

УДК 614:84

ekaterinagolovina@yandex.ru

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ
ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА**

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN MEANS OF FIRE
PROTECTION OF STEEL STRUCTURES FOR OIL AND GAS INDUSTRY
FACILITIES IN THE ARCTIC REGION**

*Головина Е. В., кандидат технических наук,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Golovina E.,
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

В статье представлен обзор современных средств огнезащиты стальных конструкций для объектов нефтегазовой отрасли в условиях арктического климата. Рассмотрены климатические особенности Арктической зоны, влияющие на выбор способа огнезащиты. Выделены требования к огнезащитным материалам, применяемым на объектах нефтегазового комплекса в условиях Арктического региона. Даны характеристики основным видам современных средств огнезащиты, определены их основные преимущества и недостатки. Выделены критерии для определения вида огнезащиты. Сделан вывод об эффективности огнезащитных составов интумесцентного типа на основе эпоксидных смол для применения на промышленных предприятиях, расположенных в Арктическом регионе. Проведен сравнительный анализ эпоксидных терморасширяющихся составов, и сделан вывод о более высоких технических и огнезащитных характеристиках огнезащитных материалов импортного производства.

Ключевые слова: средства огнезащиты, объекты нефтегазовой отрасли, Арктическая зона, конструктивная огнезащита, огнезащитные составы интумесцентного типа.

The article presents an overview of modern means of fire protection of steel structures for oil and gas industry facilities in the Arctic climate. The climatic features of the Arctic zone affecting the choice of fire protection method are considered. The requirements for flame-retardant materials used at oil and gas facilities in the Arctic region are highlighted. The characteristics of the main types of modern means of fire protection are given, their main advantages and disadvantages are determined. The criteria for determining the type of fire protection are highlighted. The conclusion is made about the effectiveness of intumescent flame retardants based on epoxy resins for use in industrial enterprises located in the Arctic region. A comparative analysis of epoxy thermally expanding compositions was carried out and a conclusion was made about the higher technical and fire-resistant characteristics of imported fire-protective materials.

Keywords: fire protection equipment, oil and gas industry facilities, Arctic zone, structural fire protection, intumescent flame retardants.

В настоящее время все больший научный и практический интерес вызывают районы Арктической зоны, поскольку содержат колоссальное количество

ство неразработанных энергоресурсов, таких как нефть и газ [1]. При этом добыча природных ресурсов в Арктике крайне сложна и опасна: в условиях сурового климата вероятность аварийных ситуаций возрастает. Поэтому вопросы обеспечения пожаровзрывобезопасности данных предприятий требуют особого внимания, т. к. находящиеся на объектах нефтегазовой промышленности продукты повышенной горючести и взрывоопасности в случае воспламенения могут послужить причиной углеводородного пожара, сопровождающегося резким скачком температуры и образованием избыточного давления. Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса может привести к значительным разрушениям и к гибели людей.

Также необходимо учитывать специфические условия эксплуатации данных объектов, которые существенно отличаются от условий эксплуатации аналогичных объектов в других климатических зонах. Определяющими внешними факторами для промышленных предприятий, расположенных в арктических районах, являются длительный сезон с отрицательными среднесуточными температурами, влажность атмосферы воздуха арктических районов, что сказывается на коррозионной стойкости применяемых огнезащитных материалов, а также агрессивное воздействие морской воды, которое ухудшает физико-механические свойства защищаемых стальных конструкций [2].

Таким образом, выбор определенного способа огнезащиты должен опираться на указанные факторы. С учетом

климата арктических районов, огнезащитные средства должны соответствовать следующим требованиям [3; 4]:

- возможность нанесения при отрицательных температурах и в условиях повышенной влажности;
- работоспособность и сохранение характеристик прочности при температурах от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- работоспособность при колебании температур от минусовых до плюсовых;
- атмосферостойкость;
- повышенные износостойкость, хорошая адгезия материалов при взаимодействии с осадками.

