

Научная статья

УДК 620.197.3:678.744.32; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-164-173

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИАКРИЛАТА НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Хафизов Ильдар Фанилевич.**

**Академия наук Республики Башкортостан, г. Уфа, Россия;**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия.**

**Султанов Рифкат Мухатъярович;**

**✉ Бакиров Дамир Робертович.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия**

**✉ [damir.bakirov.99@mail.ru](mailto:damir.bakirov.99@mail.ru)**

*Аннотация.* Коррозия металлов и трубопроводов является серьезной проблемой, вызывающей значительные экономические потери. В дополнение к электрохимической коррозии все чаще встречается биологическая коррозия, вызванная микроорганизмами. Большое влияние на снижение скорости распространения коррозии оказывает использование коррозионностойких материалов, защитных покрытий, электрохимической защиты и ингибиторов коррозии.

Целью исследования являлось создание эффективного ингибитора коррозии, способного заменить импортные аналоги и обеспечить надежную защиту металлических поверхностей трубопровода. Для получения результатов исследования применялся метод эксперимента.

Полученные данные в ходе исследования показывают наличие высокой антикоррозионной активности синтезированного соединения. Проведенные исследования открывают широкие перспективы для дальнейшего совершенствования и внедрения разработанного ингибитора в различных отраслях промышленности, способствуя повышению эффективности производственных процессов и обеспечению пожарной безопасности.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, авария, коррозия, трубопровод, ингибитор, полиакрилат натрия, скорость коррозии

**Для цитирования:** Хафизов И.Ф., Султанов Р.М., Бакиров Д.Р. Применение полиакрилата натрия в качестве ингибитора коррозии для повышения пожарной безопасности на трубопроводном транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 164–173. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-164-173.

Scientific article

## THE USE OF SODIUM POLYACRYLATE AS A CORROSION INHIBITOR TO IMPROVE FIRE SAFETY IN PIPELINE TRANSPORT

**Khafizov Ildar F.****Academy of sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia;****Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia.****Sultanov Rifkat M.;****✉ Bakirov Damir R.****Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia****✉ [damir.bakirov.99@mail.ru](mailto:damir.bakirov.99@mail.ru)**

*Abstract.* Corrosion of metals and pipelines is a serious problem causing significant economic losses. In addition to electrochemical corrosion, biological corrosion caused by microorganisms is becoming more common. The use of corrosion-resistant materials, protective coatings, electrochemical protection and corrosion inhibitors have a great influence on reducing the rate of corrosion propagation.

The purpose of the study was to create an effective corrosion inhibitor that can replace imported analogues and provide reliable protection of metal surfaces of the pipeline from corrosion. The experimental method was used to obtain the results of the study.

The data obtained during the study show the presence of high anti-corrosion activity of the synthesised compound. The conducted research opens wide prospects for further improvement and implementation of the developed inhibitor in various industries, contributing to the efficiency of production processes and ensuring fire safety.

*Keywords:* fire safety, corrosion, pipeline, inhibitor, sodium polyacrylate, corrosion rate

**For citation:** Khafizov I.F., Sultanov R.M., Bakirov D.R. The use of sodium polyacrylate as a corrosion inhibitor to improve fire safety in pipeline transport // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 164–173. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-164-173.

### Введение

На сегодняшний день коррозионное воздействие на металлические оборудования и трубопроводный транспорт – одна из важнейших научно-технических проблем. Из-за того, что скорость увеличения потерь от коррозии гораздо выше, чем темпы роста производства металла, данная проблема очень актуальна. В странах с развитой промышленностью убытки от коррозии составляют около десятой части от общего национального дохода, причем расходы на восстановление и замену оборудования и коммуникационных средств намного превышают стоимость конструктивного материала [1–3]. Эта проблема приобретает особое значение в контексте пожарной безопасности. Коррозионные повреждения трубопроводов, особенно тех, которые транспортируют легковоспламеняющиеся жидкости и газы (например, нефть и газ), ведут к утечкам, создавая огромный риск пожаров и взрывов с катастрофическими последствиями.

