

Нефтегазовое дело. 2023. № 2. С. 6–18. ISSN 1813-503X (online)  
Oil and Gas Business. 2023. No. 2, P. 6–18. ISSN 1813-503X (online)

Научная статья

УДК 621.6

doi <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-6-18>

## **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ НЕФТИ С СОДЕРЖАНИЕМ СЕРОВОДОРОДА**

**Эльвина Ильфировна Галлямова, Роберт Хабибович Идрисов,  
Наиль Хадитович Абдрахманов**

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

**Автор, ответственный за переписку:**

**Наиль Хадитович Абдрахманов, [anailx@mail.ru](mailto:anailx@mail.ru)**

**Аннотация.** Нефть некоторых месторождений отличается высоким содержанием сероводорода и меркаптанов, которые существенно снижают качество товарной продукции и, к тому же, из-за своей высокой коррозионной активности способствуют возникновению аварийных ситуаций. Метод очистки нефти, применяемый на данных месторождениях, из-за имеющихся недостатков в виде необходимости в обезвреживании кислотно-щелочных стоков и попадания продуктов реакции в товарную нефть требует корректировки. В статье рассмотрены известные физические и химические способы очистки нефти от сероводорода и меркаптанов с указанием их достоинств и недостатков. К числу первых относят технологии, основанные на извлечении нежелательных компонентов за счет сепарации, ректификации или отдувки нефти. Химические способы

извлечения сероводорода из продукции скважин основаны на ее экстракции растворами химических реагентов – поглотителей сероводорода. Из рассмотренных технологий, на наш взгляд, наиболее перспективным является метод, основанный на отдувке нефти углеводородным газом. В данной технологии извлечение сероводорода и меркаптанов из нефти осуществляется за счет пропускания предварительно очищенного от сероводорода попутного нефтяного газа через объем нефти в аппарате колонного типа. Одним из главных достоинств выбранного способа является возможность очистки попутного нефтяного газа, что также гарантирует снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций, так как по газопроводам будет идти очищенный от сероводорода газ.

**Ключевые слова:** нефть, сероводород, меркаптаны, подготовка, очистка, отдувка нефти углеводородным газом

**Для цитирования:** Галлямова Э. И., Идрисов Р. Х., Абдрахманов Н. Х. К вопросу обеспечения промышленной безопасности установок подготовки нефти с содержанием сероводорода // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 2. С. 6–18. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-6-18>.

Original article

## **TO INDUSTRIAL SAFETY OF HYDROGEN SULFIDE OIL TREATMENT UNITS**

**Elvina I. Gallyamova, Robert Kh. Idrisov, Nail Kh. Abdrakhmanov**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia**

**Corresponding author:**

Nail Kh. Abdrakhmanov, [anailx@mail.ru](mailto:anailx@mail.ru)

**Abstract.** The oil of some fields is characterized by a high content of hydrogen sulfide and mercaptans significantly reducing the commercial product quality, besides, due to their high corrosion activity, contribute to emergencies. The oil refining method used at these fields, due to necessity of acid-base effluents neutralizing and the ingress of reaction products into commercial oil, requires adjustment. The article discusses the known physical and chemical methods of hydrogen sulfide and mercaptans removal from oil indicating their advantages and disadvantages. Among the first ones are technologies based on the extraction of undesirable components due to oil separation, rectification or blowing-off. Chemical methods of hydrogen sulfide extraction from well products are based on its extraction with solutions of chemical reagents – hydrogen sulfide absorbers. The most promising among the considered technologies, in our opinion, is the method based on oil blowing-off with hydrocarbon gas. In this technology, the oil extraction from hydrogen sulfide and mercaptans is carried out by passing associated petroleum gas previously purified from hydrogen sulfide through the volume of oil in a column-type apparatus. One of the main advantages of the chosen method is the possibility of associated petroleum gas purification, which also guarantees a reduction in the probability of emergencies, since gas purified from hydrogen sulfide moves through gas pipelines.

