

УДК 614.841.4

a_kalach@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
С ЭПОКСИДНОЙ ОГНЕЗАЩИТОЙ****INVESTIGATION OF FIRE RESISTANCE OF STEEL STRUCTURES
WITH EPOXY FIRE PROTECTION**

*Калач А. В., доктор химических наук, профессор,
Клементьев Б. А., Калач Е. В., кандидат технических наук, доцент,
Воронежский государственный технический университет, Воронеж*

*Kalach A., Klementiev B., Kalach E.,
Voronezh State Technical University, Voronezh*

Представлены результаты испытания стальных конструкций с эпоксидными огнезащитными покрытиями «Преград-ЭП», «Огракс-СКЭ» и «Chartek 2218». Авторами установлено время от начала воздействия температур до наступления предельного состояния образца при углеводородном температурном режиме пожара. По результатам проведенных исследований установлено, что все эпоксидные вспучивающиеся покрытия не достигли критической температуры в 500 °С при достижении 120 мин, что доказывает их эффективность при использовании в качестве пассивной противопожарной защиты объектов нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: огнезащита, эпоксидный состав, пожарная безопасность, нефтегазовый комплекс.

The results of testing steel structures with epoxy flame-retardant coatings "Pregrad-EP", "Ograx-SKE" and "Chartek 2218" are presented. The authors have established the time from the beginning of the temperature exposure to the onset of the limiting state of the sample under the hydrocarbon temperature regime of the fire. According to the results of the conducted studies, it was found that all epoxy swelling coatings did not reach a critical temperature of 500 °C when reaching 120 minutes, which proves their effectiveness when used as passive fire protection of oil and gas facilities.

Keywords: fire protection, epoxy compound, fire safety, oil and gas complex.

Нефтегазовая промышленность представляет собой крупную, технологически сложную и важную отрасль экономики [1]. Объекты топливно-энергетического комплекса относятся к источникам повышенной опасности, поскольку в технологических процессах производств нефтепереработки хранятся и обращаются в достаточном объеме горючие и взрывоопасные

вещества, при несоблюдении правил работы, с которыми возможны случаи воспламенения, взрыва и/или разлива [1, 2].

В 2020 г. на объектах нефтегазодобывающей промышленности произошло 10 аварий с экономическим ущербом порядка 145 млн рублей. Динамика аварийности и несчастных случаев на объектах НГК за период 2009–2020 гг. приведена на рис. [3].