Коррозионные процессы в трубопроводном транспорте нефти являются результатом сложного взаимодействия различных факторов: как внешних, так и внутренних.

К внутренним факторам относятся:

- качество технологической воды: присутствие высоких концентраций минеральных солей, кислых газов, а также механических примесей в воде, используемой для поддержания пластового давления, увеличивающее коррозионную активность;

- гидравлические параметры потока нефти, такие как скорость, давление, температура и турбулентность, оказывающие непосредственное влияние на механические нагрузки,

которые испытывает оборудование во время транспортировки нефти. Эти нагрузки, в свою очередь, значительно влияют на интенсивность коррозионных процессов, увеличивая вероятность повреждения оборудования [4];

- химический состав и физические свойства нефти и их изменения: химический состав (содержание воды, сернистых соединений и другие коррозионно-активные компоненты), физические свойства, такие как вязкость, плотность, температура и давление нефти и их изменение в процессе транспортировки. Совокупность этих факторов может приводить к увеличению коррозионной активности [5];

- технологические операции: химическая обработка, включающая в себя применение ингибиторов коррозии и биоцидов, а также промывка, очистка, ремонт и обслуживание оборудования влияют на его устойчивость к коррозионным процессам.

К внешним факторам, влияющим на коррозионную активность, относятся:

- климатические условия: температурные условия, относительная влажность, осадки, воздействие солнечной радиации и многие другие виды климатического воздействия, которые способны оказывать значительное влияние на протекающие коррозионные процессы. Так, повышенная влажность воздуха и перепады температуры способствуют ускорению скорости коррозионных процессов, а воздействие солнечной радиации может вызывать фотохимическую коррозию;

- среда эксплуатации: тип почвы, грунтовых вод, атмосферные загрязнения и другие факторы окружающей среды могут влиять на коррозионную стойкость оборудования. Например, кислотные почвы могут вызывать кислотную коррозию, а соленая вода может увеличивать скорость электрохимической коррозии.

В настоящее время помимо повреждений стальных конструкций, вызванных гальванической коррозией, наблюдается множество примеров выхода из строя трубопроводов и оборудования вследствие процессов биологической коррозии. Микроорганизмы могут формировать колонии на поверхности металлов, создавая наросты мицелия или слизи [6]. Под такими наростами в результате различий в электрических потенциалах на различных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов микроорганизмами может развиваться язвенная коррозия, как указано на рис. 1 [7].

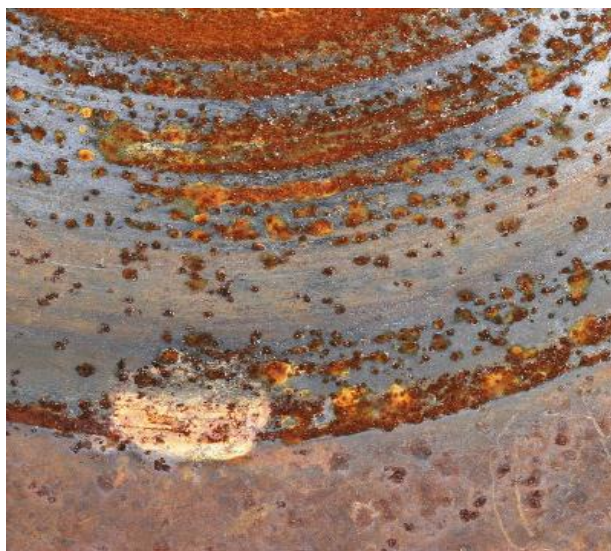


Рис. 1. Язвенная коррозия на стенке трубопровода

Развитие язвенной коррозии особенно опасно, так как может привести к внезапным и трудно предсказуемым разрывам трубопроводов с последующим возгоранием. Помимо непосредственной опасности пожара коррозия ослабляет несущие конструкции, что может усугубить последствия пожара, приводя к обрушению зданий и сооружений.

