

УДК 551.4.012:624.04:614.841.34

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕСОХРАННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ

Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Яшеня Д.Н., Бардушко С.Н.

Изучены способы и средства обеспечения огнестойкости строительных конструкций учебно-тренажерных комплексов для подготовки спасателей пожарных. Исходя из теплофизических свойств материалов, их доступности и стоимости в Республике Беларусь определены средства огнезащиты от многократного высокотемпературного воздействия (до 1200 °С). Разработана методика испытаний системы огнезащиты, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытуемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: огнестойкость; многократное высокотемпературное воздействие; средства огнезащиты; система огнезащиты, огнеупорные керамические материалы; термическая стойкость; методика испытаний.

(Поступила в редакцию 27 июня 2016 г.)

Введение. Практика свидетельствует, что успех тушения пожаров прямо связан с уровнем подготовки личного состава к ведению боевых действий. В исследованиях отечественных и зарубежных специалистов показано [1, 2], что попытки сформировать результативную и надежную практическую деятельность (от спасателя-пожарного до РТП) путем упрощения (физического и психологического) и схематизации комплексной ситуации, которой является процесс тушения, не могут быть успешными и *всегда приводят к низким результатам*. Принцип реалистичности условий – основополагающий, но он должен всегда дополняться принципом функциональной (смысловой) аналогии деятельности, где предполагается создавать такие упражнения, при которых обучаемый будет руководствоваться теми же целями и мотивами, ориентироваться в том же потоке сигналов среды, которые ведут его и на реальном пожаре. Конечно, идеальным полигоном обучения является реальная боевая деятельность, однако там обучаемый «лишен права на ошибку», чего при освоении действий избежать нельзя, а сам процесс усвоения плохо управляем, так как возникающая ситуация пожара уникальна, и не может быть переиграна.

Следовательно средства обучения процессу тушения пожара в здании должны максимально полно физически и психологически соответствовать реальному пожару и обстановке складывающейся при этом, предоставляя одновременно высокий (лучше полный) контроль и управление условиями обучения. Очевидны и пути их создания. Это должно быть здание, в нем должна быть реализована возможность многократно создавать реальный пожар, планировка и условия пожара должны меняться, здание должно выдерживать последствия огневого воздействия, люди в здании должны быть под постоянным контролем и иметь возможность выжить при любых аварийных ситуациях.

Создание такого средства – ключ к эффективному обучению спасателей-пожарных.

В Республике Беларусь в целях реализации данной задачи министерством по чрезвычайным ситуациям запланировано строительство «Учебно-тренировочного комплекса по моделированию пожаров в помещениях жилого, культурно-зрелищного и производственного назначения» на оперативном-тактическом полигоне государственного учреждения образования «Институт переподготовки и повышения квалификации» МЧС Республики Беларусь. Авторским коллективом института разработаны техническое задание и специальные технические условия на проектирование. Проектирование ведет РУП «Институт Белгоспроект».

Состояние проблемы. Практика подготовки спасателей-пожарных в странах Европы, США основана на широком использовании тренажеров, моделирующих реальные условия тушения пожаров. Такие тренажеры успешно эксплуатируются с 1965 года. Характерным примером являются колледж пожарной службы Великобритании в г. Моретон-ин-марш, колледж пожарной службы Финляндии в г. Куопиа. Только в США функционирует более 300 подобных тренажеров, построенных различными производителями. Например: компания «Werner-Herbison-Padgett Trainingtowers» [3] или компания «Fire Facilities, Inc.»

(США) [4]. Общей особенностью указанных тренажеров является исполнение их в виде фрагментов зданий различного назначения, обеспеченных защитой от многократного огневого воздействия, в которых создается горение, выдерживается температурный режим, соответствующий реальному пожару, решен вопрос индивидуальной безопасности обучаемых.

Наиболее проблемным вопросом при создании таких объектов является обеспечение огнесохранности конструкций здания. Она должна осуществляться от многократного высокотемпературного воздействия огня (до 1200 °С), при этом средство защиты должно быть устойчиво к разрушению от многократных термических ударов (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) и иметь достаточно высокую прочность (не менее 50 МПа). При таких условиях в конструкциях из обычного монолитного бетона образуются трещины, происходит разрушение защитного слоя и обнажение арматуры, которая под действием высоких температур начинает деформироваться. Предел огнестойкости металлических конструкций без огнезащиты в условиях «стандартного пожара» не превышает 15 минут.

