

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-3.289>

УДК 614.841.332:624.94.014.2

МОДЕЛЬНЫЕ ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ КОЛОНН С КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТОЙ

Полева И.И., Жамойдик С.М., Нехань Д.С.

Цель. Разработать методику и провести модельные огневые испытания центрифугированных железобетонных колонн без огнезащиты и с конструктивной огнезащитой в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной от 12,5 до 40 мм, а также получить распределение температур на обогреваемой и необогреваемой поверхностях колонн, на арматуре и на необогреваемой поверхности конструктивной огнезащиты.

Методы. Проведение огневых испытаний. Измерение температур с помощью термоэлектрических преобразователей.

Результаты. Разработана методика и проведены модельные огневые испытания центрифугированных железобетонных колонн без огнезащиты и с конструктивной огнезащитой в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной от 12,5 до 40 мм. Экспериментально доказано, что огнестойкие гипсовые плиты Knauf Fireboard являются эффективным способом обеспечения огнезащиты стержневых железобетонных конструкций, позволяющие повышать их огнестойкость до максимально нормируемых значений в Республике Беларусь – R180.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для оценки огнестойкости железобетонных колонн, защищенных конструктивной огнезащитой на основе огнестойких гипсовых плит, при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Ключевые слова: огнестойкость, центрифугированные железобетонные колонны, конструктивная огнезащита, стандартный температурный режим, огневые испытания.

(Поступила в редакцию 29 июля 2021 г.)

Введение

Железобетон – комплексный строительный материал, представляющий собой рационально объединенные и совместно работающие бетон и стальные стержни. Благодаря своим качествам он массово применяется в строительстве, постепенно вытесняя другие строительные материалы.

Применение новых и эффективных конструкций – одна из констант социально-экономического развития любого государства. Постоянное стремление повысить технико-экономические показатели строительных конструкций натолкнуло ученых и инженеров на поиск оптимальных решений по сокращению исходных материалов при изготовлении железобетонных конструкций с обеспечением эксплуатационных требований. Снижение массы конструкций, являющейся основным недостатком железобетона, осуществляется путем использования прогрессивных технологий изготовления, применения тонкостенных конструкций, эффективных форм и сечений. Так в строительство приходит центрифугированный бетон [1; 2]. Опыт применения центрифугированных железобетонных элементов показал высокую эффективность, технологические и эксплуатационные преимущества. Именно поэтому на территории Республики Беларусь возведено более 500 различных объектов с применением центрифугированных железобетонных колонн, стоек и ригелей кольцевого и прямоугольного полого сечения. Указанные конструкции также широко использовались при строительстве объектов энергетики и в других регионах СССР [3].

Согласно ТР 2009/013/ВУ¹ здания и сооружения должны быть запроектированы таким образом и построены из таких строительных материалов и конструкций, чтобы в течение

¹ Технический регламент Республики Беларусь. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. 4-е изд.: ТР 2009/013/ВУ. – Введ. 31.12.09. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 28 с.

расчетного периода обеспечивалось соблюдение существенных требований, к которым относятся требования пожарной безопасности. Одним из обязательных для соблюдения требований пожарной безопасности является обеспечение конструкциями зданий выполнения своих функций при пожаре. Это требование достигается путем нормирования классов пожарной опасности и огнестойкости конструкций.

Поскольку железобетонные конструкции выполнены полностью из негорючих материалов, они относятся к классу пожарной опасности $K0^2$ и, следовательно, могут быть использованы в зданиях всех степеней огнестойкости³ при соответствующей огнестойкости.

Под огнестойкостью принято понимать способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции в течение установленной продолжительности регламентируемого пожара при заданном сочетании нагрузок⁴. Железобетонные конструкции, в зависимости от их огнестойкости, могут быть как не имеющие предела огнестойкости, так и обладать пределом огнестойкости REI240 [4].

Фактические пределы огнестойкости железобетонных конструкций могут быть определены экспериментальным или расчетным методами.

Экспериментальная оценка огнестойкости заключается в воздействии на конструкцию регламентированного температурного режима при заданных силовых нагрузках до момента наступления одного или нескольких предельных для данной конструкции состояний. В результате проведения таких испытаний решаются две основные задачи: определение огнестойкости конструкции (практическая) и выявление механизма ее разрушения и иных параметров, определяющих ее поведение (научная).

При всем разнообразии испытанных железобетонных конструкций в СССР и странах постсоветского пространства, в отечественных публикациях не упоминаются огневые испытания центрифугированных железобетонных конструкций, в том числе полых железобетонных колонн.

