

УДК 622.276.8

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПИРОФОРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ В РЕЗЕРВУАРАХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СЕРНИСТЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Галиахметов Эмир Айратович, Султанов Рифкат Мухатъярович, Хафизов Шамиль Ильдарович
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены механизмы образования пирофорных отложений в резервуарах для хранения сернистой нефти, обусловленные сероводородной коррозией стальных конструкций с образованием реактивных сульфидов железа и их интенсивным экзотермическим окислением при контакте с атмосферным кислородом. Особое внимание уделено факторам риска, таким как анаэробные условия хранения под слоем углеводородов и периодическое вскрытие резервуаров. Проведен сравнительный анализ эффективности дезактивации пирофорных отложений растворами, полученными реакцией карбамида и формальдегида с различными молярными соотношениями, обеспечивающими поликонденсацию с формированием прочной защитной полимерной пленки, надежно снижающей пирофорную активность. Детально описана методика лабораторных испытаний модифицированным методом: подготовка растворов, процедура обработки раствором и лабораторные испытания с регистрацией температуры саморазогрева и времени достижения пика реакции. Приведены результаты рентгенфлуоресцентного анализа обработанных образцов, позволяющие оценить минеральный состав отобранных образцов. Метод рекомендован для внедрения на объектах нефтяной промышленности. Предложенная технология обеспечивает экономию времени и повышение безопасности при проведении ремонтных работ. Полученные результаты демонстрируют готовность метода к внедрению. Предложенный метод дезактивации пирофорных отложений обеспечивает снижение риска возникновения аварий, связанного с пирофорной активностью на объектах нефтяной промышленности.

Ключевые слова: пирофорные отложения, пожары, сернистые отложения, нейтрализация пирофорных отложений, пожарная безопасность, температура саморазогрева, температура самовоспламенения

Для цитирования: Галиахметов Э. А., Султанов Р. М., Хафизов Ш. И. Разработка состава для нейтрализации пирофорных отложений, сформировавшихся в резервуарах для хранения сернистых нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2026. № 3 (52). С. 46–56.

DEVELOPMENT OF A COMPOSITION FOR NEUTRALIZING PYROPHORIC DEPOSITS FORMED IN STORAGE TANKS FOR SULFUR CONTAINING PETROLEUM PRODUCT

Emir A. Galiakhmetov, Rifkat M. Sultanov, Shamil I. Hafizov
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The article considers the mechanisms of formation of pyrophoric deposits in tanks for storing sulfurous oil, caused by hydrogen sulfide corrosion of steel structures with the formation of reactive iron sulfides and their intense exothermic oxidation upon contact with atmospheric oxygen. Special attention is given to risk factors such as anaerobic storage conditions under a hydrocarbon layer and periodic opening of tanks. A comparative analysis of the effectiveness of deactivation of pyrophoric deposits with solutions with various molar ratios is conducted, ensuring polycondensation with the formation of a strong protective polymer film that reliably reduces pyrophoric activity. The laboratory testing methodology by a modified method is described in detail: preparation of solutions, solution treatment procedure, and laboratory tests with recording of self-heating temperature and time to reach the reaction peak. Results of X-ray fluorescence analysis of treated samples are presented, confirming a significant reduction in pyrophoric activity. The method is recommended for implementation at oil industry facilities. The proposed technology ensures time savings and increased safety during maintenance operations. The obtained results demonstrate the readiness of the method for implementation. The proposed method of deactivation of pyrophoric deposits ensures a reduction in the risk of accidents associated with pyrophoric activity at oil industry facilities.

Keywords: pyrophoric deposits, fires, sulfur deposits, neutralization of pyrophoric deposits, fire safety, self-heating temperature, autoignition temperature

For citation: Galiakhmetov E. A., Sultanov R. M., Hafizov Sh. I. Development of a composition for neutralizing pyrophoric deposits formed in storage tanks for sulfur containing petroleum product // *Technosphere safety*. 2026. No. 3 (52). P. 46–56.

Введение

Пирофорные отложения являются одним из наиболее опасных факторов пожарной безопасности на объектах добычи, переработки и хранения сернистой нефти и нефтепродуктов. Они формируются на внутренних поверхностях резервуаров, аппаратов и трубопроводов в результате сероводородной коррозии стали с образованием сульфидов железа, которые при контакте с кислородом, содержащимся в воздухе, способны к самонагреву и самовозгоранию. В работах, посвященных анализу причин аварий и пожаров на резервуарных парках, подчеркивается, что пирофорные соединения относятся к характерным источникам

возгорания, особенно при проведении ремонтных и огневых работ [1–4].

