



УДК 691.3
ГРНТИ 67.09.33

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОЕННЫХ АЭРОДРОМОВ

*А.А. ЛЕДЕНЕВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Н.С. ПЕРОВА, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.Н. ВНУКОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.Т. ПЕРЦЕВ, доктор технических наук, профессор
Воронежский государственный технический университет*

В статье представлены результаты исследований по разработке материалов со специальными свойствами, применяемых для строительства, реконструкции и восстановления объектов инфраструктуры военных аэродромов. Показано, что с целью повышения устойчивости зданий и сооружений при комбинированном огневом и ударно-волновом воздействии эффективным направлением является применение огнестойких двухслойных железобетонных конструкций, включающих несущий слой из высокопрочного бетона и огнезащитный термостойкий слой бетона. Расчетным методом установлено, что применение разработанных бетонов позволяет значительно повысить огнестойкость и устойчивость железобетонных конструкций.

Ключевые слова: военный аэродром, строительные материалы, здания и сооружения, термостойкий бетон, высокопрочный бетон, огнестойкость конструкций.

APPLICATION OF MATERIALS WITH SPECIAL PROPERTIES FOR CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND RESTORATION OF MILITARY AIRFIELDS INFRASTRUCTURE FACILITIES

*A.A. LEDENEV, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
N.S. PEROVA, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
A.N. VNUKOV, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
V.T. PERTSEV, Doctor of Technical sciences, Professor
Voronezh State Technical University*

The article presents the results of research on the development of materials with special properties used for the construction, reconstruction and restoration of military airfields infrastructure facilities. It is shown that it is effective to use heat-resistant two-layer reinforced concrete structures, including a load-bearing layer of high-strength concrete and a fire-resistant heat-resistant layer of concrete to increase the stability of buildings and structures under combined fire and shock-wave effects. It is established by the calculation method that the use of developed concretes can significantly increase the fire-resistance and stability of reinforced concrete structures.



Keywords: military airfield, building materials, buildings and facilities, heat-resistant concrete, high-strength concrete, fire-resistance of structures.

Введение. Разработка и применение строительных материалов, обладающих высокой прочностью, стойкостью к удару, жаро- и термостойкостью, а также материалов, обеспечивающих повышение защитных свойств зданий и сооружений, с учетом современных средств поражения и средств их доставки, является актуальным направлением решения проблемы обеспечения безопасности и живучести объектов инфраструктуры военных аэродромов. В данной статье представлены перспективы разработки и применения бетонов со специальными свойствами в огнестойких железобетонных конструкциях для строительства, реконструкции и восстановления зданий и сооружений военного назначения.

Актуальность. Современный постоянный военный аэродром включает комплекс зданий и сооружений различного функционального назначения: летное поле воздушных судов; здания и сооружения управления полетами; сооружения технического обслуживания и ремонта авиационной техники; сооружения в зоне рассредоточения самолетов; специальные защитные фортификационные сооружения и другие объекты [1–3]. Перспективным направлением развития аэродромной сети является разработка новых конструктивных решений зданий и сооружений служебно-технической застройки аэродромов, отвечающих требованиям по защите и обслуживанию воздушных судов, защите личного состава и хранения материальных средств. Кроме того, возникает потребность в реконструкции, ремонте и восстановлении ранее действующих военных аэродромов.

При высокотемпературном огневом или комбинированном ударно-волновом воздействии на конструкции зданий и сооружений, в том числе при пожаре, когда реализуются особые условия типа «удар-взрыв-пожар», происходит снижение прочности материалов, быстрая потеря несущей способности и обрушение (рисунок 1) [4–7].