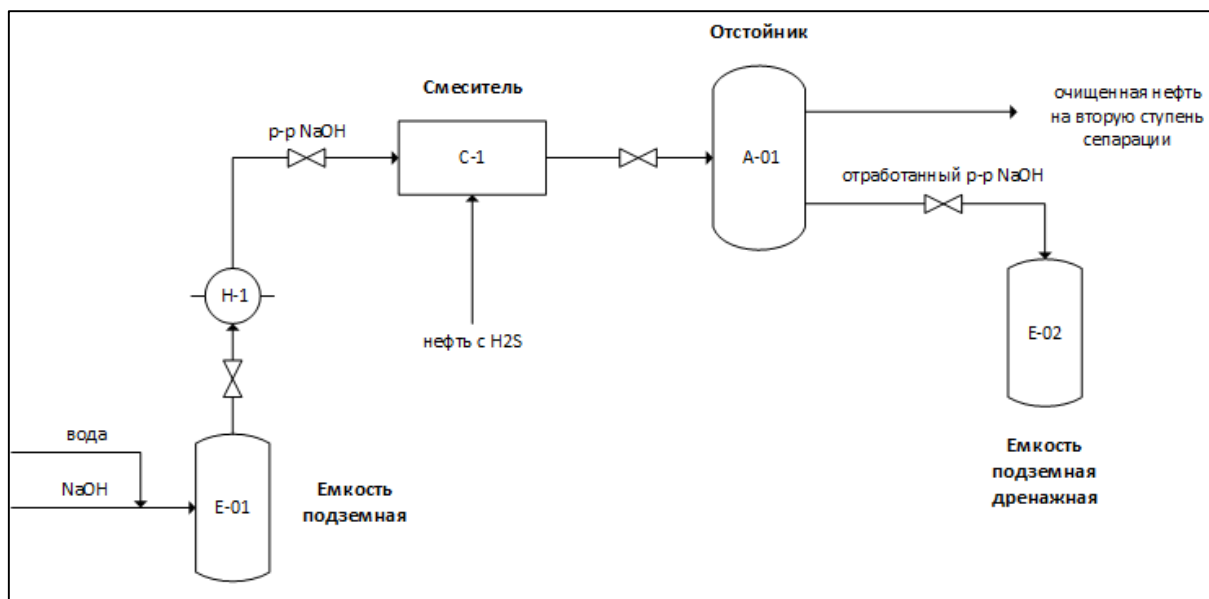
**Keywords:** oil, hydrogen sulfide, mercaptans, preparation, purification, oil blowing-off with hydrocarbon gas

**For citation:** Gallyamova E. I., Idrisov R. Kh., Abdrakhmanov N. Kh. К вопросу обеспечения промышленной безопасности установок подготовки нефти с содержанием сероводорода [To Industrial Safety of Hydrogen Sulfide Oil Treatment Units]. *Сетевое издание «Нефтегазовое дело» – Network Journal «Oil and Gas Business»*, 2023, No. 2, pp. 6–18 [in Russian]. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-6-18>.

Как известно, нефть на месторождениях Оренбургской области является высокосернистой. Присутствие серы в скважинной продукции крайне нежелательно, так как ее соединения существенно снижают качество нефти. Говоря о сернистых соединениях, особое внимание необходимо уделить сероводороду ( $H_2S$ ). Данный газ является очень токсичным и в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 относится ко второму классу опасности. Кроме того,

$H_2S$  обладает высокой коррозионной активностью, поэтому ее содержание в нефти строго нормируется. Согласно ГОСТ Р 51858-2020 «Нефть. Общие технические условия», массовая доля сероводорода не должна превышать 20 и 100  $млн^{-1}$  (ppm) в товарной нефти первого и второго видов соответственно [1]. Этот же документ регулирует содержание меркаптанов – 40 и 100  $млн^{-1}$  (ppm) для нефти первого и второго видов соответственно, потому как они тоже могут вызывать коррозию оборудования, а также способствуют формированию смол и образованию нагара.

