue 1. Pp. 89–103. DOI: 10.1177/1369433219864457
8. Akaa O., Abu A., Spearpoint M., Giovinnazzi S. Optimising design decision — making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique // Fire Safety Journal. 2017. Vol. 91. Pp. 532–541. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.018
9. Md. Mofizul Islam, Rubieyat Bin Ali. Fire protection of steel structure: An overall review // World Scientific News. 2018. Vol. 102. Pp. 131–145.
10. Голованов В.И., Пехотиков А.В., Павлов В.В. Оценка огнезащитной эффективности покрытий для стальных конструкций // Пожарная безопасность. 2020. № 4 (101). С. 43–54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.004
11. Инструкции по расчету фактических пределов огнестойкости металлических конструкций. М. : ВНИИПО, 1983.
12. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Инженерный метод расчета огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит «RockwoolConlit» // Пожарная безопасность. 2006. № 4. С. 78–85.
13. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными облицовками из листов ГВЛ ГОСТ Р 51829–2001 по стальному каркасу из тонколистовых оцинкованных профилей ТУ 1121-012-04001508–2011. М. : ВНИИПО МЧС России, 2015. 33 л.
14. Nause P. Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand. -Brandschutz-Forum- München, 21.06.2013. 47 p. URL: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html>
15. Fire protection for structural steel in buildings. URL: [https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural\[1\]steel-in-buildings.html](https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural[1]steel-in-buildings.html) (дата обращения: 24.03.2022).
16. Zhang Q. Durable spray — applied fire — resistive material for enhanced safety of steel structures : thesis submitted ... for the Degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering). Ann Arbor, 2015. 172 p.
17. Пехотиков А.В., Павлов В.В., Хасанов И.Р., Голованов В.И. Расчетные методики оценки огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций // Актуальные проблемы пожарной безопасности : тез. докл. XXX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Ногинск, 6–8 июня 2018 г.). Балашиха, 2018. С. 359–361.
18. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В., Пронин Д.Г. Стандартизация и внедрение расчетных методов в области огнезащиты несущих стальных конструкций // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 05–07 июня 2019 г.). Балашиха, 2019. С. 26–29.
19. Morovat M., Engelhardt M. A critical review of test methods for mechanical characterization of steel for structural — fire engineering applications // Journal of Structural Engineering. 2020; 146(11). DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002787

20. Пронин Д.Г., Пехотиков А.В., Павлов В.В., Назмеева Т.В., Журавлев А.Ю. Особенности испытаний на огнестойкость строительных конструкций с применением холодногнутых оцинкованных профилей // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 30–35. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.30-35
21. Gravit M., Golub E., Klementev B., Dmitriev I. Fire protective glass fiber reinforced concrete plates for steel structures under different types of fire exposure // Buildings. 2021. Vol. 11. Issue 5. P. 187. DOI: 10.3390/buildings11050187
22. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Огнезащита стальных конструкций плитным материалом PYRO – SAFE AESTUVER T // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 11. С. 8–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.8-16
23. Техническая информация (в помощь инспектору ГПН). М. : ВНИИПО, 2017. 24 с.