Опасность представляют резервуары для хранения высокосернистой нефти и нефтепродуктов, где создаются условия для возникновения пирофорных отложений: пониженное содержание кислорода в газовом пространстве, наличие сероводорода и влаги, периодические циклы заполнения и опорожнения. При вскрытии такого оборудования и обеспечении доступа воздуха к ранее анаэробным отложениям происходит резкое изменение термодинамических условий, что приводит к интенсивному окислению сульфидов железа и может вызвать локальное возгорание с последующим распространением пожара [5–8].

Исследования коррозионных процессов во внутренних полостях резервуаров с сернистой нефтью показывают, что в составе осадка преобладают пирофорные сульфиды железа, продуктами трансформации которых являются оксиды и сера, а также примеси механического и минерального происхождения. Минеральный анализ таких отложений подтверждает наличие реакционноспособных фаз, которые могут сохранять пирофорные свойства даже при частичном высыхании и охлаждении [9, 10].

На сегодняшний день существует широкий спектр методов профилактики образования и дезактивации пирофорных сульфидов на объектах нефтедобычи и нефтепереработки. В данной статье по дезактивации пирофорных соединений рассмотрены традиционные подходы: предварительное снижение содержания сернистых соединений в сырье, защелачивание нефти и нефтепродуктов, применение коррозионностойких материалов и ингибиторов, образующих защитные пленки на металле [11, 12].

Наиболее распространены технологические решения, основанные на флегматизации и химической дезактивации, такие как смачивание отложений водой и длительное пропаривание оборудования перегретым паром. Такие методы имеют недостатки: отложения быстро высыхают и вновь становятся пирофорными, а пропаривание занимает 3–4 суток.

Материалы и методы

Анализ минерального состава пирофорных отложений из резервуаров для хранения сернистой нефти имеет ключевое значение для понимания механизмов их образования и выбора эффективных методов дезак-

тивации. По данным исследований, выполненных на действующих нефтебазах и НПЗ, такие отложения представляют собой многокомпонентные системы, включающие как, собственно, пирофорные сульфиды железа, так и продукты коррозии металла и механические примеси. Образцы, использованные для данного исследования, отобраны с каре действующих РВС-5000 и РВС-1000.

Для уточнения элементного состава образцов была проведена съемка на рентгенофлуоресцентном спектрометре, результаты которой представлены в табл. 1 для проб с РВС-1000 и РВС-5000. Анализ элементного состава позволил получить набор данных по широкому спектру элементов, содержащихся в пирофорных отложениях, таких как Si, Fe, S.

В пробе № 1 установлено содержание серы и оксида железа на уровне 25,292 % и 29,814 % соответственно. Проба № 2 отличается более высоким содержанием оксида железа (49,095 % Fe_2O_3) и меньшей долей серы (21,614 % S), что свидетельствует о более высокой степени окисления железосодержащей фазы.

Анализ полученных данных показал, что исследуемые пробы являются существенно неоднородными по элементному составу, разный уровень содержания железа и серы позволяет говорить о различии в условиях их образования и степени окисления. Сера и железо являются основными элементами.

Помимо рентгенофлуоресцентного анализа был так же применен метод порошковой рентгеновской дифракции, основой которого является регистрация дифракции рентгеновских лучей на порошкообразных или микрокристаллических образцах с целью определения их минерального

состава [13]. Результаты анализа минерального состава приведены в табл. 2. Данный метод позволяет выявить присутствующие минералы и определить соотношение различных форм соединений железа.

Целью лабораторных испытаний являлось экспериментальное определение температуры самовоспламенения пирофорных отложений и количественная оценка эффективности их дезактивации разработанными растворами.

Образцы пирофорных отложений отбирались непосредственно из резервуаров вертикальных стальных под потоком инертного газа для исключения преждевременного окисления. В лабораторных условиях материал помещался в фарфоровую чашу и измельчался до консистенции пастообразной массы, что обеспечивало репрезентативность и однородность пробы.