Коррозию можно контролировать путем применения разнообразных методов. Рациональным подходом к борьбе с коррозией является использование материалов, демонстрирующих высокую устойчивость к коррозии, для возведения конструкций и оборудования. Тем не менее ввиду различных причин данное решение не всегда представляется возможным. В таких случаях для обеспечения долговечности металлических трубопроводов применяют разнообразные методы защиты. К наиболее распространенным подходам относятся:

- добавление в агрессивную среду ингибиторов коррозии;
- электрохимическая защита;
- применение различных защитных покрытий.

Среди перечисленных выше способов борьбы с коррозией наиболее распространенным решением является использование ингибиторов. Ингибиторы коррозии демонстрируют универсальность, применимую к широкому спектру металлов и сплавов. По сравнению с альтернативными методами, такими как использование материалов с высокой стойкостью к коррозии или специальных защитных покрытий, применение ингибиторов часто оказывается более экономичным вариантом. Однако поиск и разработка новых, высокоэффективных и экологически безопасных ингибиторов остаются актуальными задачами, требующими учета технологических параметров производства [8]. Это особенно важно в контексте пожарной безопасности, где предотвращение коррозии является критическим фактором для снижения риска утечек горючих веществ и обрушения конструкций в случае пожара, обеспечивая безопасность людей и окружающей среды на объектах нефтегазового производства и других отраслях промышленности.

### Методы исследования

В рамках настоящего исследования рассматривается возможность применения водорастворимых полимеров на основе акриловой кислоты в качестве ингибиторов внутренней коррозии трубопровода. Исследование направлено на изучение свойств и эффективности водорастворимых полимерных систем методом радикальной полимеризации акрилата натрия ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COONa}$ ) в качестве ингибиторов коррозии. Акрилат натрия синтезировали нейтрализацией акриловой кислоты 35 % водным раствором гидроксида натрия ( $\text{NaOH}$ ).

Растворы реакционных систем были получены методом радикальной полимеризации, описанным в работах [9, 10], с использованием методики, предложенной в работе [11]. При этом концентрация окислительно-восстановительных инициаторов, запускающих процесс полимеризации, оставалась неизменной.

После завершения реакции полимеризации полученные материалы подвергались сушке при температуре 50 °С. Высушенные материалы затем измельчали до получения порошка, который использовался для приготовления растворов полимеров.

Опыты по определению степени защитных свойств ингибитора проводились гравиметрическим методом по ГОСТ 9.506–87 «Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности».

Скорость коррозии ( $V_K$ ) в  $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$  вычисляли по формуле:

$$V_K = \frac{M_1 - M_2}{S \cdot t},$$

где  $M_1$  – масса образца до испытания, г;  $M_2$  – масса образца после испытания, г;  $S$  – площадь поверхности образца,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – время испытания, ч.

Степень защиты ингибиторов коррозии вычисляли по формуле:

$$Z = \frac{V_{K0} - V_{Ki}}{V_{K0}},$$

где  $V_{\text{ко}}$  – скорость коррозии образцов в неингибированной среде,  $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ ;  $V_{\text{ки}}$  – скорость коррозии образцов в ингибированной среде,  $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ .

В качестве агрессивной среды использовалась пластовая вода, предоставленная компанией ООО «АЧИМ ДЕВЕЛОПМЕНТ» (место отбора ГПП-51), ионный состав которой приведен в табл. 1.