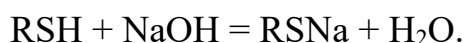
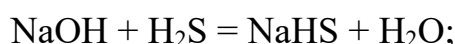
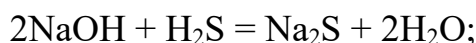
Возвращаясь к оренбургской нефти, стоит остановиться на методе ее очистки от соединений серы – одноступенчатой щелочной очистке. Суть метода заключается в следующем: 42 %-ный раствор NaOH поставляется автоцистернами на установку и закачивается в емкость E-01 (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Технологическая схема очистки нефти от сероводорода

**Figure 1.** Technological scheme of oil purification from hydrogen sulfide

Из емкости E-01 щёлочь подаётся в смеситель С-1. Затем ёмкость E-01 дважды до 80 % заполняется технической водой с последующей откачкой воды погружным насосом в смеситель С-1 для приготовления рабочего раствора щелочи концентрацией 15 %. После смешения нефти с раствором едкого натра происходит процесс окисления сероводорода и до ( $\approx 20$  %) метил-, этилмеркаптанов по следующим уравнениям [2, 3]:



Далее смесь нефти с раствором щелочи поступает в отстойник А-01, в котором во время отстоя происходит отделение водного раствора щелочи от нефти. Из отстойника А-01 отработанная щёлочь сливается в дренажную емкость E-02, которая затем откачивается в трубопровод с последующей подачей в аппараты глубокой очистки воды.

Данный метод является достаточно простым, но имеет ряд недостатков. Во-первых, возникает необходимость в обезвреживании кислотно-щелочных стоков, во-вторых, в виду незначительной разницы плотностей нефти и реагента продукты реакции при отстаивании попадают в нефть, из-за чего снижается качество товарной продукции [4–6].

Рассмотрим другие известные способы очистки нефти от сернистых соединений. Их принято делить на две группы: физические и химические методы. К первым относятся сепарация, отдувка и ректификация нефти [7].

Процесс сепарации эффективен лишь при очистке нефти с незначительным содержанием сероводорода и при небольшом газовом факторе.

В зависимости от технологии различают:

- одно- и многоступенчатую сепарацию;
- холодную и горячую сепарацию;

– горячевакуумную сепарацию.

Увеличение количества ступеней сепарации способствует лучшей дегазации нефти.

При холодной сепарации удаляется большая часть сероводорода, который уносится с попутными газами. Оставшийся сероводород извлекается горячей сепарацией. При этом все равно не достигается требуемая глубина очистки, что требует дополнения данного метода химическими методами.

Более глубокой очистке нефти способствует горячевакуумная сепарация, где создание пониженного давления осуществляется использованием вакуумного компрессора или насосно-эжекторной установки.

Суть процесса отдувки сероводорода из нефти заключается в противоточном пропускании предварительно очищенного газа через объем нефти в колонном аппарате [8]. За счет барботирования газом нефти увеличивается поверхность раздела фаз «газ – жидкость», следовательно, увеличивается межфазный массообмен. При этом химический состав нефти и ее свойства не меняются.

Использование данной технологии позволяет полностью очистить нефть от сероводорода, но во многих случаях это становится нецелесообразным: с увеличением расхода газа резко снижается выход товарной нефти, так как вместе с сероводородом из нее удаляется значительное количество бензиновых и пропанобутановых фракций [9].

Для подготовки нефти с высоким содержанием сероводорода также используют ректификацию. Данный процесс позволяет получать товарную нефть с низким содержанием сероводорода при малых ее потерях [10].

В процессе ректификации газовая фаза конденсирует с образованием сероводородсодержащего дистиллята, а очищенная от сероводорода нефть охлаждается и поступает на сдачу. Давление и температура в ректификационной колонне определяются параметрами сырья.