На данный момент существует несколько сотен различных средств и методов для огнезащиты металлических конструкций. К ним относятся облицовки бетоном, кирпичом, штукатурки, панельные и плиточные материалы, огнезащитные краски, изоляционные материалы и их комбинации. Каждый огнезащитный материал имеет технические свойства, применение и эксплуатационные характеристики [5–7]. Эти факторы в большей степени определяют области применения материалов, не препятствуя соблюдению нормативных требований, а также, принимая во внимание стоимость работ по противопожарной защите, и другие различные требования в исследуемой области.

С учетом современных разработок в области противопожарной защиты средства пассивной огнезащиты несущих металлоконструкций можно представить в виде общей схемы (см. рис.).



Рисунок. Виды огнезащиты металлических конструкций

Согласно [5] огнезащитные материалы для металлических конструкций подразделяются на конструктивную огнезащиту (толстослойные напыляемые составы, штукатурки, облицовки плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, в том числе на каркасе, с воздушными прослойками, а также комбинации данных материалов, в том числе с тонкослойными вспучивающимися покрытиями) и интуесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные покрытия. Рассмотрим их подробнее.

Обетонирование. Практика показывает, что в отечественном строительстве часто встречается огнезащита металлических конструкций с помощью облицовки бетоном. В качестве материалов, повышающих предел огнестойкости стальных конструкций, используют бетонные и керамзитобетонные растворы, плиты, кирпичи, газо- и пенобетонные блоки, плиты, скорлупы, экраны и прочие изделия [7]. Эти стройматериалы относятся к группе негорючих материалов, выдерживающих действие огня без разрушения в течение длительного времени, без выделения вредных веществ. Использование бетона в качестве защиты целесообразно, когда существует необходимость в усилении металлических конструкций, в частности, при реконструкции зданий и сооружений [5].

При проведении огнезащитных работ с применением обетонирования необ-

ходимо учесть возможное взрывное хрупкое разрушение огнезащитного материала, обусловленное наличием влаги в материале, его водопроницаемостью, условиями нагрева и другими факторами. Поэтому при применении в качестве огнезащитного материала для стальных конструкций бетона или штукатурного раствора толщиной более 50 мм необходимо проводить усиление поверхностного слоя материала путем применения стальной сетки с ячейкой не более 100 мм и диаметром стержня не менее 4 мм.

Облицовка из кирпича. Кирпичная кладка признана надежным огнезащитным материалом и широко используется для возведения противопожарных стен (преград), изоляции стальных колон и узлов стальных элементов. Кирпичи и строительные камни удовлетворяет ряду требований, предъявляемых к огнезащите стальных конструкций: негорючесть, долговечность, а также высокие классы огнестойкости [5; 7].

Облицовка кирпичами и каменными изделиями применяется, в основном, для обкладывания стоек и колонн. Устройство огнезащитной облицовки ригелей и связей из кирпича не рекомендуется из-за конструктивной сложности выполнения и значительного собственного веса.

Преимущества бетонной и кирпичной облицовки очевидны: устойчивость к сырости и атмосферным осадкам, возмож-

ность использования практически при любых температурно-влажностных условиях, а также при воздействии агрессивной внешней среды. В то же время существуют определенные недостатки данного вида огнезащиты: трудоемкость выполнения подготовительных работ (установка опалубки и арматурные работы), значительное утяжеление металлоконструкций, и, соответственно, увеличение веса всего здания и нагрузки на остальные конструкции [6].

Для огнезащитной обшивки металлических несущих конструкций (колонн и балок) рекомендуется использовать гипсокартонные листы (далее – ГКЛ) или гипсоволокнистые листы (далее – ГВЛ). Облицовка выполняется с помощью металлических профилей или с использованием вкладышей из полос ГКЛ или ГВЛ различной толщины, в зависимости от требуемого предела огнестойкости конструкций [8].

Облицовка металлических конструкций листами, плитами и экранами безусловно выигрывает по следующим параметрам. Во-первых, есть возможность произвести замену средства огнезащиты или заменить один тип облицовки на другой, а также наложить новую огнезащиту поверх старой. Во-вторых, повышается вибростойкость и прочность защищаемой конструкции благодаря механическому креплению.

К недостаткам можно отнести сравнительно большую толщину покрытия, что позволяет рассчитывать на демонтаж исключительно поверхности формы правильного прямоугольника, но даже если не брать во внимание этот факт, то высокая влагопроницаемость все равно остается [9].