Таблица 1

#### Анионный и катионный состав пластовой воды

| Содержание ионов, мг/л |                  |                  |                  |                 |               |                          |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------------------|
| анионы                 |                  | катионы          |                  |                 |               |                          |
| $\text{Cl}^-$          | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{NH}_4^+$ | $\text{Na}^+$ | $\text{Fe}_{\text{общ}}$ |
| 11                     | 98               | 9                | 1,3              | 12,6            | 4,8           | 85,3                     |

#### Результаты исследования и их обсуждение

С целью определения оптимальной концентрации ингибитора для достижения максимальной степени защитных свойств проведены эксперименты с использованием полимеров со среднемассовой молекулярной массой ( $M_w$ )  $\leq 20\,000$ . В эксперименте использовались пластинки марки Сталь-3. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Влияние концентрации ингибитора на скорость коррозии

| Дозировка ингибитора,<br>$C_{\text{и}}$ , мг/л | $pH$ | Степень защиты<br>$Z$ , % |
|--|------|---------------------------|
| 25   | 9    | 67                        |
| 50   | 9    | 89                        |
| 75   | 9    | 90                        |
| 100  | 9    | 93                        |

Эффективность ингибитора коррозии ограничена щелочной средой ( $pH > 7$ ), что подтверждается данными табл. 3. Защитное действие отсутствует при  $pH < 7$ . Данный профиль эффективности обусловлен целями разработки, направленными на обеспечение максимальной защиты в слабо и сильнощелочных средах, соответствующих условиям предполагаемого применения ингибитора, характеризующимся преимущественно щелочной средой.

Таблица 3

#### Влияние $pH$ среды на защитные свойства ингибитора коррозии по отношению к Сталь-3

| Дозировка ингибитора,<br>$C_{\text{и}}$ , мг/л | $pH$ | Степень защиты<br>$Z$ , % |
|--|------|---------------------------|
| 100  | 6    | 0                         |
| 100  | 9    | 93                        |
| 100  | 10   | 92                        |
| 100  | 11   | 92                        |

Из приведенных данных видно, что водорастворимый полиакрилат натрия при концентрации 50–100 мг/л и рН среды 9–11 проявляет максимальные защитные свойства в отношении Сталь-3.

Такое поведение полиакрилата натрия можно связать с максимальной адсорбционной способностью, экранирующим эффектом и хорошей растворимостью в водной среде.

Полученный результат для полиакрилата натрия в качестве ингибитора коррозии, вероятно, обусловлен его высокой растворимостью в щелочной среде, что способствует формированию плотного адсорбционного слоя на поверхности металла. Фото пластин до и после опытов представлены на рис. 2–4.



Рис. 2. Фото пластин до опытов



Рис. 3. Фото пластины после опыта в неингибированной среде



Рис. 4. Фото пластины после опыта в ингибированной среде

Для образца синтезированного ингибитора провели дополнительные исследования по сравнению его эффективности с промышленным ингибитором. При этом исследовали изменение скорости коррозии и эффективности защитного действия ингибитора в диапазоне расходов реагента 25–100 мг/л.

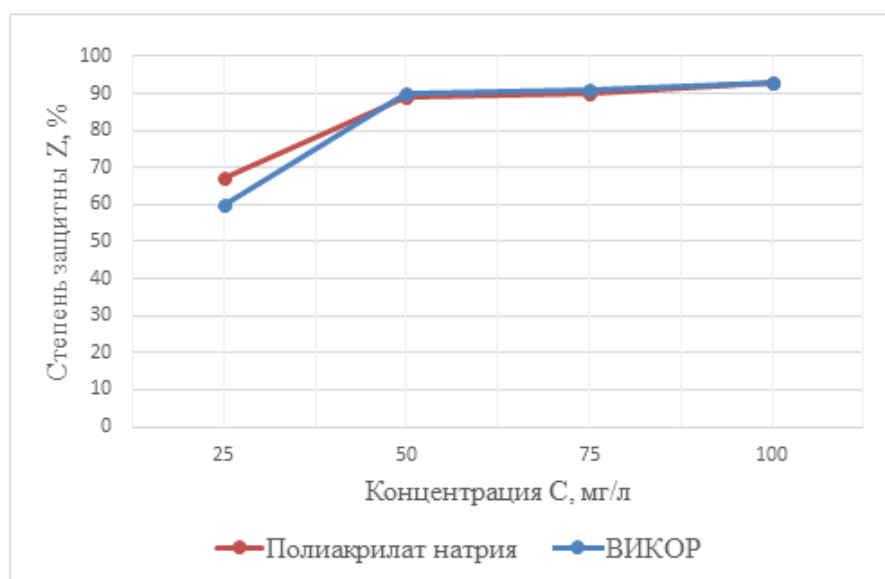
В качестве базового реагента выбран промышленный ингибитор ВИКОР. Ингибитор предназначен для защиты нефтепромыслового оборудования и трубопроводов в системах сбора обводненной нефти, поддержания пластового давления и утилизации сточных вод. Он эффективно предотвращает как химическую, так и микробиологическую коррозию (ингибируя жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий).