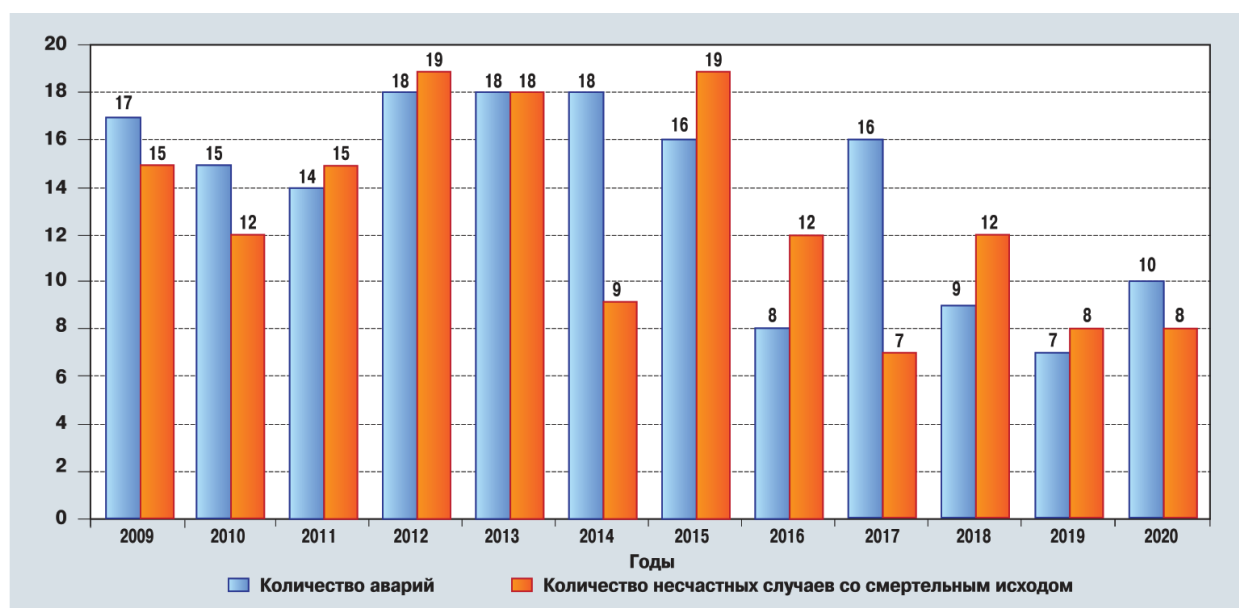


Рисунок. Динамика аварийности и производственного травматизма со смертельным исходом на объектах нефтегазодобычи в 2009–2020 гг

Металлические конструкции составляют основу производственных зданий и представляют собой сложные инженерные сооружения. В настоящее время на несущие элементы каркаса промышленных зданий (колонны, фермы, подкрановые балки) расходуется более 50 % массы металлоконструкций. В области стандартизации огневых испытаний для конструкций регламентируются следующие температурные режимы: «стандартный» (целлюлозный), наружный, медленно развивающийся (тлеющий) и углеводородный режим [4]. Стальные конструкции объектов нефтегазового комплекса (НГК) при аварии, сопровождающейся пожаром и взрывом, подвергаются температурному воздействию и избыточному давлению согласно углеводородного режима, при котором в первые минуты пожара температура достигает 1000 °С и выше. Прочность стальной конструкции значительно снижается в диапазоне 400–600 °С, а при нагрузке незащищенная конструкция практически мгновенно теряет устойчивость. В связи с этим на объектах повышенной опасности должны применяться конструкции, способные выдерживать высокие температуры, взрывную волну, то есть защищенные средствами огнезащиты. Кроме

того, стальные конструкции зданий и сооружений НГК, в особенности производство сжиженного газа, необходимо защитить не только от пожара, но и от низких температур. В связи с этим фактом становится актуальным использование огнезащитных материалов, которые способны сохранять свою целостность и теплоизоляционные свойства в условиях низких температур.

Одним из способов предотвращения распространения пожара и обеспечения устойчивости зданий и сооружений при пожаре является пассивная противопожарная защита (ППЗ). К средствам ППЗ относятся специальные огнезащитные штукатурки, краски, кожухи, плиты и интумесцентные краски [5, 6]. На объектах НГК широко распространены интумесцентные покрытия на основе эпоксидных связующих, важными характеристиками которых являются устойчивость к химическим и климатическим воздействиям, малое содержание летучих веществ, длительный срок эксплуатации (25 лет и более), высокая адгезия и ремонтпригодность [6–10].

Проведение испытаний по определению времени достижения критического состояния при криогенном и последующем огневом воздействиях двух огнезащитных

покрытий («ПРЕГРАД–ЭП» - образец № 1; «Огракс-СКЭ» – образец № 2) проводили в соответствии с методикой научно-технического центра «ПОЖ-АУДИТ» (Россия), основанной на положениях ISO 20088-1:2016 с уменьшением предельно-допустимой

температуры до -60 °С; для состава «Chartek 2218» (образец № 3) испытания проводились согласно ISO 20088-3:2018. Свойства и характеристики исследуемых огнезащитных покрытий представлены в таблице.

Таблица
Свойства и характеристики исследуемых огнезащитных покрытий

Свойства и характеристики	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Основа	модифицированные эпоксидные смолы и целевые наполнители		
Цвет и отделка	светло-серый	от серого до черного	светло-серый
Плотность, кг/л	$0,9 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,2$	1,0
Сухой остаток, %	97 ± 1	93 ± 3	100
Антикоррозионные свойства	да	да	да
Возможность нанесения на рабочей площадке	да	да	да
Используемое оборудование	безвоздушное распыление	комбинированное или безвоздушное распыление	безвоздушное распыление
Влажность при нанесении, %	не более 80	не более 90	не более 85
Температура нанесения, °С	не ниже -10	не ниже $+5$	не ниже $+10$

За предельное состояние при криогенном воздействии принимается достижение металла опытных образцов № 1 и № 2 критической температуры, равной -60 °С, для образца № 3 – -45 °С. За предельное состояние при огневом испытании при углеводородном температурном режиме принимается достижение металлом опытного образца критической температуры, равной 500 °С.