Таблица 1
Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Table 1
The results of X-ray fluorescence analysis

Лабораторный номер образца Laboratory sample ID	Fe ₂ O ₃ , %	S, %	ППП*, % LOI*, %	Примеси суммарно, если не указано иное, <1 %, % Impurities, total, unless otherwise indicated <1 %, %
Проба № 1 Sample No. 1	29,814	25,292	44,001	SiO ₂ (0,29 %), MgO (0,15 %), MnO (0,07 %), Al ₂ O ₃ (0,12 %), Na ₂ O (0,11 %), Cl, Cu, Ni, Co, W, Cr (<0,07 %)
Проба № 2 Sample No. 2	49,095	21,614	27,504	SiO ₂ (0,63 %), MgO (0,29 %), MnO (0,18 %), Al ₂ O ₃ (0,24 %), Na ₂ O (0,15 %), TiO ₂ (0,03 %), Ni, Co, W, Cr, Cu (<0,09 %)

*ППП — потери при прокаливании пробы в муфельной печи при $t = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и неопределяемые компоненты.
*Note: LOI — loss on ignition of the sample in a muffle furnace at $t = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ and undetermined components.

Таблица 2
Результаты порошковой дифракции, %

Table 2
Powder diffraction results, %

Минеральный состав, % Mineral composition, %	Лабораторный номер образца Laboratory sample ID	
	Проба № 1 Sample No. 1	Проба № 2 Sample No. 2
Акагенит Acaganeite β-FeO(OH)	0,0	0,0
Макинавит Mackinawite (Fe, Ni) ₉ S ₈	1,1	17,8

Окончание таблицы 2

Минеральный состав, % Mineral composition, %	Лабораторный номер образца Laboratory sample ID	
	Проба № 1 Sample No. 1	Проба № 2 Sample No. 2
Марказит Marcasite FeS_2	5,2	6,5
Сера Sulphur S_8	64,6	38,0
Чукановит Chukanovite $\text{Fe}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	0,0	1,9
Магнетит Magnetite Fe_3O_4	1,1	2,6
Гематит Hematite Fe_2O_3	0,3	0,0
Гетит Goethite $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$	8,2	6,2
Пирит Pyrite FeS_2	16,3	6,4
Грейгит Greygite Fe_3S_4	3,2	20,6

Лабораторные испытания образцов пиррофорных отложений проводились по модернизированной методике, описанной в [14, 15]. В сосуд помещался образец массой $3,0 \pm 0,1$ г. Подача кислорода осуществлялась со скоростью 0,2–0,3 л/мин с предварительной калибровкой расходомера.

Образцы пиррофорных отложений сначала были испытаны в исходном состоянии для оценки их пиррофорной активности и определения исходной температуры самовоспламенения, после чего были подвергнуты обработке растворами, полученными при смешивании карбамида и формалина в молярных соотношениях 1:2, 1:6 (раствор № 1 и раствор № 2).

Порядок приготовления растворов заключался в следующем: в стеклянный реактор объемом 100 мл, установленный на магнитной мешалке, загружали 6,2 г карбамида, после чего прикапывали 37%-й водный раствор формалина объемом 17 г при температуре 20 °С, после чего перемешивали до стабилизации температуры — для получения раствора № 1. Аналогичным образом был приготовлен раствор № 2 при содержании карбамида 6,2 г, водного раствора формалина — 51 г.

Обработка образцов проводилась на протяжении суток для обеспечения полного взаимодействия реагентов с образцами. Эффективность снижения пиррофорной

активности определяется путем сопоставления полученных в ходе лабораторных испытаний данных с исходными показателями образцов, не подвергнутых обработке раствором.

Эффективность предложенного раствора при дезактивации пирофорных отложений обусловлена химической реакцией, протекающей непосредственно на поверхности реактивных сульфидов железа.

Полученный реагент полностью перекрывает доступ атмосферного кислорода к активным частицам сульфидов (FeS , FeS_2), предотвращая инициацию экзотермических окислительных реакций, ответственных за самовозгорание. Действие реагента на поверхности стабилизирует рыхлые пирофорные отложения, снижая риск их воспламенения, что подтверждается результатами лабораторных испытаний, приведенных в табл. 3.