Результаты эксперимента приведены в табл. 4 и на рис. 5.

Таблица 4

**Сравнительная оценка антикоррозионных защитных свойств реагентов**

| Дозировка ингибитора,<br>$C_n$ , мг/л | Степень защиты<br>$Z$ , % |       |
|---------------------------------------|---------------------------|-------|
|                                       | Полиакрилат натрия        | ВИКОР |
| 25                                    | 67                        | 60    |
| 50                                    | 89                        | 90    |
| 75                                    | 90                        | 91    |
| 100                                   | 93                        | 93    |

**Рис. 5. Зависимость эффективности защитного действия ингибиторов от концентрации**

Из полученных данных, можно отметить, что исследуемый и базовый ингибиторы показывают одинаково высокую степень защиты в области высоких концентраций: 90–94 % – при концентрации 75 и 100 мг/л, а при концентрации ниже 30 мг/л полиакрилат натрия превосходит базовый реагент по степени защитных свойств. Так, при 25 мг/л показатель степени защиты полиакрилата натрия составил 67 % против 60 % в присутствии ингибитора ВИКОР.

Исследования авторов по применению полиакрилатов натрия в области ингибирования процесса коррозии металлов в водно-нефтяных средах будут продолжены. В дальнейшем планируется оценить влияние времени и температуры на защитные свойства ингибитора, а также исследовать его воздействие на структуру металла.

### Выводы

1. Установлено, что полиакрилат натрия имеет высокую степень защиты от коррозии, его защитное действие составляет 93 %, что позволяет отнести его к классу высокоэффективных ингибиторов.

2. Определены оптимальные концентрации ингибитора, обеспечивающие максимальную степень защиты металла. Они составляют 75–100 мг/л.

3. Проведен сравнительный анализ действия полиакрилата натрия с промышленным ингибитором ВИКОР. Результаты анализа свидетельствуют о том, что оба ингибитора показывают одинаково высокую степень защиты.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения данного ингибитора в промышленных условиях для снижения пожарной опасности на магистральном трубопроводном транспорте, связанной с коррозией.

### Список источников

1. Ингибиторы коррозии (обзор) / Л.С. Козлова [и др.] // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2. С. 67–75.
2. Хайдарова Г.Р. Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромыслового оборудования // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6.
3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L.L. Barton [et al.] // *Journal of Bacteriology*. 1983. Vol. 153. № 2. P. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871.1983.
4. Дедов С.С., Емельянов В.В., Шатило С.П. О внутренней коррозии трубопроводов – причинах, механизме и способах защиты // *Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. обучающихся, аспирантов и ученых*. 2016. № 2. С. 130–140.
5. Серебряков А.Н. Коррозия нефтепромыслового оборудования и мероприятия противокоррозионной защите на нефтяном месторождении Каракудук (Западный Казахстан) // *Вестник Российского университета дружбы народов*. 2017. Т. 18. № 2. С. 174–181.
6. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influtenced Corrosion / D. Walsh [et al.] // *JOM*. 1993. Vol. 45. P. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.
7. Исследование влияния сульфатвосстанавливающих бактерий на коррозионные свойства магистральных трубопроводов / Л.Х. Зарипова [и др.] // *Нефтегазовое дело*. 2022. № 4. С. 46–68.
8. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. Л.: Химия, 1986. 144 с.
9. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами: учеб. пособие. Н. Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2010. 48 с.
10. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization // *Macromolecules*. 1993. Vol. 26. P. 5316.
11. Композиции на основе акрилатных сополимеров и фуллеренов / М.В. Успенская [и др.] // *Журнал прикладной химии*. 2006. Т. 79. № 5. С. 870–872.