После проведения криогенного воздействия образец № 1 и № 2 извлекали из жидкого азота, осуществляли проверку покрытия на наличие трещин, вздутий и отслоений и размещали в печи для проведения огневых испытаний, после чего подвергли тепловому воздействию в режиме углеводородного горения согласно следующему выражению (1):

$$T - T_0 = 1080 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167t} - 0.675 \cdot e^{-2.5t}), \quad (1)$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °С; T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия t , °С; t – время, исчисляемое от начала испытаний, мин.

Сущность эксперимента заключалась в последовательном определении времени от начала криогенного воздействия на опытный образец до наступления пре-

дельного состояния образца при криогенном режиме испытания и последующем определении времени от начала теплового воздействия на опытный образец до наступления предельного состояния этого образца при углеводородном температурном режиме испытания.

Подготовленные образцы, каждый с тремя смонтированными под огнезащит-

ное покрытие термопарами, установленными методом зачеканивания в количестве трех штук в среднем сечении образцов на стенке двутавра и на внутренней поверхности полок в соответствии с [11], подверглись резкому охлаждению в результате помещения в специальную емкость с последующим заполнением жидким азотом с регистрацией данных по температуре металлической подложки под покрытием и визуальным наблюдением за изменением внешнего вида.

По результатам испытаний установлено, что образец № 1 толщиной сухого слоя 18 мм, нанесенного на колонну двутаврового сечения № 20Б1 длиной 1700 мм с объемным коэффициентом A_p/V не более 294 м^{-1} , обеспечивает время достижения критической температуры $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ на образце в течение 31 мин в режиме полного погружения в жидкий азот и последующее время достижения критической температуры $500 \text{ }^\circ\text{C}$ на образце в течение 120 мин при углеводородном температурном режиме.

По результатам испытаний установлено, что образец № 1 толщиной сухого слоя 27 мм, нанесенное на колонну двутаврового сечения №20Б1 длиной 1700 мм с объемным коэффициентом A_p/V не более 294 м^{-1} , обеспечивает время достижения критической температуры $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ на образце в течение 67 мин в режиме полного погружения в жидкий азот и последующее время достижения критической температуры $500 \text{ }^\circ\text{C}$ на образце в течение 120 мин при углеводородном температурном режиме.

Криогенное воздействие на первый и второй образцы завершено на 31 и 67 мин соответственно по достижению критической температуры, а последующие за ними огневые испытания завершены на 125 мин без достижения критической температуры на образцах.

Установлено, что образец № 2 толщиной сухого слоя 22,5 мм, нанесенного на квадратную трубу $100 \times 100 \times 8 \text{ мм}$ с объемным коэффициентом A_p/V не более

134 м^{-1} , обеспечивает огнезащитную эффективность в условиях воздействия режима углеводородного горения не менее 120 мин после 10-минутного криогенного воздействия на образец в режиме полного погружения в жидкий азот. При этом в процессе криогенного воздействия средняя температура образца не опускалась более чем на 40° относительно его исходной температуры. По окончании криогенного испытания средняя температура образца составила $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Огнезащитное покрытие после криогенного испытания не имело каких-либо видимых дефектов (вздутий, трещин, отслоений).

В процессе огневого испытания на 15 мин началось образование пенококса, защищающего конструкцию от нагревания. По достижении заданного времени (120 мин) испытание было прекращено. Средняя температура на образце составила $468 \text{ }^\circ\text{C}$. После завершения теплового воздействия выявлено, что образовавшийся пенококс сохранил свою структуру и целостность.

Установлено, что образец № 3 толщиной сухого слоя 8,67 мм, нанесенного на колонну двутаврового сечения с объемным коэффициентом $A_p/V = 295 \text{ м}^{-1}$, обеспечивает огнезащитную эффективность в условиях воздействия режима углеводородного горения не менее 120 мин после 30-минутного криогенного воздействия в процессе двухфазного распыления (two phase spray) жидкого азота.

В процессе криогенного воздействия средние температуры образцов опустились более чем на 50° относительно температуры окружающей среды (до $-45 \text{ }^\circ\text{C}$). Разница в температуре не привела к возникновению или распространению трещин на огнезащитном покрытии. Последующее за криогенным воздействием огневое испытание для образца № 3 завершено на 120 мин без достижения критической температуры.