Несмотря на преимущества, данный метод требует большие капитальные, энергетические и эксплуатационные затраты, поэтому его применение ограничивается.

Химические способы извлечения сероводорода из продукции скважин основаны на ее экстракции растворами химических реагентов – поглотителей сероводорода [11].

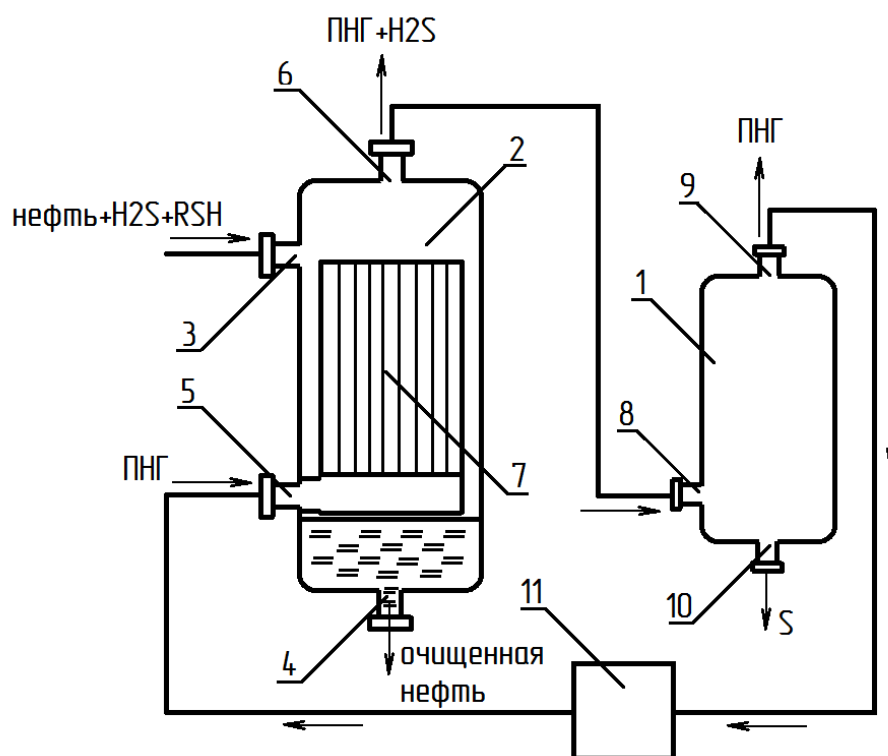
Довольно эффективной технологией удаления сероводорода и меркаптанов из сырой нефти является процесс жидкофазной окислительной демеркаптанизации сырья (ДМС). Суть процесса ДМС заключается в прямом окислении содержащихся в нефти соединений серы кислородом воздуха в щелочной среде в присутствии разработанного во «ВНИИУС» катализатора сероочистки ИВКАЗ [12, 13].

Опыт использования технологии ДМС показал её гибкость в плане решения проблем очистки нефти с разными физико-химическими характеристиками путем подстроения под экономические и технологические требования заказчика, что является довольно удобным и привлекательным для использования [14]. Однако данная технология, схожая с тем, что применяют на установках подготовки нефти (УПН) оренбургских месторождений, имеет те же недостатки: образование трудноутилизируемых стоков и попадание продуктов реакции в товарную нефть.

Как следует из приведенных выше описаний, наиболее эффективными, безотходными и экологически безопасными способами очистки нефти от сероводорода являются ее отдувка углеводородным газом и ректификация, но первая уступает второй по стоимости, так как не требует установки большого количества дорогостоящего оборудования. Поэтому, рассматривая вопрос о замене технологии очистки нефти от сероводорода и меркаптанов на вышеупомянутых установках подготовки нефти, стоит уделить внимание на данный способ. Обратимся к патенту № 2733943 [15], где подробно описана технология отдувки нефти газовым потоком.

Сернистую нефть подают в колонну, куда диспергируют предварительно очищенный от сероводорода в аппарате для проведения физико-химических процессов попутный нефтяной газ (ПНГ) [15]. После этого очищенную нефть отводят по трубопроводу, а загрязненный при отдувке нефти сероводородом ПНГ возвращают на очистку в аппарат для проведения физико-химических процессов для обеспечения замкнутого цикла очистки нефти одним объемом попутного газа.

На рисунке 2 представлена схема, отражающая суть метода.



1 – аппарат для очистки ПНГ; 2 – колонна; 3, 5, 8 – входной патрубок;  
4, 6, 9 – выходной патрубок; 7 – диспергатор; 10 – патрубок;  
11 – компрессор

1 – apparatus for APG cleaning; 2 – column; 3, 5, 8 – inlet pipe;  
4, 6, 9 – outlet pipe; 7 – dispersant; 10 – branch pipe; 11 – compressor

**Рисунок 2.** Принципиальная схема очистки нефти отдувкой

**Figure 2.** Schematic diagram of oil refining by stripping



Данный способ прошел испытание: очистке подвергалась нефть с содержанием сероводорода 340 ppm, после очистки содержание сероводорода снизилось до 13,5 ppm, т.е. эффективность составила 96 %.

Кроме того, он позволяет одним объемом газа производить очистку нескольких объемов высокосернистой нефти, что сокращает расход чистого газа. Главным же достоинством рассматриваемого метода является возможность очистки попутного нефтяного газа, который содержит в своем составе большой процент сероводорода (1–3 %).

## **Вывод**

Таким образом, замена используемого метода очистки нефти от сероводорода на рассматриваемых установках подготовки нефти позволит увеличить качество отпускаемой продукции, а также снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций по причине коррозии оборудования.

## **Список источников**

1. Mazgarov A.M., Vildanov A.F., Salin V.V. Removing Mercaptans and Hydrogen Sulfide from Oil Products // Chemical and Petroleum Engineering. 2003. Vol. 39. P. 719-721. DOI: 10.1023/B:CAPE.0000017617.69020.19.
2. Pletneva I.V., Gavrilov Y.A., Moiseeva N.I. Noncorrosive Metal Complex Catalysts for Oxidation of Hydrogen Sulfide and Mercaptans in Petroleum Products // Petroleum Chemistry. 2022. Vol. 62. P. 628-635. DOI: 10.1134/S0965544122050061.
3. Shahrak M.N., Ebrahimzadeh E., Shahraki F. Removal Hydrogen Sulfide from Hydrocarbon Liquids Using a Caustic Solution // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2015. Vol. 37. P. 791-798. DOI: 10.1080/15567036.2011.584121.
4. Никитина А.Н., Подгорбунская Т.А. Плюсы и минусы технологий очистки нефти от сероводорода и меркаптанов // Молодежный вестник ИРГТУ. 2020. Т. 10, № 1. С. 81-87. EDN: VOVAYK.