а)



б)

Рисунок 1 – Потеря устойчивости конструкций зданий при огневом воздействии:
а) здание с железобетонными конструкциями; б) здание с металлическими конструкциями

В настоящее время для повышения огнестойкости и устойчивости зданий и сооружений применяются различные материалы и технические решения по огнезащите. Способы огнезащиты включают оштукатуривание и обетонирование конструкций, установку защитных облицовок и экранов, нанесение специальных составов путем набрызга и торкретирования, нанесение вспучивающихся покрытий [8, 9]. Недостатками применяемых огнезащитных материалов являются низкая адгезионная прочность к поверхности конструкций, возможность растрескивания и шелушения при высокотемпературном огневом воздействии, низкая термостойкость, низкие физико-механические характеристики.



Методология исследований. С целью реализации требований, предъявляемых к строительным конструкциям зданий и сооружений с повышенной устойчивостью при комбинированном огневом и ударно-волновом воздействии, предлагается применение двухслойных железобетонных огнестойких конструкций, структура которых характеризуется наличием несущего слоя из тяжелого высокопрочного бетона и огнезащитного слоя из бетона повышенной термостойкости [10, 11].

Поведение бетонов при высокотемпературном воздействии определяется комплексом негативных физических и химических процессов, приводящих к ухудшению свойств и разрушению конструкций. На возникновение отрицательных последствий оказывают влияние внешние факторы, такие как время воздействия и температура, агрессивность среды, природно-климатические и силовые условия, а также внутренние факторы – состав, структура, свойства и технология изготовления [7]. При этом стойкость бетонов к повышенным температурам и внешним механическим воздействиям определяется особенностями технологии их изготовления, состава, структуры и свойств.

Для решения задачи, направленной на получение высокопрочного и термостойкого бетонов, теоретической основой послужили ранее разработанные подходы по применению комплексных органоминеральных добавок (ОМД), наноструктурирующих добавок, а также термо- и жаростойких наполнителей, и заполнителей [12, 13]. Их применение позволяет направленно модифицировать структуру и дает возможность получить высококачественные бетоны различного назначения (рисунок 2).

При разработке состава бетона, обладающего повышенной термостойкостью, применяли жаро- и термостойкие компоненты, такие как гранулированный шлак, шунгит, асбест, вяжущим веществом являлся портландцемент. Основополагающим компонентом данного бетона являлся шунгит, который обеспечивает повышение термо- и огнестойкости конструкций за счет динамического изменения теплофизических характеристик с ростом температуры [10, 11].



Рисунок 2 – Виды бетонов, получаемых за счет применения органоминеральных и наноструктурирующих добавок

Получение тяжелого высокопрочного бетона, являющегося несущим слоем двухслойных железобетонных конструкций, основано на применении комплексных ОМД, которые представляют собой порошкообразные материалы, включающие тонкомолотый минеральный компонент и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Минеральным компонентом ОМД являлся



молотый кварцевый песок, в качестве ПАВ применяли суперпластифицирующие добавки по ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Применение ОМД, состоящих из нескольких компонентов различной природы и механизмов действия, каждый из которых несет свою специальную функцию, является эффективным способом модифицирования структуры цементного камня и получения высококачественных бетонов [12].

Результаты исследований. Составы бетонных смесей с применением вышеописанных сырьевых материалов были рассчитаны методами математического планирования эксперимента. Определены свойства бетона повышенной термостойкости и высокопрочного бетона. Сравнительные результаты испытаний разработанных бетонов и рядовых бетонов представлены в таблицах 1, 2.

Для бетона, выполняющего огнезащитную функцию в двухслойных конструкциях, установлено значительное увеличение термостойкости до 8 теплосмен при температуре 1100 °С (таблица 1). Особенностью поведения термостойкого бетона разработанного состава при воздействии высоких температур является снижение теплопроводности до 30 % с 0,26 до 0,19 Вт/м·°С, что обусловлено вспучиванием частиц шунгита и изменениями структуры бетона [10]. При огневом воздействии на строительные конструкции такое поведение слоя бетона, выполняющего огнезащитную функцию, будет способствовать замедлению их прогрева и повышению огнестойкости.