Было проведено исследование огнезащитных покрытий «Преград-ЭП» и «Огракс-СКЭ» при полном погружении

образца в среду жидкого азота и «Chartek 2218» при двухфазном криогенном воздействии с последующими огневыми испытаниями в условиях углеводородного режима пожара.

В результате проведенного исследования установлено, что все эпоксидные вспучивающиеся покрытия не достигли критической температуры в 500 °С при достижении 120 мин, что доказывает их эффективность при использовании в качестве пассивной противопожарной

защиты объектов нефтегазового комплекса.

Кроме того, исследований, посвященных поведению огнезащитных покрытий стальных конструкций в условиях низких температур, проводится чрезвычайно мало, однако с учетом экспансии мирового нефтегазового комплекса в Арктике и Антарктике ожидается широкий интерес к подобным исследованиям.

Литература

1. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/473>.
2. Kalach A. V. et al. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. 042046.
3. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 г. М., 2021. 369 с.
4. ГОСТ Р ЕН 1363-2–2014. Национальный стандарт Российской Федерации «Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures».
5. Беззапонная О. В. и др. Совершенствование огнезащитных вспенивающихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса // Химия, физика и механика материалов. 2017. № 2 (15). С. 77.
6. Аналитический обзор средств огнезащиты стальных конструкций 2021–2022 / К. Калафат, Л. Вахитова. Украинский центр стального строительства. 202 с.
7. Нагановский Ю. К. Определение характеристик терморасширения материалов интумесцентного типа // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2019. № 2 (2). С. 12–18.
8. Еремина Т. Ю. Снижение пожарной опасности строительных конструкций и материалов за счет применения эффективных огнезащитных средств: дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 328 с.
9. Халилова Р. А. Повышение огнестойкости металлических конструкций объектов нефтегазовой отрасли применением вспучивающихся красок: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2008. 108 с.
10. Головина Е. В. Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли : автореферат дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 23 с.
11. ГОСТ Р 53295–2009. Национальный стандарт Российской Федерации «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency».

References

1. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/473>.
2. Kalach A. V. et al. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. 042046.
3. Godovoi` otchet o deiatel`nosti federal`noi` sluzhby` po e`kologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 g. M., 2021. 369 p.
4. GOST R EN 1363-2–2014. Natsional`ny`i` standart Rossi`skoi` Federatsii "Konstruktsii stroitel`ny`e. Ispytaniia na ognestoi`kost`. Al`ternativny`e i dopolnitel`ny`e metody`. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures".
5. Bezzaponnaia O. V. et al. Sovershenstvovanie ognezashchitny`kh vspenivaiushchikhsia sostavov dlia ispol`zovaniia na ob`ektakh neftegazovogo kompleksa // Himiia, fizika i mehanika materialov. 2017. № 2 (15). P. 77.
6. Analiticheskii` obzor sredstv ognezashchity` stal`ny`kh konstruktsii` 2021–2022 / K. Kalafat, L. Vahitova. Ukrainskii` centr stal`nogo stroitel`stva. 202 p.
7. Naganovskii` Iu. K. Opredelenie harakteristik termorasshireniia materialov intumescentnogo tipa // Aktual`ny`e voprosy` pozharnoi` bezopasnosti. 2019. № 2 (2). P. 12–18.
8. Eremina T. Iu. Snizhenie pozharnoi` opasnosti stroitel`ny`kh konstruktsii` i materialov za schet primeneniia e`ffektivny`kh ognezashchitny`kh sredstv: diss. ... d-ra tekhn. nauk. M., 2004. 328 p.

9. Halilova R. A. Povyshenie ognestoi`kosti metallicheskih konstrukcii` ob`ektov neftegazovoi` otrasli primeneniem vspuchivaiushchikhsia krasok: diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2008. 108 p.

10. Golovina E. V. Metodika ocenki termostoi`kosti ognezashchitny`kh sostavov intumescentnogo tipa dlia ob`ektov neftegazovoi` otrasli: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk. SPb., 2019. 23 p.

11. GOST R 53295–2009. Nacional`ny`i` standart Rossii`skoi` Federacii "Sredstva ognezashchity` dlia stal`ny`kh konstrukcii`. Obshchie trebovaniia. Metod opredeleniia ognezashchitnoi` e`ffektivnosti. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency.