

Научная статья

УДК 614: 66.022.387; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Калач Андрей Владимирович;

✉ **Головина Екатерина Валерьевна.**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия.

Крутолапов Александр Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ ***ekaterinagolovina@yandex.ru***

Аннотация. Современные полимерные материалы, используемые в строительстве, транспорте и бытовых изделиях, характеризуются, как правило, высокой воспламеняемостью и горючестью, что оказывает существенное влияние на обеспечение требуемого уровня противопожарной защиты. Предложены вариант формализации выбора огнезащитного покрытия и алгоритм его обоснования. Предлагаемый алгоритм выбора огнезащитного покрытия предполагает предварительную количественную оценку пожарной опасности; анализ возможных сценариев развития пожара; выбор типа системы огнезащиты с учетом окружающей среды эксплуатации, размера потенциального ущерба от пожара, технических, экономических и человеческих факторов и обоснование выбора огнезащитного покрытия, обеспечивающего заданный (требуемый) уровень противопожарной защиты.

Ключевые слова: алгоритм, интумесцентные составы, огнезащита, стальные конструкции, нефтегазовый комплекс

Для цитирования: Калач А.В., Головина Е.В., Крутолапов А.С. Современные средства обеспечения огнезащиты стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 120–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130.

Scientific article

MODERN MEANS OF ENSURING FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES OF OIL AND GAS FACILITIES

Kalach Andrey V.;

✉ **Golovina Ekaterina V.**

Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia.

Krutolapov Alexander S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ ***ekaterinagolovina@yandex.ru***

Abstract. Modern polymer materials used in construction, transport and household products characterized, as a rule, by high flammability and combustibility, which has a significant impact on ensuring the required level of fire protection. A variant of the formalization of the choice of a flame retardant coating is proposed and an algorithm for its justification is proposed. The proposed algorithm for choosing a fire-retardant coating assumes a preliminary quantitative assessment of fire danger; analysis of possible scenarios of fire development; the choice of the type

of fire protection system taking into account the operating environment, the size of potential damage from fire, technical, economic and human factors, and the rationale for choosing a fire-resistant coating that provides the specified (required) level of fire protection.

Keywords: algorithm, intumescent compositions, fire protection, steel structures, oil and gas complex

For citation: Kalach A.V., Golovina E.V., Krutolapov A.S. Modern means of ensuring fire protection of steel structures of oil and gas facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 120–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130.

Введение

Строительные технологии непрерывно эволюционировали от пещерных жилищ до современных высотных многоэтажных зданий различных конструкций. Современные здания характеризуются высоким энергопотреблением, энергоэффективностью, тепловым комфортом, экоархитектурой, динамической адаптацией к любым изменениям климата, использованием инновационных строительных материалов и высокой пожарной нагрузкой. Особую роль в обеспечении пожарной безопасности в таких зданиях играют современные строительные материалы и стальные конструкции.

Современные строительные материалы, как правило, состоят из полимеров различной природы. Синтетические полимерные материалы, используемые в строительстве, транспорте и бытовых изделиях, характеризуются, как правило, высокой воспламеняемостью и горючестью, что оказывает существенное влияние на обеспечение требуемого уровня противопожарной защиты. Традиционным решением для улучшения огнестойкости материала является включение огнезащитных добавок или химически активных антипиренов в материал, что повышает огнестойкость строительных конструкций [1–5]. Следовательно, актуальным является исследование возможностей современных огнезащитных составов для обеспечения нормативного уровня противопожарной защиты различных конструкций.

Целью исследования является разработка алгоритма обоснования выбора огнезащитного покрытия.

Для реализации данной цели были решены следующие задачи:

- анализ существующих методов исследования огнезащитных покрытий;
- изучение огнезащитных материалов разной химической природы для оценки возможности применения на объектах нефтегазовой отрасли.

Методы исследования

При выполнении исследования проведен анализ существующих методов испытаний средств огнезащиты:

- метод определения огнезащитной эффективности в соответствии с ГОСТ 53295–2009 [6];
- методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов в соответствии с ГОСТ 9.401–2018 [7];
- оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях в соответствии с методикой [8];
- метод синхронного термического анализа (СТА) [9].

Среди всего многообразия методов исследования огнезащитных материалов, остановимся на [6] и [9].

Результаты и их обсуждение

В настоящее время наметилась тенденция применения для огнезащиты в качестве компонентов покрытий модифицирующих и технологических добавок, снижающих пожарную опасность покрытий, что позволяет улучшить их эксплуатационные характеристики.

Поскольку использование галогенсодержащих огнезащитных добавок ограничено в связи с требованиями норм защиты окружающей среды [10], приобрели актуальное практическое применение следующие три варианта огнезащитных компонентов (добавок): кремниевая, фосфорная и сульфонатная [11–13].

Кремнийсодержащие антипирены представляют собой самые безопасные с точки зрения влияния на окружающую среду огнезащитные добавки. В настоящее время кремнийорганические антипирены в основном представлены полисилоксановыми компонентами, характеризующимися высокой огнезащитной эффективностью и сложным технологическим процессом массового производства [14]. Использование силикатных неорганических материалов со слоистой структурой повышает пределы огнестойкости строительных конструкций и обеспечивает требуемую огнезащитную эффективность материалов [15].

Фосфорсодержащие антипирены представляют собой высокоэффективные огнезащитные составы, характеризующиеся низкой дымообразующей способностью, малой токсичностью и простотой нанесения. Следует отметить, что среди таких огнезащитных составов широкое распространение получили различные фосфаты [16].

Механизм действия огнезащитных составов на основе соединений фосфора действует главным образом в твердой фазе полимерных материалов и приводит к обугливанию полимера, тем самым подавляя процесс пиролиза и горения. При этом вспучивающиеся антипирены образуют устойчивый слой пены, который действует как барьер между пламенем и горючим защищаемым материалом. Фосфорсодержащие антипирены широко используются в качестве аддитивных систем, повышающих огнестойкость материалов благодаря хорошим огнезащитным свойствам. Кроме того, фосфорсодержащие огнезащитные материалы часто используются в сочетании с другими антипиренами – включая азотсодержащие соединения, нанонаполнители и гидроксиды металлов [17–18].

Помимо модифицирующих компонентов, улучшающих термостойкость пенококсового слоя в интумесцентных системах, необходим анализ природы связующего огнезащитной композиции [19].

Для объектов нефтегазового комплекса характерно развитие углеводородного горения, в связи с чем целесообразно использование огнезащитных композиций на основе эпоксидных смол (рис. 1, 2).

Результаты исследований огнезащитных материалов на огнезащитную эффективность в условиях углеводородного температурного режима графически представлены на рис. 1–4.

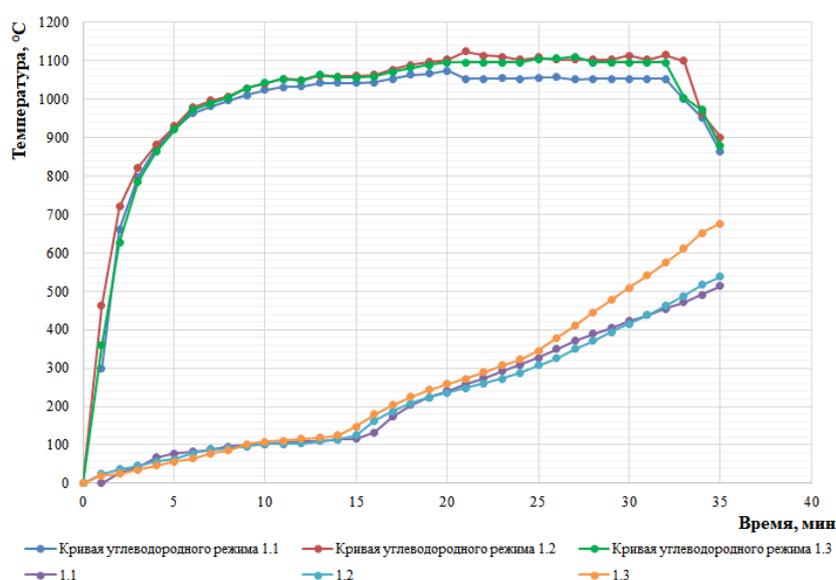


Рис. 1. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на силиконовой основе