Таблица 1 – Физико-механические и теплофизические свойства термостойкого бетона, выполняющего огнезащитную функцию

Вид бетона	Свойства бетона				
	плотность, кг/м ³	прочность на сжатие, МПа	термостойкость при 1100 °С, теплосмены	теплопроводность при 20 °С, Вт/(м·°С)	теплопроводность при 1100 °С, Вт/(м·°С)
рядовой бетон (мелкозернистый)	1800	11,5	1	1,2	образец разрушился
разработанный состав термостойкого бетона	1450	12,8	8	0,26	0,19

В ходе испытаний тяжелых бетонов установлено, что применение ОМД позволяет повысить плотность и прочность по сравнению с бетоном рядового состава без добавок. Были получены высокопрочные бетоны прочностью 78,5 МПа (таблица 2). Полученные результаты обусловлены значительным водоредуцирующим эффектом ПАВ, а также формированием более плотной структуры цементного камня за счет минерального компонента комплексной ОМД.

Таблица 2 – Физико-механические свойства высокопрочного бетона, выполняющего несущую функцию

Вид бетона	Свойства бетона		
	плотность, кг/м ³	прочность на сжатие, МПа	класс бетона по прочности
рядовой бетон без добавок	2300	41,3	B30
разработанный состав тяжелого бетона с ОМД	2450	78,5	B60

На рисунке 3 представлены изображения микроструктуры цементного камня, полученные электронно-микроскопическим методом. Установлено, что при использовании комплексной ОМД микроструктура является более плотной и включает в себя кристаллические новообразования, заполняющие поровое пространство цементного камня (рисунок 3а). В свою



очередь в микроструктуре образцов цементного камня без добавок имеются зоны с повышенной пустотностью – темные области (рисунок 3б). Полученные данные позволили оценить взаимосвязь структурных характеристик цементного камня, модифицированного комплексными ОМД, с физико-механическими свойствами бетона.

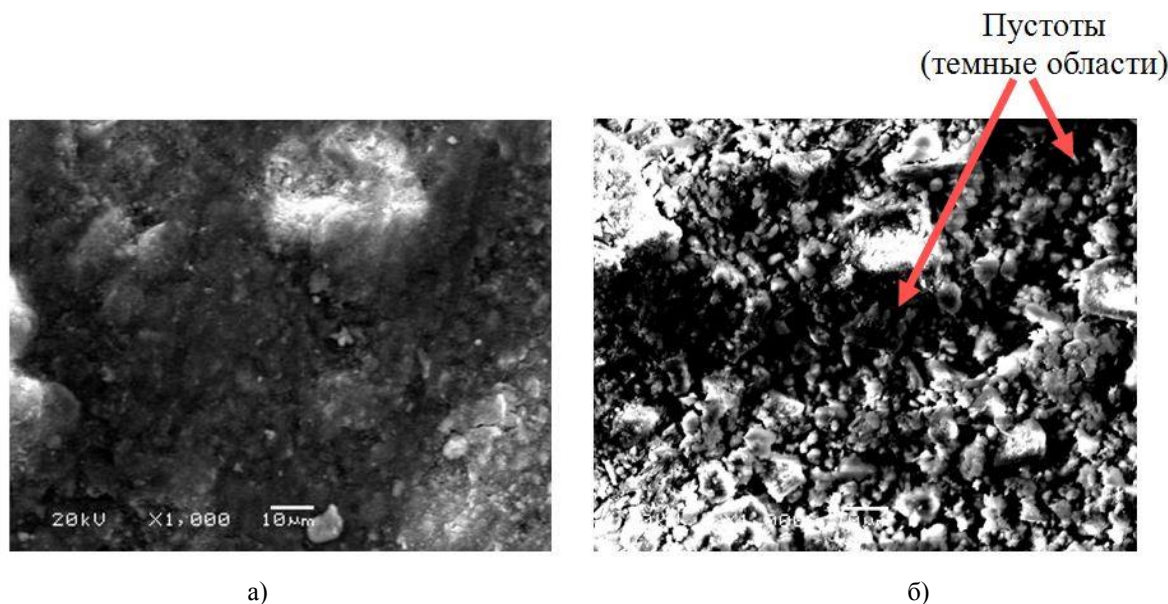


Рисунок 3 – Изображения микроструктуры цементного камня, полученные электронно-микроскопическим методом (увеличение $\times 1000$): а) цементный камень с ОМД; б) цементный камень без добавок