Результаты огневых испытаний, проведенных в Австрии [5], показали, что центрифугированные железобетонные колонны размером поперечного сечения более 40 см, толщиной стенки около 1/3 диаметра соответствуют пределу огнестойкости R180. Это свидетельствует об отсутствии ограничений в применении таких изделий в строительстве в ряде стран. Следует отметить, что данные, представленные в работе [5], – результат испытаний центрифугированных железобетонных колонн с толщиной защитного слоя бетона 35 мм и степенью армирования от 9 до 20 %. Это не позволяет в полной мере относить указанные конструкции к тонкостенным. Колонны со степенью армирования ниже 9 %, выпускаемые в Micheldorf (Австрия), соответствуют пределу огнестойкости не более R90 при том же защитном слое, из чего следует ограничение области применения в зданиях и сооружениях не выше II степени огнестойкости⁵.

В 2020 г. были проведены натурные огневые испытания двух центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения под нагрузкой в Республике Беларусь. Подробное описание методики и результатов огневых испытаний представлено в работах [6; 7]. Испытания колонн проводили в составе фрагмента здания, выполненного по каркасной конструктивной схеме. Разрушение колонн произошло в средней трети их высоты. Этому предшествовало образование магистральных спиралевидных трещин, направленных под углом

² Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности: СТБ 1961-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: Госстандарт, 2009. – 20 с.

³ Пожарная безопасность зданий и сооружений: СН 2.02.05-2020: введ. 04.04.21 (взамен СН 2.02.01-2019, с отменой ТКП 45-2.02-315-2018 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 70 с.

⁴ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019. – Введ. 01.01.10 (с отменой ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

⁵ См. сноску 2.

75–80 ° к плоскости земли [6]. Фактический предел огнестойкости испытанных колонн с учетом стандартного ряда составил R60, что существенно ограничивает область применения рассматриваемых конструкций в зданиях.

Одним из способов увеличения предела огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн является снижение нагрева сечения конструкции за счет использования огнезащиты. Так, конструктивная огнезащита позволяет повышать предел огнестойкости стальных конструкций до 240 мин [4], что является наиболее надежным способом защиты конструкций от огня.

Таким образом, одной из ключевых характеристик, определяющих область применения железобетонных конструкций в строительстве, является огнестойкость. Для широкого и обоснованного применения ЦБ в строительстве требуется провести модельные огневые испытания центрифугированных железобетонных колонн без огнезащиты и с конструктивной огнезащитой в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной от 12,5 до 40 мм, а также получить распределение температур на обогреваемой и необогреваемой поверхностях колонн, на арматуре и на необогреваемой поверхности конструктивной огнезащиты.

Основная часть

Стандарты по определению огнезащитной эффективности для стержневых железобетонных конструкций в Республике Беларусь отсутствуют, поэтому авторами статьи была разработана собственная методика исследования нагрева центрифугированных железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой и без нее. Методика основана на методе определения огнезащитной эффективности средства по металлу⁶. Методика испытаний предусматривала нагрев образцов в условиях стандартного температурного режима. Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для оценки теплофизических характеристик огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard и времени действия огнезащиты.

Испытанию подвергали четыре образца без статической нагрузки. В качестве образцов для испытаний использовали полые центрифугированные железобетонные колонны, наружным диаметром 560 мм, с толщиной стенки 55 мм, армированных пространственным каркасом, состоящим из 7 равномерно распределенных по окружности стержней класса S500 диаметром 12 мм и приваренной к ним поперечной спиральной арматуры из проволоки В-1 диаметром 4 мм. Толщина защитного слоя бетона во всех случаях составила 20 мм. Длина образцов составляла (1500±10) мм. Для воссоздания реальных условий эксплуатации в зданиях для образования замкнутой воздушной полости в верхней и нижней частях образцов предусматривалась бетонная шпонка высотой 200±10 мм.

Образец № 1 испытывали без огнезащиты, образцы № 2–4 были с конструктивной огнезащитой толщиной 12,5 мм; 20 мм и 40 мм соответственно из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard. Общий вид образцов перед испытаниями представлен на рисунке 1.

Конструктивные решения огнезащиты железобетонных стержневых конструкций представляли собой каркасно-обшивные облицовки на каркасе из стальных оцинкованных профилей (с толщиной металла 0,6 мм) и плит Knauf Fireboard. Каркас включал КНАУФ-профили потолочные ПП 60/27/06 и направляющие ПН 28/27/06, соединенные между собой самонарезающими винтами с шагом не более 500 мм. К железобетонной конструкции стальной каркас крепили через КНАУФ-подвесы прямые (длиной 120 мм) с шагом не более 1000 мм с помощью металлических анкерных изделий.