REFERENCES

1. Golovanov V.I., Pronin D.G. The impact of the development of the regulatory framework in the field of fire safety on the use of steel structures in construction. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 10:24-29. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.24-29 (rus).
2. Gasiev A.A. Modern capital volume-block construction in Russia based on a universal volume-block (modular) system with a load-bearing metal frame. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo/Housing Construction*. 2020; 10:38-48. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-10-38-47 (rus).
3. TU 25.11.10-001-02688615–2016. For the production of modular structures of PSK Transparent World LLC. (rus).
4. SP 2.13130.2020. Fire protection systems. Ensuring the fire resistance of objects of protection. Change 1. (rus).
5. Mahale H.D., Kandekar S.B. Behaviour of steel structure under the effect of fire loading. *Journal of Engineering Research and Applications*. 2016; 6(5):42-46.
6. Behnam B. Structural response of vertically irregular tall moment — resisting steel frames under preand post — earthquake fire. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2016; 25(12):543-557. DOI: 10.1002/tal.1271
7. Behnam B. A scenario-based methodology for determining fire resistance ratings of irregular steel structures. *Advances in Structural Engineering*. 2019; 23(1):89-103. 10.1177/1369433219864457
8. Akaa O., Abu A., Spearpoint M., Giovinazzi S. Optimising design decision — making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique. *Fire Safety Journal*. 2017; 91:532-541. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.018
9. Md. Mofizul Islam, Rubieyat Bin Ali. Fire protection of steel structure: An Overall Review. *World Scientific News*. 2018; 102:131-145.
10. Golovanov V.I., Pekhotikov A.V., Pavlov V.V. Evaluation of the fire — retardant efficiency of coatings for steel structures. *Pozharnaya Bezopasnost'/Fire Safety*. 2020; 4(101):43-54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.004 (rus).
11. *Instructions for calculating the actual limits of fire resistance of metal structures*. Moscow, VNIPO, 1983. (rus).
12. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Engineering method for calculating the fire resistance of steel structures with fire protection from mineral wool boards “RockwoolConlit”. *Fire safety*. 2006; 4:78-85. (rus).
13. Instructions for calculating the actual fire resistance limits of steel structures with fire — retardant linings made of GVL sheets GOST R 51829–2001 for a steel frame made of thin — sheet galvanized profiles TU 1121-012-04001508–2011. Moscow, VNIPO EMERCOM of Russia, 2015; 33. (rus).
14. Nause P. *Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand*. -Brandschutz-Forum- München, 21.06.2013; 47. URL: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html>
15. *Fire protection for structural steel in buildings*. URL: [https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural\[1\]steel-in-buildings.html](https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural[1]steel-in-buildings.html) (accessed: 24.03.2022).
16. Zhang Q. *Durable Spray – Applied Fire – Resistive material for Enhanced Safety of Steel Structures : thesis submitted ... for the Degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering)*. Ann Arbor, 2015. 172.
17. Pekhotikov A.V., Pavlov V.V., Khasanov I.R., Golovanov V.I. Calculation methods for assessing the fire resistance and fire hazard of building structures. *Actual problems of fire safety : abstracts of the XXX International Scientific and Practical Conference (Noginsk, June 6–8, 2018)*. Balashikha, 2018; 359-361. (rus).
18. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V., Pronin D.G. Standardization and introduction of calculation methods in the field of fire protection of load — bearing steel structures. *Actual problems of fire safety : materials of the XXII International Scientific and Practical Conference (Moscow, June 5–7, 2019)*. Balashikha, 2019; 26-29. (rus).
19. Morovat M., Engelhardt M. A critical review of test methods for mechanical characterization of steel for structural — fire engineering applications. *Journal of Structural Engineering*. 2020; 146(11). DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002787
20. Pronin D.G., Pekhotikov A.V., Pavlov V.V., Nazmeeva T.V., Zhuravlev A.Yu. Features of fire resistance tests of building structures using cold-formed galvanized profiles. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 10:30-35. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.30-35 (rus).

21. Gravit M., Golub E., Klementev B., Dmitriev I. Fire protective glass fiber reinforced concrete plates for steel structures under different types of fire exposure. *Buildings*. 2021; 11(5):187. DOI: 10.3390/buildings11050187
22. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Fire protection of steel structures with slab material PYRO-SAFE AESTUVER T. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(11):8-16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.8-16 (rus).
23. *Technical information (to help the inspector of the GPN)*. Moscow, VNIPO, 2017; 24. (rus).

Поступила 03.04.2023, после доработки 08.06.2023;

принята к публикации 27.06.2023

Received April 3, 2023; Received in revised form June 8, 2023;

Accepted June 27, 2023

Информация об авторах

ГАСИЕВ Азамат Абдуллахович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; начальник отдела «Строительных экспертиз» Департамента строительно-технической экспертизы, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации», Россия, 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, 29; ORCID: 0000-0002-7036-8594; e-mail: gasiev@bk.ru

ПАВЛОВ Владимир Валерьевич, начальник сектора огнестойкости конструкций, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 760824; ORCID: 0000-0002-0629-5765; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

ГОМОЗОВ Александр Васильевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Azamat A. GASIEV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; Head of the Department of Construction Expertise of Construction and Technical Expertise Department, Federal State Budgetary Institution "Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation", Vernadsky Ave., 29, Moscow, 119331, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7036-8594; e-mail: gasiev@bk.ru

Vladimir V. PAVLOV, Head of Sector, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 760824; ORCID: 0000-0002-0629-5765; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

Alexander V. GOMOZOV, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9660-9221, e-mail: Gomozovav@yandex.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.