В настоящее время «стандартная» огнезащита строительных конструкций основывается на однократном ее применении в условиях пожара, после чего ее необходимо восстанавливать. В связи с этим применение даже самых современных средств огнезащиты в данных условиях невозможно.

Анализ показателей свойств жаростойких (огнеупорных) бетонов показывает, что их огнеупорность достигает 1800 °С, а термическая стойкость (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) всего 25-30 теплосмен [5]. При этом применение жаростойкого бетона для возведения основных строительных конструкций здания является достаточно затратным (стоимость 1 м³ жаростойкого бетона от 220 долларов США для температуры 300 °С до 5100 долларов США для температуры 1700 °С), а применение его в качестве защитного слоя значительно утяжеляет конструкцию и связано со сложностью и большой трудоемкостью работ по восстановлению и ремонту. При этом невозможно проведение ремонтных работ при отрицательных температурах.

Пути решения проблемы. Изучение аналогичных объектов [3,4] в других странах мира показывает, что для решения данной задачи применяются конструктивные методы огнезащиты и, в частности, композиции из теплоизоляционного и защитного слоев. В качестве теплоизоляционного слоя используются негорючие теплоизоляционные материалы, а в качестве защитного – металл или огнеупорные керамические материалы. Металлические листы имеют достаточную механическую прочность, но при этом недолговечны, требуется большое количество времени на техническое обслуживание и ремонт системы. При использовании огнеупорных керамических плит, система быстро и легко обслуживается и ремонтируется. Исходя из этого, в мировой практике существует тенденция использовать в качестве защитного слоя огнеупорные керамические материалы.

Огнеупорные керамические материалы выдерживают температуры выше 1580 °С [6] при этом термостойкость (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) в зависимости от вида керамики достигает более 80 теплосмен. Системы огнезащиты на основе огнеупорных керамических материалов, не только обеспечивают защиту от термических воздействий, но также имеют достаточно продолжительный срок службы – 20-30 лет, быстро и легко обслуживаются и ремонтируются, в т. ч. и при отрицательных температурах.

В зависимости от огнеупорности керамические материалы классифицируются на тугоплавкие (огнеупорность 1380–1580 °С), огнеупорные (огнеупорность более 1580–1770 °С), высокоогнеупорные (1770–2000 °С) и высшей огнеупорности (>2000 °С) (рисунок 1).

Состав огнеупоров может быть самым разным в зависимости от условий эксплуатации. По химико-минеральному составу выделяют следующие типы: кремнеземистые, алюмосиликатные, глиноземистые, магниевые, магниевые-шпинелидные, хромистые, цирконистые, углеродистые, карбидокремниевые [7, 8, 9].

Огнеупорные изделия могут быть формованными и неформованными.

К неформованным огнеупорным материалам относят огнеупорные порошки, цементы, массы, мертели. Они используются после затворения с водой или другой жидкостью. Огнеупорные массы спекаются и упрочняются в процессе эксплуатации [8, 10].

К формованным огнеупорам относят кирпичи прямые и клиновые нормальных размеров; фасонные изделия простые, сложные, особо сложные и крупноблочные; специальные промышленные и лабораторные огнеупорные изделия.



Рисунок 1 – Классификация керамических материалов по огнеупорности

Основными свойствами огнеупоров являются огнеупорность, термическая стойкость, химическая стойкость, деформация под нагрузкой при высокой температуре и постоянство формы и объема, пористость, газопроницаемость, теплопроводность, электропроводность.

Керамические термостойкие материалы. Наиболее перспективными для получения термостойких материалов являются кордиеритовая, муллито-кордиеритовая, сподуменовая, тиалитовая керамика, а также керамика на основе фосфатов.



Рисунок 2 – Термостойкая керамика

Наибольший интерес для применения в качестве средств огнезащиты конструкций комплекса представляют кордиеритсодержащая керамика и керамика на основе фосфатов по причине доступности и низкой стоимости сырья.