⁶ Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Госстандарт, 2010. – 25 с.



а – образец без конструктивной огнезащиты



б – образец с конструктивной огнезащитой толщиной 20 мм

Рисунок 1. – Образцы перед испытаниями

Крепление однослойной обшивки. Крепление однослойных обшивок из плит Кнауф Fireboard к каркасу осуществляли самонарезающими винтами длиной 25 мм (для плит толщиной 12,5 мм) либо длиной 35 мм (для плит толщиной 20 мм) с шагом не более 150 мм. Винты находились на расстоянии не менее 15 мм от края торцевой кромки плиты и не менее 10 мм от края продольной кромки. Смещение винтов по вертикали на двух смежных плитах составляло не менее 10 мм. Стыковка плит как по горизонтали, так и по вертикали осуществлялась только на профилях каркаса. Стыки плит Кнауф Fireboard, образованные прямыми продольными и обрезанными торцевыми кромками, а также места установки винтов были зашпатлеваны гипсовой негорючей шпатлевкой с применением армирующей ленты.

Крепление двухслойной обшивки. Крепление 1-го слоя. Крепление плит Кнауф Fireboard к каркасу осуществлялось самонарезающими винтами длиной 35 мм. При двухслойной обшивке при креплении плит первого слоя шаг винтов составлял не более 500 мм. После крепления первого слоя обшивки все стыки и места установки винтов зашпаклевывались негорючей смесью. *Крепление 2-го слоя.* Плиты второго слоя крепятся к каркасу через плиты первого слоя самонарезающими винтами длиной 55 мм с шагом не более 150 мм. Стыковка плит как по горизонтали, так и по вертикали осуществлялась только на профилях каркаса. Стыки плит Кнауф Fireboard, образованные прямыми продольными и обрезанными торцевыми кромками, а также места установки винтов были зашпатлеваны гипсовой негорючей шпатлевкой с применением армирующей ленты.

Схема устройства конструктивной огнезащиты центрифугированных железобетонных колонн с однослойной обшивкой представлена на рисунке 2.