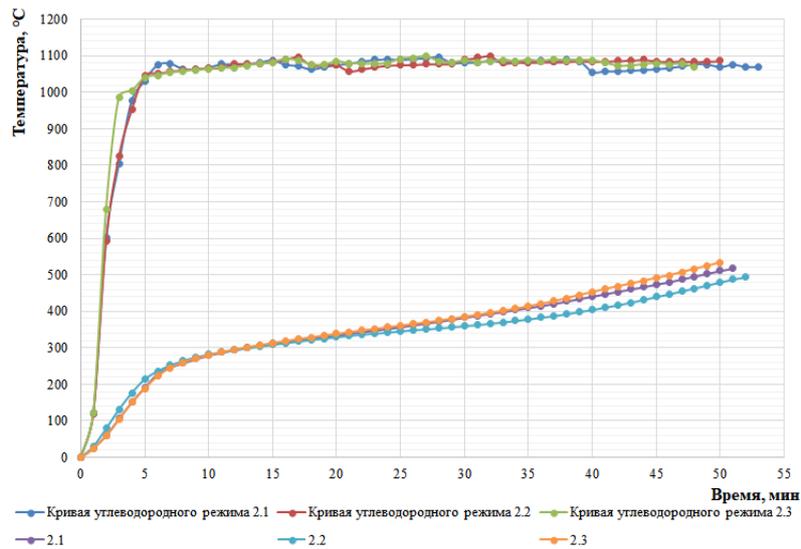


Рис. 2. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе эпоксидных смол

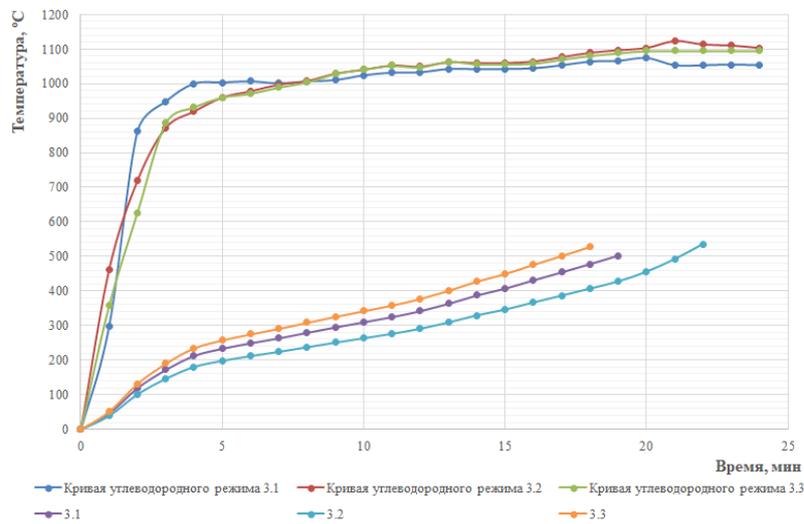


Рис. 3. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе акриловой дисперсии

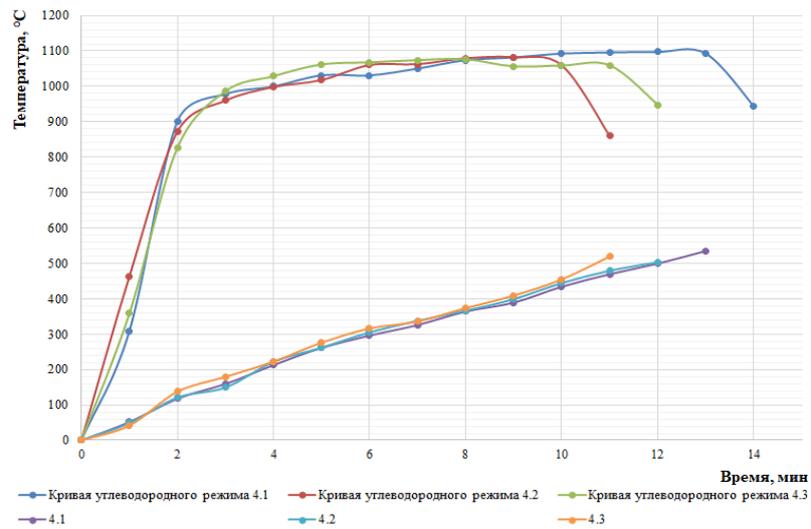


Рис. 4. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе водной дисперсии

В условиях углеводородного режима горения происходит резкий скачок температуры до величины 1 100 °С, в связи с чем матрицы, состоящие из полимеров-термопластов, начинают плавиться, и, как следствие, происходит стекание композиции с защищаемой поверхности, в то время как олигомеры, содержащие эпоксидные группы (эпоксиды), способны создать условия для сохранения огнезащитного состава на металлоконструкции до достижения температуры формирования пенококсового слоя [20]. Именно благодаря образовавшемуся пенококсу происходит обеспечение необходимого уровня огнезащитной эффективности металлических конструкций промышленных объектов в условиях не только стандартного, но и углеводородного горения.