Кордиеритсодержащая керамика характеризуется малыми значениями температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР, $\alpha = (0,8 - 3,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ в интервале температур (20–1200) °C), а также линейным характером термического расширения, что является принципиальными факторами, обеспечивающими ее устойчивость к термическому удару. Кроме того, электроизоляционные свойства, высокая химическая устойчивость, доступность сырьевых материалов определяют обширный диапазон применения материалов на основе кордиерита – магнезиевого алюмосиликата со стехиометрической формулой

$2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ [11, 12]. Для повышения механической прочности и термостойкости в состав кордиеритовой керамики могут быть введены различные активирующие добавки.

Особую группу среди огнеупорных материалов занимает *керамика на основе фосфатных связующих*. Ее характерной особенностью является способность образовывать достаточно прочные структуры при относительно невысоких температурах (до 550 – 600 °С) и сохранять прочностные характеристики при нагреве до высоких температур (более 1500 – 1700 °С). Кроме того, керамика на основе фосфатов отличается достаточно высокой термостойкостью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред (солей, расплавов, стекла и др.).

Анализ отечественных и российских огнеупорных керамических материалов показал, что они разрабатываются для условий эксплуатации высоких температур (до 2000 °С) и достаточно «мягкого» длительного охлаждения, и не учитывается последующее быстрое охлаждение (термический удар) компактной или распыленной струей воды или сжиженным оксидом углерода. Стоимость огнеупорных материалов в Республике Беларусь, в связи с отсутствием промышленного производства, составляет от 350 долларов США за 1 м³ шамотного кирпича марки ША российского и украинского производства огнеупорностью 1400 °С и термостойкостью (нагрев до 1200 °С - охлаждение водой) 10 теплосмен до 18000 долларов США за 1 м³ огнеупорной термостойкой плитки «Андалузит А60» производства Польша огнеупорностью 1600 °С и термостойкостью более 70 теплосмен.

В связи с этим, актуальна работа по разработке новых огнеупорных керамических материалов из минерального сырья, имеющегося в Республики Беларусь, и вторичных ресурсов для использования в системе огнезащиты строительных конструкций от многократного воздействия опасных факторов пожара (пламя, высокая температура), а также методики оценки огнезащитных функций системы.

Нами проведены исследования по получению термостойких материалов на основе муллито-кордиеритовой матрицы при использовании для повышения физико-механических характеристик добавок циркона, корунда, периклазохромита, карбида кремния, диоксида циркония, муллита. В качестве муллита и диоксида циркония применены промышленные отходы огнеупорных тиглей, применяемых при плавлении цветных металлов. Образцы испытывались на прочность при сжатии по ГОСТ 473.6-81, плотность определялась по ГОСТ 2409-85. Термическая стойкость исследовалась лабораторным способом, заключающимся в определении количества теплосмен (нагревания до 800 °С и последующего охлаждения в проточной воде), которые могут выдержать образцы до разрушения. Установлено, что при введении данных цирконий- и муллитосодержащих компонентов в состав массы для получения муллито-кордиеритовой керамики удается достигнуть повышения механической прочности материала в 2-3 раза, при этом ТКЛР при 800 °С составляет $(3,5-4,5)\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. При использовании для повышения физико-механических характеристик добавок муллито-кремнеземистого волокна (МКВ), удается достигнуть повышения механической прочности материала в 1,2-1,8 раза, при этом ТКЛР при 800 °С составляет $(4,1-5,0)\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и мало изменяется при увеличении содержания МКВ и температуры обжига. Также проведены исследования по получению термостойкой керамики на основе огнеупорного наполнителя (шамот, глинозем, муллит) и фосфатов алюминия с добавками активных соединений. Результаты испытаний разработанных материалов представлены в таблице 1.