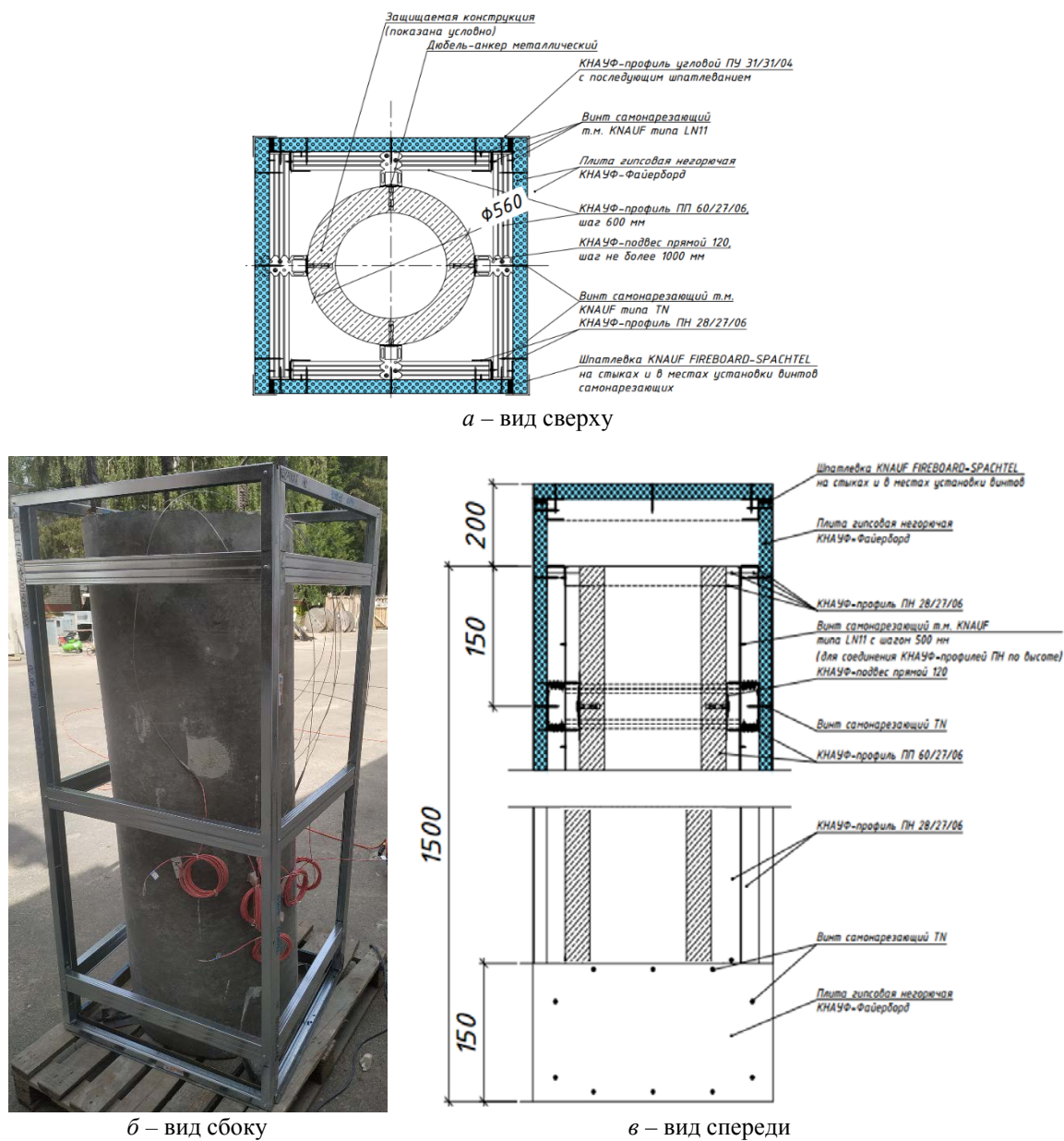


Рисунок 2. – Схема устройства конструктивной огнезащиты центрифугированных железобетонных колонн

Для определения температуры бетона и арматуры центрифугированных железобетонных колонн, в том числе защищенных огнестойкими гипсовыми плитами Knauf Fireboard, на внешней и внутренней поверхности испытуемых образцов, а также на арматуре устанавливали горячие спаи термоэлектрических преобразователей (далее – ТП). Для образцов, защищенных конструктивной огнезащитой, дополнительно устанавливали ТП на обратной от огневого воздействия стороне огнезащиты. Установку горячих спаев ТП осуществляли на высоте 1000 ± 100 мм от нижнего среза образца таким образом, чтобы ТП находились в одной плоскости с ТП, регистрировавшими показания температуры газовой среды. ТП на образцах устанавливали в пропилах с фиксацией клеевым раствором (рис. 3а), а на обратной от огневого воздействия стороне конструктивной огнезащиты – дополнительно с фиксацией металлическими пластинами с помощью шурупов (рис. 3б).



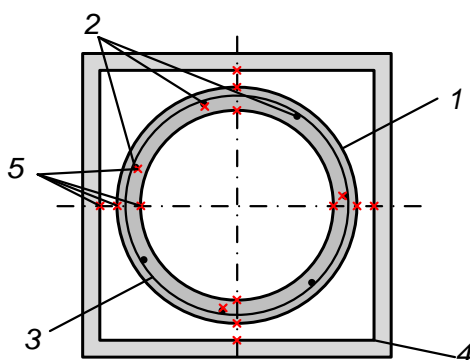
а – внутренняя поверхность колонны



б – внутренняя поверхность огнезащиты

Рисунок 3. – Фиксация ТП на образцах

Схема расстановки ТП на колонне и огнезащите представлена на рисунке 4.



1 – колонна; 2 – продольная арматура колонны; 3 – поперечное армирование колонны;
4 – конструктивная огнезащита; 5 – горячий спай термопары

Рисунок 4. – Схема расстановки ТП в сечении испытываемого защищенного образца и конструктивной огнезащиты

Началу испытаний соответствовал момент включения форсунок (горелок) печи. Продолжительность испытаний образцов № 1–4 составила 101, 131, 182 и 185 мин соответственно.

В процессе испытаний регистрировали следующие параметры:

- изменение температуры газовой среды в печи;
- изменение температуры бетона на внешней и внутренней поверхности, а также на арматуре;
- изменение температуры на обратной от огневого воздействия стороне огнезащиты;
- внешние признаки (трещинообразование, отслоение, хрупкое взрывообразное разрушение и т.д.).

Внешний вид конструкций после проведения испытаний представлен на рисунке 5.