Широкое использование интумесцентных защитных составов обусловлено высокой термической стабильностью в широком диапазоне температур и высокой адгезией к различным защищаемым поверхностям и когезией, а также существованием синергетического защитного поведения, позволяющего уменьшить теплопередачу в сторону защищаемой поверхности до 100 раз (рис. 5–8).

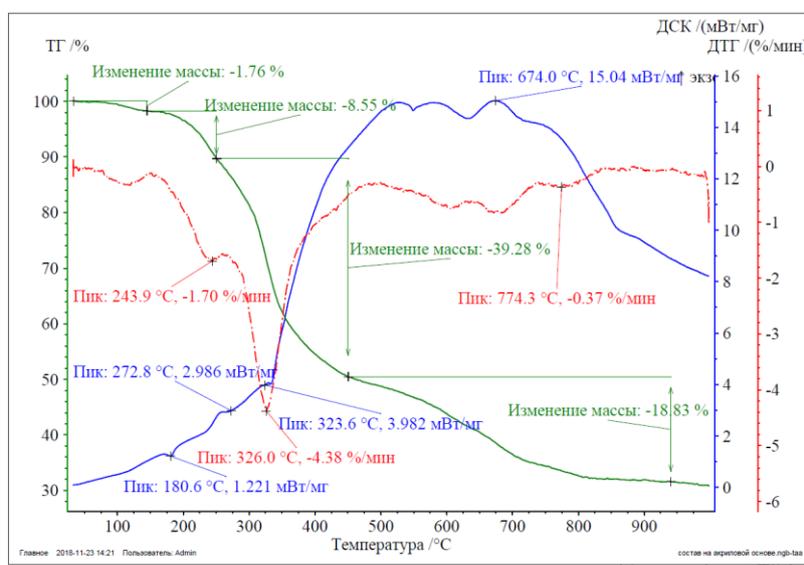


Рис. 5. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе водной дисперсии

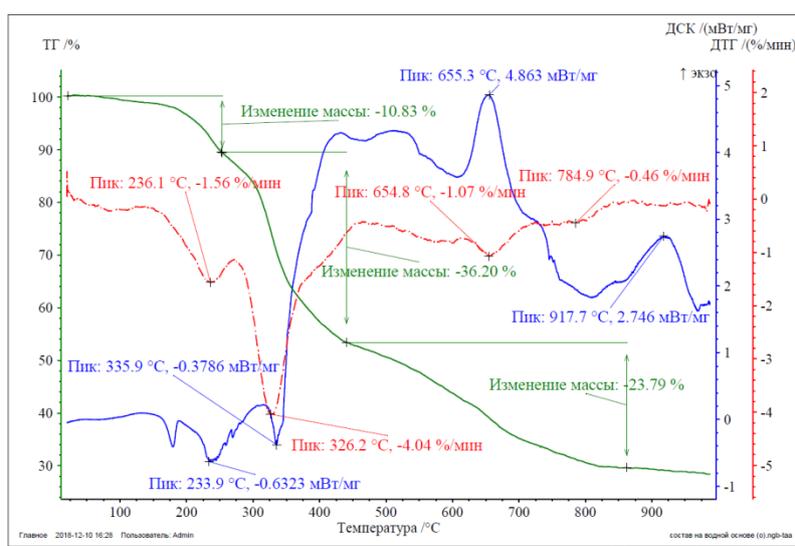


Рис. 6. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе акриловой дисперсии