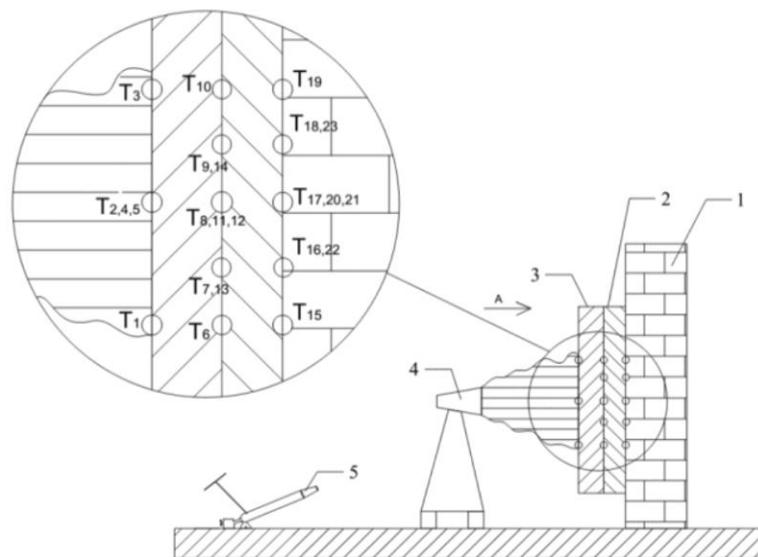
Результаты лабораторных испытаний показывают, что изготовленные образцы имеют достаточно высокую термическую стойкость. Однако приведенные методы испытаний не могут в полной мере учитывать специфику поведения системы огнезащиты в реальных условиях эксплуатации, чтобы прогнозировать ее долгосрочную устойчивость при многократном воздействии опасных факторов пожара.

Для решения этой задачи авторским коллективом (ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь и УО «Белорусский государственный технологический университет») разработана методика, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытываемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации. Суть методики испытаний заключается в определении количества теплосмен, которое способно выдержать огнезащитное термостойкое покрытие до потери целостности, а также температуры на не обогреваемой поверхности системы огнезащиты за определенный период времени температурного воздействия.

Таблица 1 – Результаты испытания огнеупорных термостойких материалов

Наполнитель	Показатели характеристик		
	плотность, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	термостойкость, циклов 800 °С – вода
Кордиерито-муллит без наполнителя	1950–1980	30–40	50
Кордиерито-муллит с муллитсодержащими отходами	2100–2110	95–100	более 80
Кордиерито-муллит с цирконийсодержащими отходами	2600–2650	110–130	более 80
Кордиерито-муллит с муллито-кремнеземистым волокном	2300–2350	80–90	более 80
Кордиерито-муллит с карбидом кремния	2020–2080	55–60	более 80
Материал на фосфатном связующем	1750–1800	25–30	более 60

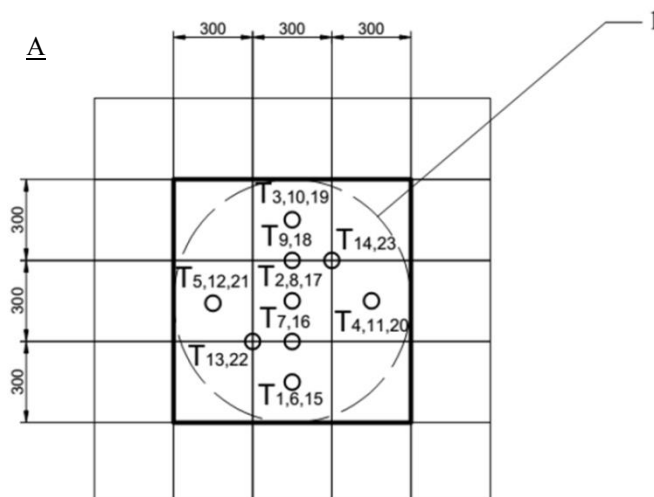
Схема монтажа испытываемого образца системы огнезащиты, а также оборудования, используемого при испытаниях, показана на рисунках 3 и 4.



T1-T23 – термопары; 1 – конструкция для монтажа испытываемого образца; 2 – теплоизоляционное покрытие (слой) системы огнезащиты; 3 – огнезащитное термостойкое покрытие (слой) системы огнезащиты; 4 – газовая горелка, 5 – ствол пожарный

Рисунок 3 – Схема установки для проведения испытания

Образец испытывается при огневом воздействии со стороны, обращенной при эксплуатации к помещению, который крепится к строительной конструкции в соответствии с рисунком 3. Огневое воздействие на испытываемый образец системы обеспечивается при помощи газовой горелки. Для измерения температур обогреваемой и необогреваемой поверхностей, а также внутри испытываемого образца применяются термоэлектрические преобразователи (термопары). Один цикл испытания включает в себя: нагрев поверхности образца до 1200 °С, выдержка образца при данной температуре в течение заданного интервала времени, охлаждение образца до температуры окружающей среды. По истечении времени прогрева огневое воздействие прекращается и на поверхность образца подается струя воды, создающая на поверхности испытываемого образца давление 5×10^5 Па. Воздействие огнегасящих веществ на испытываемый образец обеспечивается при помощи ствола пожарного лафетного типа СЛК-П20.