Сухие строительные смеси – штукатурки. В зависимости от основного вяжущего вещества штукатурные смеси подразделяют: на цементные, гипсовые, известковые, полимерные, сложные (одновременное использование различных видов вяжущих или специально разработанных композиций) [8].

Наиболее применяемыми являются цементные и гипсовые штукатурные смеси. Гипсовые штукатурные смеси создают более ровное покрытие с теплоизоляционными свойствами, превосходящими покрытия, полученные из цементного штукатурного раствора.

Цементно-песчаная штукатурка рекомендуется для защиты металлоконструкций зданий – колонн, ригелей, связей и узлов сопряжения между элементами [10].

Привлекательность применения цементно-песчаной штукатурки обосновывается следующими факторами: простота изготовления состава, поскольку для ее приготовления нужен цемент и песок, распространенность и доступность основных компонентов, обеспечение высоких пределов огнестойкости защищаемой конструкции (до 120 минут). К минусам можно отнести значительную трудоемкость осуществления работ по нанесению покрытия, необходимость армирования конструкции; увеличение нагрузки на фундаменты зданий за счет утяжеления каркаса; необходимость применения антикоррозионных составов [7].

Следствием необходимости снижения веса огнезащитной облицовки стала разработка легких штукатурок и покрытий на основе асбеста, перлитового песка, вермикулита, гипса, жидкого стекла и пр. Выбор вяжущего зависит от влажностного режима эксплуатации конструкции. Смеси на жидком стекле, гипсе следует использовать для покрытий, работающих в воздушно-сухих условиях с относительной влажностью в помещениях до 60 % [10].

Легкие огнезащитные штукатурки по сравнению с цементно-песчаными отличаются большей эффективностью, поскольку при идентичном пределе огнестойкости защищаемой конструкции они легче в 1,5–2 раза. В то же время этому виду покрытий свойственны определенные недостатки: мягкость покрытия, малая конструктивная прочность, слабая адгезия к поверхности защищаемой металлической

конструкции. Такие покрытия не предназначены для применения на поверхностях, незащищенных от механических повреждений [6].

Интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные покрытия. Вспучивающиеся покрытия часто еще называют вспенивающимися или терморасширяющимися, поскольку их особенностью является многократное увеличение в объеме при нагревании и образовании теплоизолирующего слоя (пенококса). В основном процесс интумесценции (вспучивания) происходит из-за наличия в составе композиции обязательных компонентов, таких как фосфаты аммония, главным образом полифосфаты, пентаэритрит и меламин [11], и дополнительных вспучивающих агентов,

например, интеркалированный графит. Таким образом, благодаря низкой теплопроводности пенококсовый слой предотвращает быстрый нагрев защищаемой конструкции. Ключевое преимущество вспучивающихся покрытий – малый вес и толщина. Еще одно преимущество – относительно низкая трудоемкость нанесения. К основным недостаткам можно отнести дороговизну данных покрытий, необходимость качественной подготовки поверхности и тот факт, что именно вспучивающиеся материалы чаще всего являются объектом для фальсификаций.

Краткий обзор современных средств огнезащиты металлических конструкций приведен в табл. 1.

Таблица 1
Способы огнезащиты металлических конструкций

Способ огнезащиты		Преимущества	Недостатки	Примечание
Облицовка	Бетон	Негорючесть. Сравнительно невысокая стоимость материалов. Атмосферостойкость	Увеличение нагрузки на фундамент. Необходимость армирования. Сложность ремонта и восстановления. Защищает только колонны	Применяется не только в целях огнезащиты конструкций из металла, но и их укрепления. Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин
	Кирпич	Негорючесть. Экономическая рентабельность. Ремонтопригодность. Не требуется дополнительная подготовка поверхности металлической конструкции. Легковесность (в сравнении с бетоном)	Трудоемкость проведения работ и восстановления, утяжеление конструкции и каркаса здания	Применяется не только в целях огнезащиты конструкций из металла, но и их укрепления. Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин
	ГКЛ, ГВЛ, плиты, экраны	Возможность наложить один тип облицовки на другой. Стойкость к разного рода вибрациям.	Влагопроницаемость. Низкая механическая прочность	Использование в помещениях с нормальной влажностью (не более 60 %). Обеспечиваемые пределы огнестойкости – до 150 мин
Сухие строительные смеси – штукатурки		Недорогая стоимость. Повсеместное применение. Простота изготовления. Легковесность (для легких штукатурок).	Большой вес цементно-песчаных штукатурок. Необходимость армирования. Большая трудоемкость работ, Сложность	Обеспечиваемые пределы огнестойкости – до 150 мин