## References

1. Ingibitory korrozii (obzor) / L.S. Kozlova [i dr.] // *Aviacionnye materialy i tekhnologii*. 2015. № 2. S. 67–75.
2. Hajdarova G.R. Ingibitory korrozii dlya zashchity neftepromyslovogo oborudovaniya // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 6.
3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L.L. Barton [et al.] // *Journal of Bacteriology*. 1983. Vol. 153. № 2. P. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871.1983.
4. Dedov S.S., Emel'yanov V.V., Shatilo S.P. O vnutrennej korrozii truboprovodov – prichinah, mekhanizme i sposobah zashchity // *Opyt, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. obuchayushchihsya, aspirantov i uchenyh*. 2016. № 2. S. 130–140.
5. Serebryakov A.N. Korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya i meropriyatiya protivokorroziionnoj zashchite na neftyanom mestorozhdenii Karakuduk (Zapadnyj Kazahstan) // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov*. 2017. T. 18. № 2. S. 174–181.
6. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influtoenced Corrosion / D. Walsh [et al.] // *JOM*. 1993. Vol. 45. P. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.
7. Issledovanie vliyaniya sul'fatvosstanavlivayushchih bakterij na korroziionnye svoystva magistral'nyh truboprovodov / L.H. Zaripova [i dr.] // *Neftegazovoe delo*. 2022. № 4. S. 46–68.
8. Reshetnikov S.M. Ingibitory kislotnoj korrozii metallov. L.: Himiya, 1986. 144 s.
9. Grishin D.F., Grishin I.D. Sovremennye metody kontroliruemoj radikal'noj polimerizacii dlya polucheniya novyh materialov s zadannymi svoystvami Elektronnoe uchebnoe posobie. N. Novgorod: Nizhegorodskij gos. un-t, 2010. 48 s.
10. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization // *Macromolecules*. 1993. Vol. 26. P. 5316.
11. Kompozicii na osnove akrilatnyh sopolimerov i fullerenov / M.V. Uspenskaya [et al.] // *Zhurnal prikladnoj himii*. 2006. T. 79. № 5. C. 870–872.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 17.09.2024; одобрена после рецензирования: 19.11.2024;  
принята к публикации: 10.12.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 17.09.2024; approved after review: 19.11.2024;  
accepted for publication: 10.12.2024

*Информация об авторах:*

**Хафизов Ильдар Фанилевич**, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, д. 4), доктор технических наук, профессор, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, SPIN-код: 6033-5744

**Султанов Рифкат Мухатьярович**, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, д. 4), доктор технических наук, профессор, e-mail: sultanov55@mail.ru, SPIN-код: 5427-0069

**Бакиров Дамир Робертович**, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, д. 4), e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru, SPIN-код: 7545-3336

*Information about the authors:*

**Khafizov Ildar F.**, professor of department of fire and industrial safety of Ufa state petroleum technical university (450044, Ufa, Matvey Pinsky str., 4), doctor of technical sciences, professor, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, SPIN: 6033-5744

**Sultanov Rifkat M.**, professor of department of fire and industrial safety at Ufa state petroleum technical university (450044, Ufa, Matvey Pinsky str., 4), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sultanov55@mail.ru, SPIN: 5427-0069

**Bakirov Damir R.**, postgraduate student of department of fire and industrial safety of Ufa state petroleum technical university (450044, Ufa, Matvey Pinsky str., 4), e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru, SPIN: 7545-3336