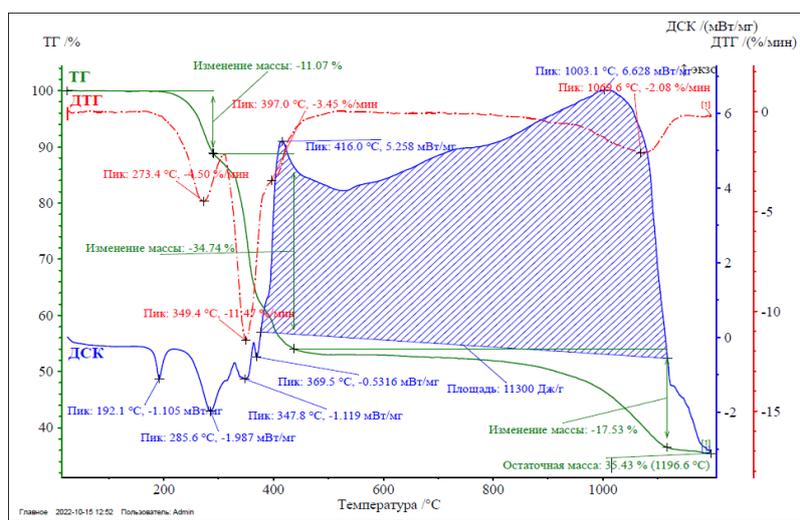


Рис. 7. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе силиконового связующего

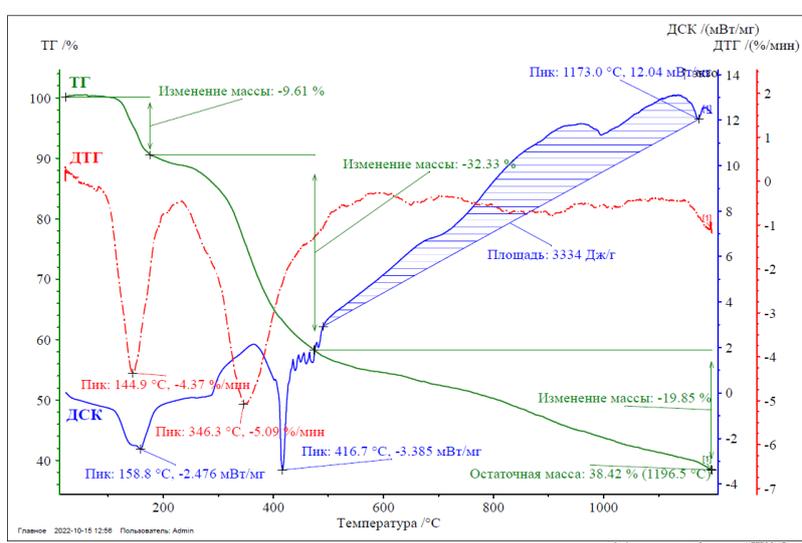


Рис. 8. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе эпоксидной смолы

Анализ работ [13–21] показывает, что даже незначительное изменение процентного содержания компонентов оказывает сильнейшее влияние как на огнезащитные, так и на эксплуатационные свойства огнезащитного вспучивающегося состава.

Таким образом, можно сделать вывод, что универсальных огнезащитных интумесцентных составов со строго определенным соотношением компонентов не существует, поэтому при разработке вспучивающегося покрытия всегда встает задача обоснованного и оптимизированного подхода к выбору компонентов.

Следует отметить, что в настоящее время единый универсальный формализованный подход к выбору эффективных огнезащитных составов стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса отсутствует.

В связи с этим алгоритмизация обоснования выбора огнезащитных покрытий, работающих в сложных условиях эксплуатации, характерных для предприятий нефтегазового комплекса, является актуальной задачей повышения пожарной и промышленной безопасности оборудования и сооружений.

За основу алгоритма выбора защитного покрытия был принят один из методов, приведенный в работе [22].

Усовершенствованная авторами схема алгоритма обоснования и выбора соответствующего сценариям пожара огнезащитного покрытия представлена на рис. 9.