	Возможность эксплуатации в атмосферных условиях (кроме смесей на жидком стекле, извести и гипсе)	восстановления и ремонта. Низкая конструктивная прочность	
Вспучивающиеся материалы	Малая толщина и вес покрытия. Ремонтпригодность. Высокая адгезия. Относительно низкая трудоемкость нанесения. Возможность применения для разных типов конструкции	Дороговизна покрытия. Высокие требования к подготовке поверхности конструкции. Высокая вероятность фальсификации	Применение для огнезащиты металлических конструкций любой сложности. Обеспечиваемые пределы огнестойкости 90–150 мин

Для определения вида и способа огнезащиты выделяются следующие критерии [4]:

- величина требуемого предела огнестойкости;
- тип защищаемой конструкции и ориентации защищаемых поверхностей в пространстве (колонны, стойки, ригели, балки, связи);
- возможность увеличения нагрузки на конструкцию за счет веса огнезащиты (утяжеление конструкции);
- возможность периодического контроля покрытия и восстановления после повреждений;
- сейсмостойчивость огнезащиты;
- способность гореть и распространять пламя, образовывать ОФП;
- температурно-влажностные условия эксплуатации и производства работ по огнезащите, степень агрессивности окружающей среды;
- сезонность нанесения;
- технологичность нанесения огнезащиты;
- момент монтажа огнезащиты (во время возведения здания или его эксплуатации);
- срок годности материала;
- условия хранения и транспортировки;
- срок службы покрытия;

- требования к декоративному виду;
- гигиенические свойства;
- стоимость огнезащитного материала и работ по предварительной подготовке конструкций и монтажу огнезащиты.

Практика показывает, что применение интумесцентных (вспучивающихся) огнезащитных покрытий является одним из наиболее перспективных способов огнезащиты для предприятий нефтегазовой отрасли. К их основным преимуществам относятся малая толщина и вес покрытия, ремонтпригодность, вибростойкость, возможность применения для металлоконструкций любой сложности [11].

Учитывая сложность климатических условий арктических районов и специфику нефтегазовой отрасли, следует иметь в виду, что не все интумесцентные покрытия подходят для применения на обозначенных объектах. В зависимости от природы связующего выделяются огнезащитные терморасширяющиеся составы на водной основе, акриловой основе, на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего [9]. Всем перечисленным выше требованиям удовлетворяют интумесцентные композиции на основе эпоксидных смол [12]. Такие материалы характеризуются малой влагонепроницаемостью, высокой термостойкостью, долговременной защитой от воздействия агрессивных

сред, к которым относятся морская вода, минеральные масла, нефтепродукты, низкие температуры нанесения и эксплуатации и др. Однако важно отметить, что данные покрытия со временем разрушаются под воздействием солнечных лучей и требуют финишного покрытия эмалью [4–5].

Количество российских производителей эпоксидных огнезащитных систем с продукцией мирового уровня незначительно, поэтому на рынке широко представлен спектр дорогостоящих зарубежных защитных покрытий (табл. 2).