Таблица 3
Результаты испытаний образцов

Table 3
Sample test results

№	Шифр образца Sample ID	Описание образца Sample description	Температура самовоспламенения, °C Autoignition temperature, °C	Длительность испытания Test duration
1	Проба № 1 Sample No. 1	Отложения с внутренней поверхности газоотводной линии РВС-1000 (от 01.09.2023) Deposits from the internal surface of the gas outlet line of RVS-1000 (dated 01.09.2023)	175	38 мин 8 с 38 min. 8 sec.
2	Проба № 2 Sample No. 2	Отложения с каре РВС-5000 (от 06.07.2023) Deposits from the square of RVS-5000 (dated 06.07.2023)	190	33 мин 15 с 33 min. 15 sec.
3	Проба № 1 Sample No. 1	Отложения с внутренней поверхности газоотводной линии РВС-1000 (от 01.09.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 1) Deposits from the internal surface of the gas outlet line of RVS-1000 (dated 01.09.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 1)	245	32 мин 15 с 32 min. 15 sec.
4	Проба № 2 Sample No. 2	Отложения с каре РВС-5000 (от 06.07.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 1) Deposits from the square of RVS-5000 (dated 06.07.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 1)	240	34 мин 48 с 34 min. 48 sec.
5	Проба № 1 Sample No. 1	Отложения с внутренней поверхности газоотводной линии РВС-1000 (от 01.09.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 1) Deposits from the internal surface of the gas outlet line of RVS-1000 (dated 01.09.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 1)	260	34 мин 43 с 34 min. 43 sec.

Окончание таблицы 3

№	Шифр образца Sample ID	Описание образца Sample description	Температура самовоспламенения, °C Autoignition temperature, °C	Длительность испытания Test duration
6	Проба № 2 Sample No. 2	Отложения с каре РВС-5000 (от 06.07.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 1) Deposits from the square of RVS-5000 (dated 06.07.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 1)	251	35 мин 16 с 35 min. 16 sec.
7	Проба № 1 Sample No. 1	Отложения с внутренней поверхности газоотводной линии РВС-1000 (от 01.09.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 2) Deposits from the internal surface of the gas outlet line of RVS-1000 (dated 01.09.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 2)	262	32 мин 11 с 32 min. 11 sec.
8	Проба № 2 Sample No. 2	Отложения с каре РВС-5000 (от 06.07.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 2) Deposits from the square of RVS-5000 (dated 06.07.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 2)	258	38 мин 15 с 38 min. 15 sec.
9	Проба № 1 Sample No. 1	Отложения с внутренней поверхности газоотводной линии РВС-1000 (от 01.09.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 2) Deposits from the internal surface of the gas outlet line of RVS-1000 (dated 01.09.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 2)	268	33 мин 16 с 33 min. 16 sec.
10	Проба № 2 Sample No. 2	Отложения с каре РВС-5000 (от 06.07.2023) находились под воздействием раствора в течение 1 суток (раствор № 2) Deposits from the square of RVS-5000 (dated 06.07.2023) were exposed to the solution for 1 day (Solution No. 2)	278	37 мин 28 с 37 min. 28 sec.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили, что пирофорные отложения в резервуарах сернистой нефти представляют значительную пожарную опасность, обусловленную реактивными сульфидами железа (FeS, FeS₂), проявляющими пирофорные свойства при контакте с атмосферным кислородом после анаэробного хранения.

Обзор существующих методов нейтрализации показал ограниченную эффективность традиционных подходов, обеспечивающих краткосрочную защиту с технологическими недостатками, такими как коррозия оборудования и длительные простои.

Разработан метод дезактивации пирофорных отложений обработкой раствором реагента, полученного реакцией карбамида с формальдегидом. Лабораторные испыта-

ния продемонстрировали существенное повышение температуры самовоспламенения и увеличение времени реакции, что свидетельствует об эффективной дезактивации обработанных образцов. Оптимальным является соотношение реагентов 1:6. Метод отличается технологической простотой, безопасностью, превосходя традиционные способы. Технология рекомендована для внедрения на объектах хранения сернистой

нефти, что позволит сократить время подготовки резервуаров к ремонту и повысить безопасность эксплуатации.