Применение бетона с высоким классом по прочности является одним из способов повышения несущей способности и огнестойкости железобетонных конструкций. На примере железобетонной колонны расчетным методом, изложенным в работе [14], установлено, что при увеличении класса бетона с В30 до В60 несущая способность конструкции значительно выше во все сроки огневого воздействия (рисунок 4).

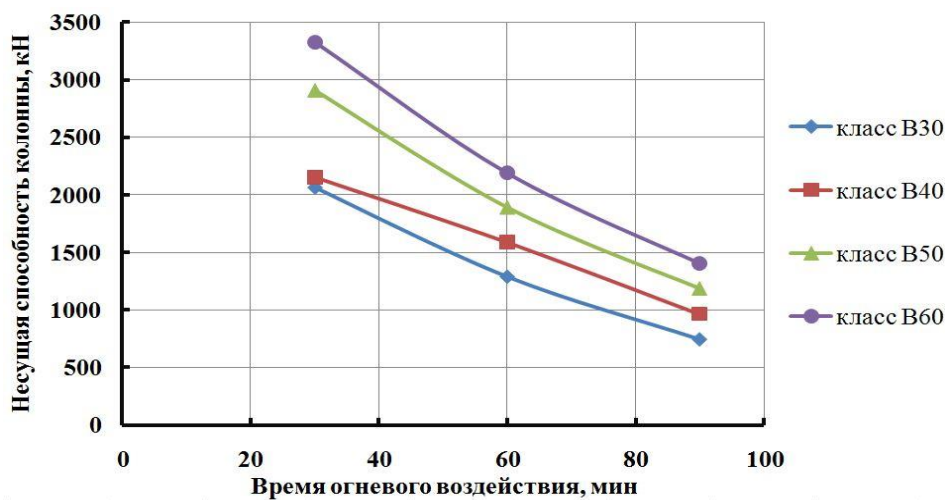


Рисунок 4 – Зависимость несущей способности колонны от времени огневого воздействия пожара и класса бетона по прочности

На основе разработанных составов высокопрочных и термостойких бетонов предложен способ формирования двухслойных железобетонных огнестойких конструкций, включающий послойную укладку и уплотнение слоев бетона. Данный способ формирования обеспечивает



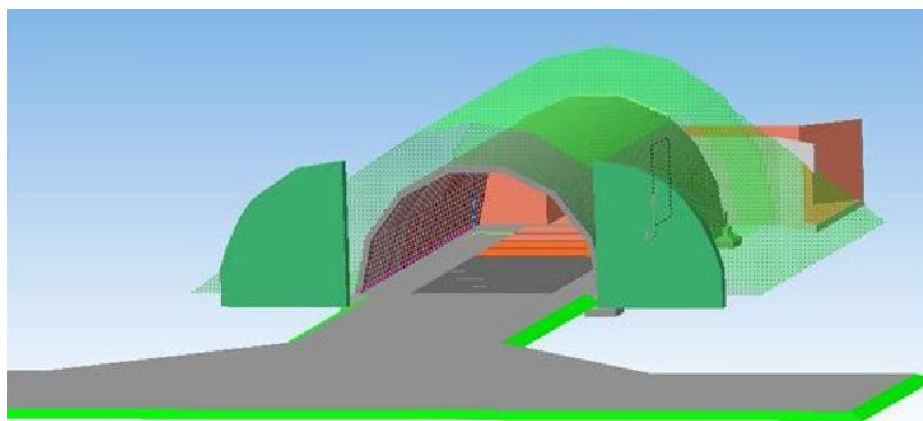
повышение адгезионной прочности термостойкого защитного покрытия к несущему слою из высокопрочного бетона, повышение трещиностойкости бетона и огнестойкости конструкций.