Таблица 2
Эпоксидные огнезащитные составы импортного и российского производства

№	Наименование продукта, производитель	Технические параметры	Огнезащитная способность
1.	Chartek 7, AkzoNobel	Толстослойное, двухкомпонентное, не содержащее растворителя покрытие, обеспечивающее превосходную стойкость и сочетающее в себе коррозионную и огнезащиту. Главным образом предназначен для использования в условиях повышенного риска в таких промышленности, как нефтяная, газовая, нефтехимическая и энергетическая	до 135 мин
2.	Chartek 1709, AkzoNobel	Главным образом предназначен для использования в таких отраслях промышленности, как нефтяная, газовая, нефтехимическая и энергетическая. Предназначен для защиты стальных конструкций, трубопроводов и емкостей от последствий углеводородного пожара и горения (розлив и реактивная струя огня), криогенных разливов и разбрызгивания	до 240 мин
3.	Firetex-m90, Leighs Paints	Двухкомпонентный огнезащитный вспучивающийся состав, предназначен для пассивной огнезащиты металлоконструкций как при строительстве новых нефтегазовых и нефтехимических объектов, так и при ремонте действующих (оффшорные платформы, ТСП ШФЛУ, НПЗ и другие объекты, на которых возможно возникновение углеводородного горения и реактивной струи пламени)	до 150 мин
4.	Jotachar 1709, Jotun	Двухкомпонентное огнезащитное эпоксидное покрытие аминного отверждения со 100 % сухим остатком. Разработано специально как вспучивающееся покрытие для обеспечения пассивной огнезащиты стали при объемном углеводородном горении для различных типов конструкций и оборудования. Обычно используется в нефтегазовой промышленности и энергетике	до 240 мин

5.	Pitt-Char XP, PPG Industries	Двухкомпонентное, эластичное, эпоксидное огнезащитное покрытие со 100 % сухим остатком, используемое в нефтегазовой, химической, энергетической, транспортной и оборонной отраслях промышленности, которые потенциально сопряжены с серьезными рисками аварий, включая взрывы, углеводородный пожар и реактивную струю пламени. Совместимо с системами для защиты от криогенных проливов	до 180 мин
6.	ОГРАКС-СКЭ, УниХимТек	Двухкомпонентный материал на эпоксидной основе. Для крайне агрессивных сред. Возможна эксплуатация в условиях углеводородного пожара. Применяется для улучшения характеристик огнестойкости стальных конструкций в условиях открытой атмосферы при температуре от -60 до $+60$ °С. Устойчив ко всем видам атмосферных воздействий, в том числе, морского климата и агрессивным средам (масло, бензин)	до 120 мин
7.	Пламок-5, ВМП	Атмосферостойкая органорастворимая эпоксидная композиция. Защита от углеводородного пожара и от коррозии металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях всех типов атмосферы, в том числе в открытой промышленной атмосфере	до 120 мин
8.	Декотерм- Эпокси, Территория цвета	Двухкомпонентное огнезащитное покрытие на основе эпоксидных смол. Допускается наносить на предварительно загрунтованные металлические поверхности с температурой не ниже $+5$ °С. Может эксплуатироваться в условиях открытой промышленной атмосферы (без применения финишного покрытия)	до 150 мин
9.	Триофлейм EP 8800, ОЗ-Коутингс	Двухкомпонентный огнезащитный вспучивающийся состав на основе эпоксидной смолы и амин-амидного отвердителя. Предназначен для пассивной огнезащиты металлоконструкций различного функционального назначения промышленных объектов и объектов инфраструктуры в условиях целлюлозного и углеводородного пожаров. Диапазон температур эксплуатации получаемого покрытия от -60 °С до $+70$ °С. Применяется на опасных производственных объектах, где вероятно развитие пожара по углеводородной кривой. Обеспечивает огнезащиту металлоконструкций, эксплуатируемых в суровых условиях (воздействие низких температур, агрессивных сред, повышенной влажности и т. д.)	до 120 мин

Исходя из данных табл. 2, можно сделать вывод о более низком уровне огнезащитной способности и других технических показателей огнезащитных материалов отечественного производства в условиях углеводородного горения, свойственных объектам нефтегазовой отрасли. В то же время иностранные огнезащитные составы, представленные в табл. 2, изначально создавались для применения на промышленных предприятиях и предназначались для защиты стальных конструк-

ций, трубопроводов и емкостей от последствий углеводородного пожара и горения (розлив и реактивная струя огня). Таким образом, вопрос разработки и совершенствования средств огнезащиты для климатических условий арктических районов, обусловленных сложностью проведения огнезащитных работ в условиях низких температур, воздействия агрессивных промышленных атмосфер и повышенной влажности остается весьма актуальным и востребованным.