В результате огневых испытаний получены следующие данные:

- **образец № 1:** на 90-й минуте огневых испытаний температура, зарегистрированная ТП, установленными на арматуре, составила $(514...616) \pm 4$ °С (среднее значение 564 ± 4 °С), установленными на обогреваемой поверхности бетона, – $(826...947) \pm 6$ °С (среднее значение 899 ± 6 °С), установленными на необогреваемой поверхности бетона, – $(479...493) \pm 3$ °С (среднее значение 484 ± 3 °С);



а – образец без огнезащиты



б – образец с конструктивной огнезащитой 12,5 мм

Рисунок 5. – Состояние конструкций после огневых испытаний

– **образец № 2:** на 120-й минуте огневых испытаний температура, зарегистрированная ТП, установленными на арматуре, составила $(332...351) \pm 2$ °С (среднее значение 341 ± 2 °С), установленными на обогреваемой поверхности бетона, – $(498...518) \pm 4$ °С (среднее значение 512 ± 4 °С), установленными на необогреваемой поверхности бетона, – $(297...329) \pm 2$ °С

(среднее значение 318 ± 2 °С), установленными на необогреваемой поверхности конструктивной огнезащиты, – $(637...641) \pm 4$ °С (среднее значение 638 ± 4 °С);



6 – образец с конструктивной огнезащитой 20 мм



2 – образец с конструктивной огнезащитой 40 мм

Рисунок 5. – Состояние конструкций после огневых испытаний

– **образец № 3:** на 180-й минуте огневых испытаний температура, зарегистрированная ТП, установленными на арматуре, составила $(434...456) \pm 3$ °С (среднее значение 445 ± 3 °С), установленными на обогреваемой поверхности бетона, – $(569...632) \pm 4$ °С (среднее значение 592 ± 4 °С), установленными на необогреваемой поверхности бетона, – $(402...411) \pm 2$ °С (среднее значение 407 ± 3 °С), установленными на необогреваемой поверхности конструктивной огнезащиты, – $(647...685) \pm 5$ °С (среднее значение 670 ± 5 °С);

– **образец № 4:** на 180-й минуте огневых испытаний температура, зарегистрированная ТП, установленными на арматуре, составила $(167...198) \pm 2$ °С (среднее значение 187 ± 2 °С), установленными на обогреваемой поверхности бетона, – $(257...314) \pm 2$ °С (среднее значение 284 ± 2 °С), установленными на необогреваемой поверхности бетона, – $(172...193) \pm 2$ °С (среднее значение 181 ± 2 °С), установленными на необогреваемой поверхности конструктивной огнезащиты, – $(394...501) \pm 3$ °С (среднее значение 437 ± 3 °С).

Заключение

1. Разработана методика исследования нагрева стержневых железобетонных конструкций, защищенных конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard, позволившая получить распределение температур и их развитие во времени, что в дальнейшем позволяет оценить огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой.

2. На основании разработанной методики проведены модельные огневые испытания железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной от 12,5 до 40 мм и без нее. В результате испытаний установлено, что огнестойкие гипсовые плиты Knauf Fireboard являются эффективным способом обеспечения огнезащиты железобетонных конструкций, позволяют значительно снизить температуру бетона и арматуры в защищаемых конструкциях. Конструктивная огнезащита в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard позволяет обеспечивать пределы огнестойкости железобетонных стержневых конструкций до максимально нормируемых пределов огнестойкости в Республике Беларусь R180.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пастушков, В.Г. Опыт применения центрифугированных линейных элементов с поперечными сечениями различного профиля при строительстве многоэтажных зданий / В.Г. Пастушков, Г.П. Пастушков // Архитектура и строительные науки. – 2014. – № 1, 2 (18, 19). – С. 36–38.
2. Чернильник, А.А. Некоторые аспекты повышения эффективности производства центрифугированных железобетонных изделий [Электронный ресурс] / А.А. Чернильник, А.В. Яновская, Н.А. Доценко // Молодой исследователь Дона. – 2019. – № 6 (21). – С. 97–99. – Режим доступа: https://mid-journal.ru/upload/iblock/cec/21_CHernilnik_97_99.pdf. – Дата доступа: 28.07.2021.
3. Казачек, В.Г. Шагая в ногу со временем (к 80-летию Тимофея Максимовича Пецольда) / В.Г. Казачек [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2014. – № 16. – С. 111–113.
4. Князева, Ю.Д. Повышение огнестойкости конструкций из газобетона / Ю.Д. Князева, В.В. Кротова, М.В. Гравит // Alfabuild. – 2018. – № 4 (6). – С. 49–64.
5. Barnas, A. Entwicklung hochbewehrter Schleuderbetonstützen – Brandverhalten und Bemessungssoftware / A. Barnas, G. Rinnohofer // Zement+Beton. – 2004. – S. 16–21.
6. Полевода, И.И. Результаты натуральных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 142–159. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.
7. Нехань, Д.С. Исследования температуры газовой среды при проведении натуральных огневых испытаний строительных конструкций / Д.С. Нехань [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 130–141. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.