T1-T23 – термопары; 1 – «пятно» огневого воздействия
Рисунок 4 – Схема размещения термопар на испытываемом образце

В процессе испытания фиксируется: потеря целостности огнезащитного термостойкого покрытия (сквозные трещины, полное разрушение); показания термопар на всех стадиях нагрева и охлаждения на обогреваемой и необогреваемой поверхностях, а также внутри образца.

Огнезащитная эффективность системы огнезащиты по результатам огневых испытаний характеризуется двумя показателями: термической стойкостью и теплоизолирующей способностью. Термическая стойкость определяется количеством теплосмен, которые выдерживает огнезащитное термостойкое покрытие до потери целостности. Теплоизолирующая способность определяется минимальным временем (общая продолжительность и время последнего нагрева) достижения температуры на не обогреваемой поверхности выше 50°C.

Заключение. Проведен анализ средств защиты строительных конструкций от многократного высокотемпературного воздействия огня (до 1200 °C). Показано, что наиболее эффективным средством для огнезащиты являются огнеупорные керамические материалы с высокой термической стойкостью. Исходя из теплофизических свойств керамики, доступности и стоимости сырья в Республике Беларусь для изготовления защитных элементов, трудоемкости по обслуживанию и ремонту огнезащиты целесообразно использование кордиеритсодержащей керамики и алюмосиликатной керамики на фосфатном связующем.

Исследования воздействия добавок циркона, корунда, периклазохромида, карбида кремния, диоксида циркония, муллита на физико-механические характеристики термостойких материалов на основе муллито-кордиеритовой матрицы позволили установить, что:

при введении цирконий- и муллитосодержащих компонентов в состав массы муллито-кордиеритовой керамики повышается механическая прочность материала в 2-3 раза, ТКЛР при 800 °C составляет $(3,5-4,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

при использовании добавок МКВ, механическая прочность материала повышается в 1,2-1,8 раза, при этом ТКЛР при 800 °C составляет $(4,1-5,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и мало изменяется при увеличении содержания МКВ и температуры обжига.

Разработана методика испытаний системы огнезащиты строительных конструкций, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытываемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев-Смык, Л.А. Психология стресса / Л.А. Китаев-Смык. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
2. Бодров, В.А., Орлов, В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В.А. Бодров, В.Я. Орлов. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. – 288 с.
3. Home – WHP Trainingtowers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trainingtowers.com>, свободный – Дата доступа: 09.11.2015.
4. Live Fire Training Towers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.firefacilities.com>, свободный – Дата доступа: 09.11.2015.

5. Смесь для изготовления жаростойкого бетона: пат. 2330825 РФ, МПК С 04 В 28/26, С 04 В 35/66 / Т.Б. Джакаевич, З.А. Мантуров, А.Б. Тотурбиев, А.А. Порсуков, М.А. Алхасов; заявитель Дагестанский гос. техн. ун-т. – № 2007100320/03; заявл. 09.01.07; опубл. 10.08.08 // Афіцыйны бюл. / Фед. служба по интеллектуал. собств., пат. и тов. знакам – 2008. – № 22. – С. 174.
6. Мониторинг применения огнеупорных материалов на предприятиях Республики Беларусь/ Волочко А.Т. [и др.] // Литье и металлургия. – 2011. – № 4. – С. 53–59.
7. Огнеупоры. Классификация: ГОСТ 28874-2004. – Введ. 01.01.2006 – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: межгос. технический комитет по стандартизации МТК 9 «Огнеупоры», 2004. – 20 с.
8. Хорошавин, Л.Б. Магнезиальные огнеупоры. Справочник, т.2 / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Кононов. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. – 576 с.
9. Электротермические процессы и установки: учебное пособие по теоретическому курсу / А.И. Алферов [и др.]. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. – 360 с.
10. Кашцев, И.Д. Служба огнеупоров. Кн. 2. Справочник / И.Д. Кашцев, Е.Е. Грищенко. – Москва: Интермет инжиниринг, 2002. – 662 с.
11. Балкевич, В.Л. Техническая керамика: учеб. для студентов вузов / В.Л. Балкевич – 2-е изд. – Москва: Стройиздат, 1984. – 254 с.
12. Авакумов, Г.Н. Кордиерит – перспективный керамический материал / Г.Н. Авакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.