Литература

1. Махутов Н. А. и др. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса и ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в арктических климатических условиях // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4 (24). С. 90–99.
2. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment; Cambridge University Press: Cambridge. UK, 2005. 1072 p.
3. Gravit M., Shabunina D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions // Buildings 2021. № 11(11). P. 499. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings11110499>
4. Пехотиков А. В., Павлов В. В. Средства огнезащиты для стальных конструкций, актуальные вопросы при их применении, оценка технико-эксплуатационных характеристик // Промышленные покрытия. 2015. № 5–6.
5. Акулов А. Ю. и др. Совершенствование методов и средств огнезащиты на основе термостойких минеральных наполнителей для металлических конструкций. Екатеринбург, 2015. 161 с.
6. Голованов В. И., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Обзор рынка средств огнезащиты металлоконструкций. Преимущества и недостатки различных видов // Мат. Всерос. науч.-практ. конф. «Огнезащита XXI века». М., 2014.
7. Akaa O. et al. Optimising design decision-making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique // Fire Saf. J. 2017. № 91. Pp. 532–541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.018>
8. Dias Y., Mahendran M., Poologanathan K. Full-scale fire resistance tests of steel and plasterboard sheathed web-stiffened stud walls // Full ength article. Thin-Walled Structures. 2019. Vol. 137. Pp. 81–93. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.12.027>
9. Cherkina V., Korolchenko D. Investigation of the fire resistance of panels of porous papercrete, containing expanded polystyrene gravel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 4. Сер. "4th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS 2019 – Section 4" 2019. С. 052009.
10. Kim J. H., Baeg D. Y., Seo J. K. Numerical Investigation of Residual Strength of Steel Stiffened Panel Exposed to Hydrocarbon Fire. J. Ocean. Eng. Technol. 2021. № 35. Pp. 203–215.
11. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. № 10: 185.
12. Головина Е. В., Беззапонная О. В., Акулов А. Ю. Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли. Екатеринбург, 2020. 173 с.

References

1. Mahutov N. A. et al. Prognozirovanie vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij na ob"ektah neftegazovogo kompleksa i likvidaciya posledstvij avarijnyh rozlivov nefteproduktov v arkticheskix klimaticheskix uslovijah // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2016. № 4 (24). S. 90–99.
2. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment; Cambridge University Press: Cambridge. UK, 2005. 1072 p.
3. Gravit M., Shabunina D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions // Buildings 2021. 11 (11). P. 499. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings11110499>
4. Pekhotikov A. V., Pavlov V. V. Sredstva ogneshchity dlya stal'nyh konstrukcij, aktual'nye voprosy pri ih primenenii, ocenka tekhniko-ekspluatacionnyh harakteristik // Promyshlennye pokrytiya. 2015. № 5–6.
5. Akulov A. Yu. et al. Sovershenstvovanie metodov i sredstv ogneshchity na osnove termostojkix mineral'nyh zapolnitelej dlya metallicheskih konstrukcij. Ekaterinburg, 2015. 161 s.

6. Golovanov V. I., Pekhotikov A. V., Pavlov V. V. Obzor rynka sredstv ognезashchity metallokonstrukcij. Preimushchestva i nedostatki razlichnyh vidov // Mat. Vseros. nauch.-prakt. konf. «Ognезashchita XXI veka». M., 2014.

7. Akaa O. et al. Optimising design decision-making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique // Fire Saf. J. 2017. No. 91. Pp. 532–541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.018>

8. Dias Y., Mahendran M., Poologanathan K. Full-scale fire resistance tests of steel and plasterboard sheathed web-stiffened stud walls // Full ength article. Thin-Walled Structures. 2019. Vol. 137. Pp. 81–93. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.12.027>

9. Cherkina V., Korolchenko D. Investigation of the fire resistance of panels of porous papercrete, containing expanded polystyrene gravel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 4. Ser. "4th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS 2019 – Section 4" 2019. C. 052009.

10. Kim J. H., Baeg D. Y., Seo J. K. Numerical Investigation of Residual Strength of Steel Stiffened Panel Exposed to Hydrocarbon Fire. J. Ocean. Eng. Technol. 2021. No. 35. Pp. 203–215.

11. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. No. 10: 185.

12. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu. Metodika ocenki termostojkosti ognезashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovoj otrasli. Ekaterinburg, 2020. 173 s.