**Модельные огневые испытания железобетонных центрифугированных колонн
с конструктивной огнезащитой**

Reinforced concrete centrifuged columns with structural fire protection model fire tests

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Head of University
Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Жамойдик Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, профессор
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Sergey M. Zhamoydik

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Нехань Денис Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, преподаватель
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

Denis S. Nekhan'

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Lecturer
Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-3.289>

REINFORCED CONCRETE CENTRIFUGED COLUMNS WITH STRUCTURAL FIRE PROTECTION MODEL FIRE TESTS

Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S.

Purpose. To develop a methodology and conduct model fire tests of reinforced concrete columns with and without Knauf Fireboard gypsum boards structural fire protection 12.5 to 40 mm thick, to obtain a temperature distribution on the heated and unheated surfaces of the fire protection and columns, as well as on the reinforcement.

Methods. Fire testing. Thermoelectric converters temperature measurement.

Findings. A method has been developed and model fire tests of centrifuged reinforced concrete columns with and without Knauf Fireboard gypsum boards structural fire protection 12.5 to 40 mm thick have been carried out. It has been experimentally proved that Knauf Fireboard fire-resistant gypsum boards are an effective way to ensure fire protection of reinforced concrete columns, allowing to increase their fire resistance up to the standardized maximum value in the Republic of Belarus, R180.

Application field of research. The obtained results can be used in buildings and structures design process as fire resistance assessment of reinforced concrete columns protected by structural fire protection based on fire-resistant gypsum boards.

Keywords: fire resistance, centrifuged reinforced concrete columns, structural fire protection, standard temperature regime, fire tests.

(The date of submitting: July 29, 2021)

REFERENCES

1. Pastushkov V.G., Pastushkov G.P. Opyt primeneniya tsentrifugirovannykh lineynykh elementov s poperechnymi secheniyami razlichnogo profilya pri stroitel'stve mnogoetazhnykh zdaniy [Experience of using centrifuged linear elements with cross sections of various profiles in the construction of multi-storey buildings]. *Arkhitektura i stroitel'nye nauki*, 2014. No. 1, 2 (18, 19). Pp. 36–38. (rus)
2. Chernilnik A.A., Yanovskaya A.V., Dotsenko N.A. Nekotorye aspekty povysheniya effektivnosti proizvodstva tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh izdeliy [Some aspects of increasing the efficiency of production of centrifuged concrete products]. *Molodoj issledovatel' Dona*, 2019. No. 6 (21). Pp. 97–99, available at: https://mid-journal.ru/upload/iblock/cec/21_CHernilnik_97_99.pdf (accessed: July 28, 2021). (rus)
3. Kazachek V.G., Lazovskiy D.N., Rak N.A., Tur V.V. Shagaya v nogu so vremenem [Keeping up with the times]. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*, 2014. No. 16. Pp. 111–113. (rus). URI: <https://rep.bntu.by/handle/data/34142>.
4. Knyazeva Yu.D., Krotova V.V., Gravit M.V. Povyshenie ognestoykosti konstruktsiy iz gazobetona [Increase of fire resistance of aerated concrete structures]. *Alfabuild*, 2018. No. 4 (6). Pp. 49–64. (rus)
5. Barnas A., Rinnhofer G. Entwicklung hochbewehrter Schleuderbetonstützen – Brandverhalten und Bemessungssoftware [Development of highly reinforced spun concrete columns – fire behavior and design software]. *Zement+Beton*, 2004. Pp. 16–21. (deu)
6. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn kol'tsevogo secheniya [Results of full-scale fire test of spun reinforced concrete columns of annular section]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4. No. 2. Pp. 142–159. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.
7. Nekhan' D.S., Kurachenko I.Yu., Olesiyuk N.M., Kreer L.A. Issledovaniya temperatury gazovoy sredy pri provedenii naturnykh ognevykh ispytaniy stroitel'nykh konstruktsiy [Temperature studies of the gaseous medium during full-scale fire tests of building constructions]. *Journal of Civil Protection*. 2020. Vol. 4, No. 2. Pp. 130–141. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.