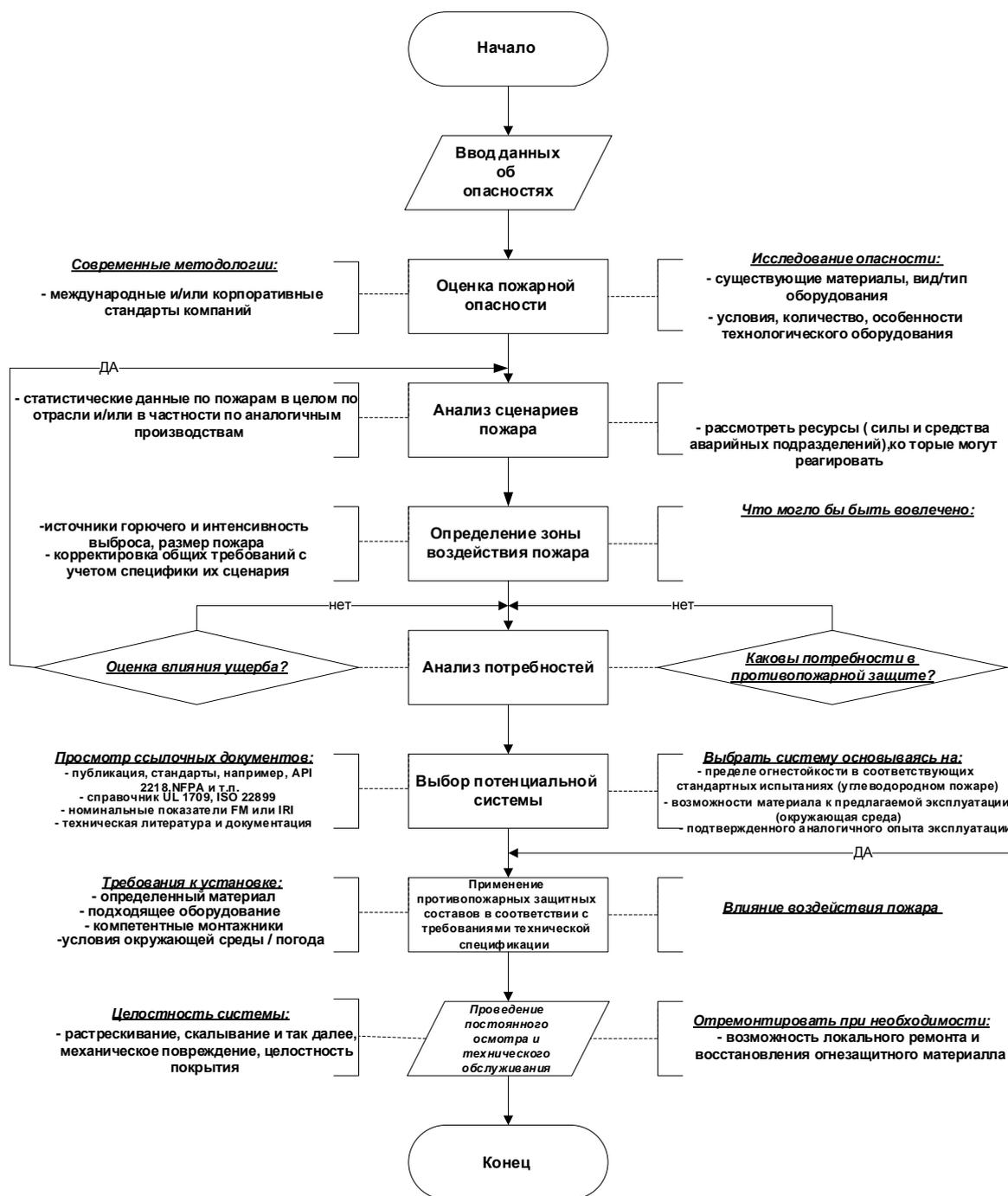


Рис. 9. Схема алгоритма обоснования выбора огнезащитного покрытия

Заключение

Предлагаемый алгоритм выбора огнезащитного покрытия включает в себя предварительную работу, которая может применяться при проведении расчетов по количественной оценке пожарной опасности; анализ возможных сценариев развития пожара (расчет скорости выгорания и определение размеров зон пожара); определение типа системы

огнезащиты с учетом окружающей среды эксплуатации и агрессивных воздействий на защитные покрытия, размера потенциального ущерба от пожара, технических, экономических и человеческих факторов; обоснование выбора огнезащитного покрытия с учетом данных о результатах испытаний, достаточного для обеспечения заданного (требуемого) уровня противопожарной защиты.

Таким образом, осуществлена формализация выбора огнезащитного покрытия и предложен алгоритм его обоснования.