В ходе расчетов установлено, что при толщине защитного покрытия из термостойкого бетона до 30 мм предел огнестойкости двухслойных железобетонных конструкций увеличивается до R 200 (таблица 3).

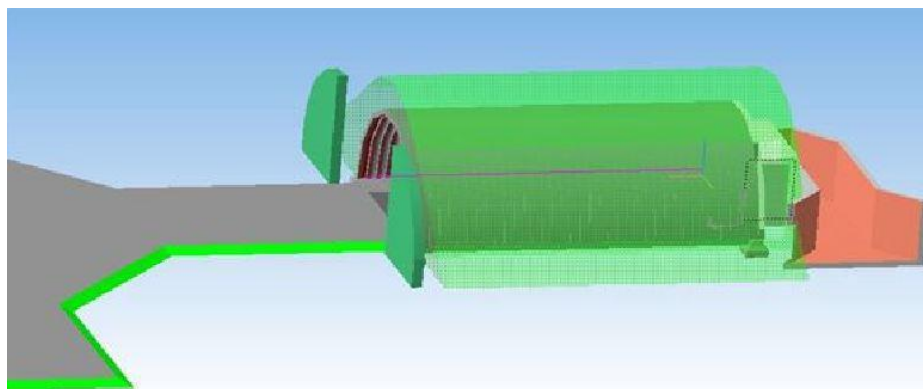
Таблица 3 – Пределы огнестойкости двухслойных железобетонных конструкций в зависимости от толщины защитного бетонного слоя повышенной термостойкости

Вид и характеристики конструкции	Толщина слоя термостойкого бетона, мм	Предел огнестойкости по потере несущей способности, R, мин
железобетонная колонна: - сечение 300×300 мм - высота 3600 мм - нормативная нагрузка 1500 кН	без огнезащитного слоя	R 64
	10	R 152
	20	R 176
	30	R 200

Практическое применение разработанных бетонов со специальными свойствами может быть осуществлено в виде изготовления огнестойких железобетонных конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по несущей способности и устойчивости при комбинированном огневом и ударно-волновом воздействии. В частности, для зданий и сооружений с повышенной взрывопожарной опасностью, для специальных защитных фортификационных сооружений (рисунок 5), для стартофинишных участков аэродромных покрытий и других объектов.



а)



б)

Рисунок 5 – Арочное защитное укрытие для самолетов с применением железобетонных конструкций:
а) вид спереди; б) вид сбоку



Выводы. Представленные результаты исследований показали возможность эффективного применения бетонов со специальными свойствами – термостойких и высокопрочных бетонов для строительства, реконструкции и восстановления объектов инфраструктуры военных аэродромов. Установлено, что применение разработанных составов для железобетонных конструкций, включающих несущий слой из высокопрочного бетона и огнезащитный термостойкий слой бетона, позволит значительно повысить огнестойкость и обеспечить повышенную несущую способность зданий и сооружений при высокотемпературном огневом и комбинированном ударно-волновом воздействии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэродромные покрытия. Современный взгляд / В.А. Кульчицкий и др. М.: Физико-математическая литература, 2002. 528 с.
2. Технология строительства арочных защитных укрытий для самолетов: учебное пособие / А.Н. Попов и др. Воронеж: ВВАИИ, 2004. 42 с.
3. Левыкин В.И. Фортификация: прошлое и современность. М.: Воениздат, 1987. 159 с.
4. Огнестойкость зданий / Бушев В.П. и др. М.: Стройиздат, 1970. 261 с.
5. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. 496 с.
6. Приступок Д.Н. Огнестойкость зданий из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013. 21 с.
7. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учеб. / В.Н. Демехин и др. М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. 656 с.
8. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 320 с.
9. Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф. Огнезащита строительных конструкций / под ред. Ю.А. Кошмарова. М.: ТИМР. 2000. 433 с.
10. Перцев В.Т., Загоруйко Т.В., Леденев А.А. Бетон повышенной термостойкости для огнестойких железобетонных изделий: Монография. Воронеж: ВГТУ, 2017. 102 с.
11. Исследование и разработка термостойких бетонов для повышения огнестойкости строительных конструкций зданий и сооружений военного назначения / А.А. Леденев и др. // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6. С. 198–206.
12. Перцев В.Т., Леденев А.А. Разработка эффективных комплексных органоминеральных добавок для регулирования реологических свойств бетонных смесей: Монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. 136 с.
13. Влияние наноструктурирующих компонентов на характеристики цементного камня и свойства высокопрочных и термостойких бетонов / В.Т. Перцев и др. // Журнал «Известия КГАСУ». 2019. № 3 (49). С. 163–171.
14. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.