5. Anisimov A.V., Andreev B.V., Eseva E.A. Treatment of Sulfide Alkali Waste Waters from Mercaptans Using Distillation // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2018. Vol. 52. P. 673-676. DOI: 10.1134/S0040579518040024.
6. Самойленко Е.А., Арасланова Д.И., Прочухан К.Ю., Прочухан Ю.А. Удаление сераорганических соединений из нефти // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 1. С. 32-35. EDN: XHAFLL.
7. Чурикова Л.А., Уарисов Д.Д. Обзор методов борьбы с сероводородом при добыче нефти // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. СПб.: Свое издательство, 2016. С. 109-113. EDN: WFFIGD.
8. Гречухина А.А., Петров С.М. Методы очистки нефти от сероводорода и легких меркаптанов. Казань: КНИТУ, 2014. 102 с. EDN: WSTHZE.
9. Сахабутдинов Р.З., Шаталов А.Н., Гарифуллин Р.М., Шипилов Д.Д., Мухаметгалеев Р.Р. Технологии очистки нефти от сероводорода // Нефтяное хозяйство. 2008. № 7. С. 82-85. EDN: JVGJBD.
10. Евтеев И.С. Модернизация ректификационной колонны блока очистки нефти от сероводорода // Синергия наук. 2022. № 71. С. 50-56. EDN: JDTQRC.
11. Katasonova O.N., Savonina E.Y., Maryutina T.A. Extraction Methods for Removing Sulfur and Its Compounds from Crude Oil and Petroleum Products // Russian Journal of Applied Chemistry. 2021. Vol. 94. P. 411-436. DOI: 10.1134/S1070427221040017. EDN: BFIVOU.
12. Яковлева Л.В., Котова А.О. Безотходная технология промышленной очистки нефти и газа от сероводорода и меркаптанов // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2022. № 1 (17). С. 78-85. EDN: YYVWKP.
13. Мазгаров А.М., Набиев А.И. Технологии очистки сырой нефти и газоконденсатов от сероводорода и меркаптанов. Казань: Казанский ун-т, 2015. 38 с.
14. Суханова Е.С. Анализ технологий очистки нефти от сероводорода // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2021. Т. 1, № 1 (46). С. 96-103. EDN: VPTNGG.
15. Пат. 2733943 РФ, МПК В 01 D 19/00. Способ очистки нефти от сероводорода / В.М. Капустин, М.И. Панин, А.Е. Цимбалюк, Р.В. Хакимов. 2019131701, Заявлено 08.10.2019; Оpubл. 08.10.2020.

## References

1. Mazgarov A.M., Vildanov A.F., Salin V.V. Removing Mercaptans and Hydrogen Sulfide from Oil Products. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2003, Vol. 39, pp. 719-721. DOI: 10.1023/B:CAPE.0000017617.69020.19.
2. Pletneva I.V., Gavrilov Y.A., Moiseeva N.I. Noncorrosive Metal Complex Catalysts for Oxidation of Hydrogen Sulfide and Mercaptans in Petroleum Products. *Petroleum Chemistry*, 2022, Vol. 62, pp. 628-635. DOI: 10.1134/S0965544122050061.
3. Shahrak M.N., Ebrahimzadeh E., Shahraki F. Removal Hydrogen Sulfide from Hydrocarbon Liquids Using a Caustic Solution. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2015, Vol. 37, pp. 791-798. DOI: 10.1080/15567036.2011.584121.
4. Nikitina A.N., Podgorbunskaya T.A. Plyusy i minusy tekhnologii ochistki nefiti ot serovodoroda i merkaptanov [Pros and Cons of Technologies for Cleaning Oil from Hydrogen Sulfide and Mercaptans]. *Molodezhnyi vestnik IRGTU – ISTU Bulletin of Youth*, 2020, Vol. 10, No. 1, pp. 81-87. EDN: VOVAYK. [in Russian].
5. Anisimov A.V., Andreev B.V., Eseva E.A. Treatment of Sulfide Alkali Waste Waters from Mercaptans Using Distillation. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2018, Vol. 52, pp. 673-676. DOI: 10.1134/S0040579518040024.
6. Samoilenko E.A., Araslanova D.I., Prochukhan K.Yu., Prochukhan Yu.A. Udalenie seraorganicheskikh soedinenii iz nefiti [Removal of Sulfur-Organic Compounds from Crude Oil]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse – Environment Protection in Oil and Gas Complex*, 2017, No. 1, pp. 32-35. EDN: XIHAFL. [in Russian].
7. Churikova L.A., Uarisov D.D. Obzor metodov bor'by s serovodorodom pri dobyche nefiti [Review of Methods for Combating Hydrogen Sulfide in Oil Production]. *Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy»* [Proceedings of the IV International Scientific Conference «Technical Sciences: Problems and Prospects»]. St. Petersburg, Svoe izdatel'stvo Publ., 2016, pp. 109-113. EDN: WFFIGD. [in Russian].
8. Grechukhina A.A., Petrov S.M. *Metody ochistki nefiti ot serovodoroda i legkikh merkaptanov* [Methods for Cleaning Oil from Hydrogen Sulfide and Light Mercaptans]. Kazan, KNITU Publ., 2014. 102 p. EDN: WSTHZE. [in Russian].
9. Sakhabutdinov R.Z., Shatalov A.N., Garifullin P.M., Shipilov D.D., Mukhametgaleev P.P. Tekhnologii ochistki nefiti ot serovodoroda [Technologies of an Oil Cleaning from Hydrogen Sulphide]. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, No. 7, pp. 82-85. EDN: JVGJBD. [in Russian].