Список источников

1. Fast fabrication of a light-scattering polycarbonate with high transmittance, high haze, and excellent flame-retardant performance / Y. Duan [et al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* 2022. Vol. 139 (43). P. 53055. DOI: 10.1002/app.53055.
2. Transparent, highly thermostable and flame retardant polycarbonate enabled by rod-like phosphorous-containing metal complex aggregates / T. Sai [et al.] // *Chemical engineering journal.* 2021. Т. 409. С. 128223. DOI: 10.1016/j.cej.2020.128223.
3. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов / Е.В. Головина [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность.* 2022. Т. 31. № 3. С. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.
4. Making polycarbonate flame retardant: Flame retardant selection and calorimetric analyses / De-jia Chen [et al.] // *Polymer testing.* 2023. Vol. 117. P. 107876. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2022.107876.
5. Совершенствование методов и средств огнезащиты на основе термостойких минеральных наполнителей для металлических конструкций: монография / А.Ю. Акулов [и др.]. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2015. 161 с.
6. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. ГОСТ 9.401–2018. Методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях: методика. М.: ВНИИПО МЧС России, 2015. 38 с.
9. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
10. A review of environmental occurrence, fate, and toxicity of novel brominated flame retardants / P. Xiong [et al.] // *Environmental science & technology.* 2019. Vol. 53 (23). P. 13551–13569. DOI: 10.1021/acs.est.9b03159.
11. High-performance flame-retardant polycarbonate composites: Mechanisms investigation and fire-safety evaluation systems establishment / X. Mu [et al.] // *Composites Part B: Engineering.* 2022. Т. 238. С. 109873. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109873.
12. Крашенинникова М.В. Тенденции и перспективы разработки композиций вспучивающихся огнезащитных покрытий для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций // *Пожаровзрывобезопасность.* 2008. № 2. С. 36–39.
13. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicone base // *Russian journal of applied chemistry.* 2018. Т. 91. № 1. P. 96–100.
14. Li Y.M., Hu S.L., Wang D.Y. Polymer-based ceramifiable composites for flame retardant applications: A review // *Composites communications.* 2020. Т. 21. P. 100405.
15. Design and application of highly efficient flame retardants for polycarbonate combining the advantages of cyclotriphosphazene and silicone oil / J. Jiang [et al.] // *Polymers.* 2019. Т. 11. № 7. P. 1155. DOI: 10.3390/polym11071155.

16. Gao Z., Ren X., Miao Z. Research advances of phosphorus flame retardants in flame retardant polycarbonate // *Chemistry*. 2021. T. 84. № 11. P. 1191–1199.
17. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // *Buildings*. 2020. Vol. 10. P. 1–14.
18. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // *Process. Saf. Environ. Prot.* 2012. № 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.
19. Papaspyrides C.D., Kiliaris P. Polymer green flame retardants. Chapter 6: Phosphorus-based and intumescent flame retardants. Elsevier, 2014. P. 221–254. DOI: 10.1016/B978-0-444-53808-6.00006-8.
20. Еремина Т.Ю., Гравит М.В., Дмитриева Ю.Н. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. № 7. С. 52–56.
21. Cirpici K.B., Wang Y.C., Rogers B.D. An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions // 12th International congress on advances in civil engineering. Istanbul, Turkey, 2016. P. 1–8.
22. Клементьев Б.А., Калач А.В., Гравит М.В. Сравнительный анализ требований России и США к огнестойкости строительных конструкций нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2021. Т. 30. № 5. С. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22.