REFERENCES

1. A`erodromnye pokrytiya. Sovremennyj vzglyad / V.A. Kul'chickij i dr. M.: Fiziko-matematicheskaya literatura, 2002. 528 p.
2. Tehnologiya stroitel'stva arochnyh zaschitnyh ukrytij dlya samoletov: uchebnoe posobie / A.N. Popov i dr. Voronezh: VVAII, 2004. 42 p.
3. Levykin V.I. Fortifikaciya: proshloe i sovremennost'. M.: Voenizdat, 1987. 159 p.
4. Ognestojkost' zdaniy / Bushev V.P. i dr. M.: Strojizdat, 1970. 261 p.



5. Mosalkov I.L., Plyusnina G.F., Frolov A.Yu. Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij. M.: ZAO «СПЕКТЕРНИКА», 2001. 496 p.
6. Pristupyuk D.N. Ognestojkost' zdaniy iz zhelezobetonnyh konstrukcij pri kombinirovannyh osobyh vozdeystviyah s uchastiem pozhara: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Moskva, 2013. 21 p.
7. Zdaniya, sooruzheniya i ih ustojchivost' pri pozhare: ucheb. / V.N. Demehin i dr. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2003. 656 p.
8. Romanenkov I.G., Levites F.A. Ognezashchita stroitel'nyh konstrukcij. M.: Strojizdat, 1991. 320 p.
9. Strahov V.L., Krutov A.M., Davydkin N.F. Ognezashchita stroitel'nyh konstrukcij / pod red. Yu.A. Koshmarova. M.: TIMR. 2000. 433 p.
10. Percev V.T., Zagorujko T.V., Ledenev A.A. Beton povyshennoj termostojkosti dlya ognestojkih zhelezobetonnyh izdelij: Monografiya. Voronezh: VGTU, 2017. 102 p.
11. Issledovanie i razrabotka termostojkih betonov dlya povysheniya ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij voennogo naznacheniya / A.A. Ledenev i dr. // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2018. № 6. pp. 198–206.
12. Percev V.T., Ledenev A.A. Razrabotka `effektivnyh kompleksnyh organomineral'nyh dobavok dlya regulirovaniya reologicheskikh svojstv betonnyh smesey: Monografiya. Voronezh: Voronezhskij GASU, 2012. 136 p.
13. Vliyanie nanostrukturiruyuschih komponentov na harakteristiki cementnogo kamnya i svojstva vysokoprochnykh i termostojkih betonov / V.T. Percev i dr. // Zhurnal «Izvestiya KGASU». 2019. № 3 (49). pp. 163–171.
14. Rojzman V.M. Inzhenernye resheniya po ocenke ognestojkosti proektiruemyh i rekonstruiruemyh zdaniy. M.: Associaciya «Pozharnaya bezopasnost' i nauka», 2001. 382 p.

© Леденев А.А., Перова Н.С., Внуков А.Н., Перцев В.Т., 2020

Леденев Андрей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ledenoff@mail.ru.

Перова Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ktojbk@mail.ru.

Внуков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vnukov.aleksei@mail.ru.

Перцев Виктор Тихонович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный технический университет, Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14, учебный корпус №1, perec_v@mail.ru.