Полученные результаты свидетельствуют о применимости разработки в условиях производства и ее готовности к апробации в реальных производственных условиях нефтяной промышленности, в частности на объектах транспорта и хранения сернистых нефтей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миннихметов В. А. Эффективный метод дезактивации пиррофорных сульфидов в аппарате реактора гидроочистки // Наука и практика: современные тенденции развития : сборник статей III Международной научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 614–615. URL: <https://clck.su/euUZy> (дата обращения: 04.05.2026).
2. Отдушкин И. С. Предотвращение самовозгорания пиррофорных отложений при добыче и транспортировке, а также хранении сернистых нефтей и газов // Булатовские чтения. 2018. № 2. С. 74–76. URL: <https://clck.su/HSFOv> (дата обращения: 04.05.2026).
3. Петров А. П., Иванов В. Г., Глухов Г. Ю. Исследование опасности самовозгорания пиррофорных отложений в резервуарах с нефтью // Технологии техносферной безопасности. 2009. № 3 (25). URL: <https://clck.su/cclyK> (дата обращения: 04.05.2026).
4. Сумарченкова И. А. Особенности образования пиррофорных отложений в резервуарах с высокосернистой нефтью // Флагман науки. 2025. № 8 (31). С. 129–131. URL: <https://clck.su/chaCD> (дата обращения: 04.05.2026).
5. Маковичук К. И., Султанов Р. М., Салихов И. К. Образование пиррофорных соединений и защита оборудования от них // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2018. С. 15–18. URL: <https://clck.su/RpYBo> (дата обращения: 04.05.2026).
6. Назаров В. П., Степаненко Д. А., Степаненко Д. А. Обоснование целесообразности повышения уровня пожаровзрывобезопасности при подготовке резервуаров к ремонтным огневым работам // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 3 (89). С. 75–85. DOI: 10.25257/TTS.2020.3.89.75-85.
7. Коррозия внутренней поверхности резервуаров с сернистой нефтью и пиррофорные свойства образующихся отложений / И. Р. Бегишев [и др.] // Практика противокоррозионной защиты. 2020. Т. 25, № 1. С. 44–50. DOI: 10.31615/j.corros.prot.2020.95.1-6.
8. Исследование состава отложений на поверхности резервуаров при хранении сернистых нефтей / К. И. Маковичук [и др.] // Интеграционные процессы мирового научно-технологического развития : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической

конференции в 2 ч. Белгород, 2017. Ч. II. С. 123–127. URL: <https://clck.su/mLyQX> (дата обращения: 04.05.2026).

9. Zhang Y., Wang Y., Li J. Oxidation to spontaneous combustion of pyrophoric iron sulphides in oil storage tanks: A case study // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2023. Vol. 85. Art. 105259. URL: <https://clck.su/ljdTo> (дата обращения: 04.05.2026).

10. Предупреждение возгорания пирофорных отложений в стальных резервуарах / Л. А. Храмцова [и др.] // *Бюллетень результатов научных исследований*. 2019. № 1. С. 48–58. DOI: 10.20295/2223-9987-2019-1-50-58.

11. Ханипов А. Р. Современные решения по обеспечению промышленной безопасности резервуарных парков // *Аллея науки*. 2021. Т. 2, № 16 (63). С. 177–184. URL: <https://clck.su/GRpoq> (дата обращения: 04.05.2026).

12. Применение сульфоксидов как эффективных дезактиваторов пирофорных отложений / И. К. Салихов [и др.] // *Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны*. Иваново, 2017. С. 200–203. URL: <https://clck.su/RpYBo> (дата обращения: 04.05.2026).

13. Развитие метода рентгеновской дифракции в лаборатории минералогии ООО «Тюменский нефтяной научный центр» / М. А. Александров [и др.] // *Нефтяная провинция*. 2024. № 1 (37). С. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.1.59-73>.

14. Разработка модифицированного метода испытания образцов пирофорных отложений, сформировавшихся в резервуарах для хранения серосодержащих нефтей и нефтепродуктов, на пирофорную активность / И. Ф. Хафизов [и др.] // *Техносферная безопасность*. 2025. № 1 (46). С. 127–135.

15. Моделирование тепловых процессов при нагреве пирофорного слоя в резервуаре вертикальном стальном для хранения нефти и нефтепродуктов / А. Г. Азовцев [и др.] // *Технологии техносферной безопасности*. 2018. Вып. 2 (78). С. 43–54. DOI: 10.25257/TTS.2018.2.78. 43–54.

REFERENCES

1. Minniakhmetov V. A. Effective method for decontamination of pyrophoric sulfides in the process plant of hydrotreating reactor // *Science and Practice: Current Development Trends : Collection of Articles from the III International Scientific and Practical Conference*. Penza, 2021. P. 614–615. URL: <https://clck.su/euUZy> (accessed 04.05.2026).

2. Otdyshkin I. S. Prevention of the firefighting of pyrochoric deposits at the production and transportation, and the storage of sulfur oil and gas // *Readings of A. I. Bulatov*. 2018. No. 2. P. 74–76. URL: <https://clck.su/HSFOv> (accessed 04.05.2026).