References

1. Fast fabrication of a light-scattering polycarbonate with high transmittance, high haze, and excellent flame-retardant performance / Y. Duan [et al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* 2022. Vol. 139 (43). P. 53055. DOI: 10.1002/app.53055.
2. Transparent, highly thermostable and flame retardant polycarbonate enabled by rod-like phosphorous-containing metal complex aggregates / T. Sai [et al.] // *Chemical engineering journal*. 2021. T. 409. P. 128223. DOI: 10.1016/j.cej.2020.128223.
3. Povyshenie bezopasnosti ob"ektov neftegazovogo kompleksa putem sovershenstvovaniya ognezashchitnyh sostavov / E.V. Golovina [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2022. T. 31. № 3. S. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.
4. Making polycarbonate flame retardant: Flame retardant selection and calorimetric analyses / De-jia Chen [et al.] // *Polymer testing*. 2023. Vol. 117. P. 107876. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2022.107876.
5. Sovershenstvovanie metodov i sredstv ognezashchity na osnove termostojkikh mineral'nyh zapolnitelej dlya metallicheskih konstrukcij: monografiya / A.Yu. Akulov [i dr.]. Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2015. 161 s.
6. GOST R 53295–2009. Sredstva ognezashchity dlya stal'nyh konstrukcij. Obshchie trebovaniya. Metod opredeleniya ognezashchitnoj effektivnosti. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
7. GOST 9.401–2018. Metody uskorennyh ispytaniy na stojkost' k vozdejstviyu klimaticheskikh faktorov. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Ocenka dopustimogo sroka ekspluatsii tonkoslojnyh ognezashchitnyh pokrytij v razlichnyh klimaticheskikh usloviyah: metodika. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2015. 38 s.
9. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
10. A review of environmental occurrence, fate, and toxicity of novel brominated flame retardants / P. Xiong [et al.] // *Environmental science & technology*. 2019. Vol. 53 (23). P. 13551–13569. DOI: 10.1021/acs.est.9b03159.

11. High-performance flame-retardant polycarbonate composites: Mechanisms investigation and fire-safety evaluation systems establishment / X. Mu [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. 2022. T. 238. P. 109873. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109873.
12. Krashennnikova M.V. Tendencii i perspektivy razrabotki kompozicij vspuchivayushchihsya ogneshchitnyh pokrytij dlya povysheniya predelov ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2008. № 2. S. 36–39.
13. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicone base // *Russian journal of applied chemistry*. 2018. T. 91. № 1. P. 96–100.
14. Li Y.M., Hu S.L., Wang D.Y. Polymer-based ceramifiable composites for flame retardant applications: A review // *Composites communications*. 2020. T. 21. P. 100405.
15. Design and application of highly efficient flame retardants for polycarbonate combining the advantages of cyclotriphosphazene and silicone oil / J. Jiang [et al.] // *Polymers*. 2019. T. 11. № 7. P. 1155. DOI: 10.3390/polym11071155.
16. Gao Z., Ren X., Miao Z. Research advances of phosphorus flame retardants in flame retardant polycarbonate // *Chemistry*. 2021. T. 84. № 11. P. 1191–1199.
17. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // *Buildings*. 2020. Vol. 10. P. 1–14.
18. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // *Process. Saf. Environ. Prot.* 2012. № 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.
19. Papaspyrides C.D., Kiliaris P. Polymer green flame retardants. Chapter 6: Phosphorus-based and intumescent flame retardants. Elsevier, 2014. P. 221–254. DOI: 10.1016/B978-0-444-53808-6.00006-8.
20. Eremina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. Osobennosti i principy postroeniya receptur ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya kompozicij na osnove epoksidnyh smol // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. № 7. S. 52–56.
21. Cirpici K.B., Wang Y.C., Rogers B.D. An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions // *12th International congress on advances in civil engineering*. Istanbul, Turkey, 2016. P. 1–8.
22. Klement'ev B.A., Kalach A.V., Gravit M.V. Sravnitel'nyj analiz trebovanij Rossii i SSHA k ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij neftepererabatyvayushchih i neftekhimicheskikh zavodov // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2021. T. 30. № 5. S. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.02.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023;
принята к публикации: 19.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.02.2023; approved after review: 17.07.2023;
accepted for publication: 19.07.2023

Информация об авторах:

Калач Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник учебно-научного комплекса управления комплексной безопасностью Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), доктор химических наук, профессор, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN-код: 2584-7456

Головина Екатерина Валерьевна, заместитель начальника научно-исследовательского отдела Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), кандидат технических наук, e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>, SPIN-код: 9905-7628

Крутолапов Александр Сергеевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: krutolapov75@list.ru, SPIN-код: 7822-1555

Information about the authors:

Kalach Andrey V., leading researcher of the educational and scientific complex of integrated security management of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: A_Kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN: 2584-7456

Golovina Ekaterina V., deputy head of the research department of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), candidate of technical sciences, e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>, SPIN: 9905-7628

Krutolapov Alexander S., professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: krutolapov75@list.ru, SPIN: 7822-1555