10. Evteev I.S. Modernizatsiya rektifikatsionnoi kolonny bloka ochistki nefi ot serovodoroda [Modernization of the Rectification Column of the Unit for Oil Cleaning from Hydrogen Sulfide]. *Sinergiya nauk – Synergy of Science*, 2022, No. 71, pp. 50-56. EDN: JDTQRC. [in Russian].

11. Katasonova O.N., Savonina E.Y., Maryutina T.A. Extraction Methods for Removing Sulfur and Its Compounds from Crude Oil and Petroleum Products. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2021, Vol. 94, pp. 411-436. DOI: 10.1134/S1070427221040017. EDN: BFIVOU.

12. Yakovleva L.V., Kotova A.O. Bezotkhodnaya tekhnologiya promyslovoi ochistki nefi i gaza ot serovodoroda i merkaptanov [Waste-Free Process for Field Purification of Oil and Gas from Hydrogen Sulfide and Mercaptans]. *Vestnik molodogo uchenogo UGNTU – Vestnik Molodogo Uchenogo USPTU*, 2022, No. 1 (17), pp. 78-85. EDN: YYVWKP. [in Russian].

13. Mazgarov A.M., Nabiev A.I. *Tekhnologii ochistki syroi nefi i gazokondensatov ot serovodoroda i merkaptanov* [Technologies for Purification of Crude Oil and Gas Condensates from Hydrogen Sulfide and Mercaptans]. Kazan, Kazanskii un-t Publ., 2015. 38 p. [in Russian].

14. Sukhanova E.S. Analiz tekhnologii ochistki nefi ot serovodoroda [Analysis of Technologies for Purification of Oil from Hydrogen Sulfur]. *Sovershenstvovanie metodov gidravlicheskikh raschetov vodopropusknykh i ochistnykh sooruzhenii – Improving the Methods of Hydraulic Calculations of Culverts and Treatment Facilities*, 2021, Vol. 1, No. 1 (46), pp. 96-103. EDN: VPTNGG. [in Russian].

15. Kapustin V.M., Panin M.I., Tsimbalyuk A.E., Khakimov R.V. *Sposob ochistki nefi ot serovodoroda* [Method for Cleaning Oil from Hydrogen Sulfide]. Patent RF, No. 2733943, 2020. [in Russian].

### **Информация об авторах**

#### **Information about the authors**

**Галлямова Эльвина Ильфировна**, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Elvina I. Gallyamova**, Undergraduate Student of Industrial Safety and Labor Protection Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

elvina.gallyamova.00@mail.ru

**Идрисов Роберт Хабибович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Robert Kh. Idrisov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

[otd14@rambler.ru](mailto:otd14@rambler.ru)

**Абдрахманов Наиль Хадитович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленная безопасность и охрана труда», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Nail Kh. Abdrakhmanov**, Doctor of Engineering Sciences, Associated Professor, Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

[anailx@mail.ru](mailto:anailx@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 08.12.2022; одобрена после рецензирования 27.01.2023; принята к публикации 15.03.2023.*

*The article was submitted 08.12.2022; approved after reviewing 27.01.2023; accepted for publication 15.03.2023.*