SOFTWARE DESIGN FIRE PRESERING TRAINING AND FITNESS COMPLEX FOR TRAINING OF RESCUERS AND FIRE

Alexander Volochko, Doctor of Technical Sciences, Professor

State Scientific Institution «Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

Kirill Podbolotov, Candidate of Technical Sciences

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Dmitriy Yashenia, Master of Engineering

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus », Minsk, Belarus

Sergey Bardushko

Branch of University of Civil Protection «The Institute for Retraining and Professional Development», Minsk region, Borisov district, Svetlaya Roshcha settlement, Belarus

Purpose. The research is dedicated to substantiation of the choice of ways and means to protect building structures of educational and training systems for training rescuers and firefighters from repeated exposure to high temperature (1200 °C), as well as the development of testing methods of fire protection structures of these objects.

Methods. The analysis of the operation of educational and training systems for training rescuers and firefighters in Europe and the USA. The analysis of thermal properties of materials with high fire resistance and thermal stability.

Findings. The results of the analysis show that the most effective means of fire protection of structures from the effects of repeated high temperature are refractory ceramic materials having high thermal resistance.

Application field of research. The results can be used in the design of fire protection structures of educational and training systems for the training of fire rescue, as well as objects with a high level of responsibility (tunnels, high-rise buildings).

Conclusions. Protection of constructions of educational and training complexes for the preparation of fire-and rescue workers from repeated high temperature exposure may be achieved through structural fire protection with the use of refractory ceramic materials.

Keywords: fire reliability; multiple high-temperature exposure, fire protection equipment; fire protection system, fire-resistant ceramic materials; thermal stability; test method.

(The date of submitting: June 27, 2016)

REFERENCES

1. Kitayev-Smyk L.A. *Psichologiya stressa* [Stress psychology]. Moscow: Science, 1983. 368 p. (rus)
2. Bodrov V.A., Orlov V.Ya. *Psichologiya i nadyognost: chelovek v sistemakh upravleniya tekhnikoy* [Psychology and reliability: people in machine control systems]. Moscow: Russian Academy of Sciences Institute of Psychology, 1998. 288 p. (rus)
3. *Home – WHP Trainingtowers*, available at: <http://www.trainingtowers.com> (accessed: 09.11.2015).
4. *Live Fire Training Towers*, available at: <http://www.firefacilities.com> (accessed: 09.11.2015).
5. Dgakayevich T.B., Manturov Z.A., Toturbiyev A.B., Porsukov A.A., Alhasov M.A. *Smes` dlya izgotovleniya zharostoykogo betona* [The mixture for the production of heat-resistant concrete]. Patent RF, no. 2330825, 2008. (rus)
6. Volochko A.T., Shipko A.A., Dzyomin M.I., Budzinskaya A.V. Monitoring primeneniya ogneupornykh materialov na predpriyatiyah Respubliki Belarus` [Monitoring the use of refractory materials enterprises in the Republic of Belarus]. *Lit`yo i metallurgiya*. 2011. No. 4 (63). Pp. 53–59. (rus)
7. *Interstate Standart 28874-2004. Refractories. Classification. Affirmed 01.01.2006*. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification: Interstate Technical Committee for Standardization ITC 9 «Refractory», 2004. 20 p. (rus)
8. Khoroshavin L.B., Perepelictyn V.A., Kononov V.A. *Magnezial`nyye ogneupory. Spravochnik*, vol. 2 [Magnesia refractories. Directory, V.2]. Moscow: Intermet Inginiring, 2001. 576 p. (rus)

9. Alfyorov A.I. *Elektrotermicheskiye protsessy i ustanovki* [Electrothermal processes and installations]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2007. 360 p. (rus)
10. Kascheyev I.D., Grishenkova E.E. *Slugba огнеупоров. Книга 2. Spravochnik* [Service refractories. Book 2. Directory]. Moscow: Internet Inginiring, 2002. 662 p. (rus)
11. Balkevich V.L. *Tekhnicheskaya keramika* [Technical ceramics]. 2 edition. Moscow: Stroyizdat, 1984. 254 p. (rus)
12. Avakumov G.N., Gusev A.A. *Kordierit – perspektivniy keramicheskiy material* [Cordierite – promising ceramic material]. Novosibirsk: Nauka, 1999. 167 p. (rus)