3. Petrov A. P., Ivanov V. G., Gluhov G. Yu. Research of the risk of spontaneous combustion of pyrophoric deposits in reservoirs of oil // *Technology of technosphere safety*. 2009. No. 3 (25). URL: <https://clck.su/cclyK> (accessed 04.05.2026).

4. Sumarchenkova I. A. Mechanism of pyrophoric deposit formation in crude oil tanks // *Flagman nauki*. 2025. No. 8 (31). P. 129–131. URL: <https://clck.su/chaCD> (accessed 04.05.2026).

5. Makovichuk K. I., Sultanov R. M., Salikhov I. K. Formation of pyrophoric compounds and protection of equipment against them // Industrial Safety Expertise and Diagnostics of Hazardous Production Facilities. 2018. P. 15–18. URL: <https://clck.ru/RpYBo> (accessed 04.05.2026).
6. Nazarov V. P., Stepanenko D. A., Stepanenko D. A. Rationale for increasing the level of fire safety during preparation of tanks for fire repairs // Technology of technosphere safety. 2020. Vol. 3 (89). P. 75–85. DOI: 10.25257/TTS.2020.3.89.75-85.
7. Corrosion of the inner surface of the tanks with sulfurous oil and pyrophoric properties of formed deposits / I. R. Begishev [et al.] // Theory and Practice of Corrosion Protection. 2020. Vol. 25. No. 1. P. 44–50. DOI: 10.31615/j.corros.prot.2020.95.1-6.
8. Investigation of the composition of deposits on the surface of tanks during storage of sour crude oils / K. I. Makovichuk [et al.] // Integration Processes of Global Scientific and Technological Development : collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference in 2 parts. Belgorod, 2017. Part II. P. 123–127. URL: <https://clck.ru/mLyQX> (accessed 04.05.2026).
9. Zhang Y., Wang Y., Li J. Oxidation to spontaneous combustion of pyrophoric iron sulphides in oil storage tanks: A case study // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2023. Vol. 85. Art. 105259. URL: <https://clck.ru/ljdTo> (accessed 04.05.2026).
10. Prevention of ignition of pyrophoric deposits in steel tanks / L. A. Khramtsova [et al.] // Bulletin of Scientific Research Results. 2019. No. 1. P. 48–58. DOI: 10.20295/2223-9987-2019-1-50-58.
11. Khanipov A. R. Modern solutions for ensuring industrial safety of tank farms // Alley of Science. 2021. Vol. 2. No. 16 (63). P. 177–184. URL: <https://clck.ru/GRpoq> (accessed 04.05.2026).
12. Application of sulfoxides as effective deactivators of pyrophoric deposits / I. K. Salikhov [и др.] // Current Issues of Improving Engineering Systems for Ensuring Fire Safety of Facilities : collection of materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, dedicated to the Year of Civil Defense. Ivanovo, 2017. P. 200–203. URL: <https://clck.ru/RpYBo> (accessed 04.05.2026).
13. Development of the X-ray diffraction method in the mineralogy laboratory of Tyumen Petroleum Research Center LLC / M. A. Aleksandrov [et al.] // Neftyanaya Provintsiya. 2024. No. 1 (37). P. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.1.59-73>.
14. The development of the modified method for testing samples of pyrophoric deposits formed in storage tanks for sulfur-containing oils and petroleum products for pyrophoric activity / I. F. Khafizov [et al.] // Technospheric safety. 2025. No. 1 (46). P. 127–135.
15. Modeling of thermal processes when heating of pyrophoric deposits at the vertical steel tanks for oil storage / A. G. Azovtsev [et al.] // Technology of technosphere safety. 2018. Vol. 2 (78). P. 43–54. DOI: 10.25257/TTS.2018.2.78.43-54.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галияхметов Эмир Айратович, магистрант кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1); e-mail: galiahmetovemir@yandex.ru

Султанов Рифкат Мухатьярович, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1); РИНЦ ID: 49775; Scopus Author ID: 6701679307.

Шамиль Ильдарович Хафизов, магистрант кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1); e-mail: chafisovSI_44@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Emir A. Galiakhmetov, Master's student of the Department of Fire and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technological University (1 Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russian Federation); e-mail: emirgaliakhmetov@gmail.com

Rifkat M. Sultanov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Fire and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technological University (1 Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russian Federation); ID RSCI: 49775; Scopus Author ID: 6701679307.

Shamil I. Hafizov, Master's student of the Department of Fire and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technological University (1 Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russian Federation); e-mail: chafisovSI_44@mail.ru