

УДК 665.6.045.1

DOI: 10.31660/0445-0108-2024-3-148-159

Влияние качества промоборотной воды на работу теплообменного оборудования нефтехимических предприятий

О. П. Дерюгина*, Е. Н. Скворцова, А. Л. Савченков, Д. А. Белов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**derjuginaop@tyuiu.ru*

Аннотация. Корректная работа теплообменного оборудования напрямую влияет на качество выпускаемой продукции. Изучение критически важных факторов, препятствующих стабильной работе оборудования нефтехимического кластера, а также ликвидация основных из них являются первостепенной задачей. Основной проблемой при работе теплообменного оборудования является качество промоборотной воды — основного теплоносителя. В рамках исследования был проведен анализ промоборотной воды и окалины с промышленной площадки методом атомно-эмиссионной спектроскопии, который проводился с индуктивно связанной плазмой. В результате были выявлены «узкие» места, затрудняющие работу оборудования. Установлено, что наиболее пагубными являются солеотложения и коррозионное воздействие воды. Кроме этого, была разработана методика, позволяющая определить элементный состав твердых отложений из теплообменного оборудования. Проблемы в работе теплообменного оборудования приводят к масштабным проблемам на производстве. Для предотвращения экстренных остановок производства и повышения эффективности работы теплообменного оборудования в статье рассмотрен метод повышения качества промоборотной воды путем использования новейшего реагента. Предлагаемый реагент позволяет уменьшить коррозионное воздействие и снизить солеотложения внутри теплообменных аппаратов. Преимуществом предлагаемого ингибитора является снижение экологического воздействия на окружающую среду и затрат на внеплановый ремонт оборудования, а также высокая эффективность работы.

Ключевые слова: промоборотная вода, теплообменное оборудование, коррозия, химические реагенты

Для цитирования: Влияние качества промоборотной воды на работу теплообменного оборудования нефтехимических предприятий / О. П. Дерюгина, Е. Н. Скворцова, А. Л. Савченков, Д. А. Белов. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-3-148-159 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 3. – С. 148–159.

The quality of circulating water and its impact on the operation of heat exchange equipment at petrochemical enterprises

Olga P. Deryugina*, Elena N. Skvortsova, Andrey L. Savchenkov, Dmitry A. Belov

Abstract. The correct operation of heat exchange equipment has a direct impact on the quality of the products produced. The study of critical factors impeding the stable operation of equipment at petrochemical enterprises and the elimination of the main ones are of paramount importance. The primary challenge in the operation of heat exchange equipment is the quality of circulating water, which serves as the primary coolant. The analysis of circulating water and scale from an industrial site by the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma was performed, which made it possible to identify bottlenecks that impede the operation of the equipment. Scaling and the corrosive effects of water are the most detrimental. Furthermore, a methodology was devised to ascertain the elemental composition of solid deposits derived from heat exchange equipment. The malfunction of heat exchange equipment can give rise to significant issues in production. To prevent emergency production shutdowns, the authors of the article consider a method for improving the quality of circulating water by using the latest reagent, which can reduce the corrosive effect and reduce salt deposition inside heat exchangers. The proposed inhibitor offers a number of advantages, including a reduction in the environmental impact and high work efficiency.

Keywords: circulating water, heat exchange equipment, corrosion, chemical reagents

For citation: Deryugina, O. P., Skvortsova, E. N., Savhenkov, A. L., & Belov, D. A. (2024). The quality of circulating water and its impact on the operation of heat exchange equipment at petrochemical enterprises. *Oil and Gas Studies*, (3), pp. 148-159. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-3-148-159

Введение

На многих производствах нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих предприятий в качестве теплоносителя используется вода. Поскольку вода имеет один из самых высоких значений теплоемкости, она безопасна для экологии и доступна. Но при этом необходимо учитывать качество промоторной воды, так как оно непосредственно влияет на эффективную и бесперебойную работу теплообменных аппаратов. Подобная проблематика актуальна и часто затрагивается в научных разработках. Примерами могут служить исследования Е. В. Иканиной «Основы ресурсосбережения в химической технологии» или работа В. А. Галковского «Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности». Доля теплообменного оборудования очень значительна на предприятиях отрасли [1]. Скорость протекания химических процессов, степень конверсии сырья, чистота получаемой товарной продукции и некоторые другие факторы зависят в том числе от того, правильно ли подобран теплообменник, и от условий его эксплуатации. В технологических процессах используются теплообменники различных конструкций. Эти аппараты относят к основному технологическому оборудованию [2].

Так, предпосылками для проведения исследования выступает в первую очередь рост числа отказов и поломок теплообменного оборудования на нефтехимических предприятиях, которые связаны с низким качеством промышленной воды. Во-вторых, расширение возможностей и тех-

нологий очистки, обработки данной воды для минимального воздействия на работу оборудования. В-третьих, важность сохранения работоспособности теплообменников для обеспечения непрерывного производства и предотвращения возможных аварийных ситуаций.

В настоящее время на нефтехимических предприятиях в большинстве случаев применяют поверхностные теплообменники. Одним из самых дешевых и широко распространенных теплоносителей в теплообменниках является вода. Ввиду экономии водных ресурсов применяют циркуляцию воды с различными стадиями подготовки. Такая вода называется промоборотной [3].

Так как вода постоянно циркулирует в контуре, то ее качество со временем ухудшается. Это связано прежде всего с такими проблемами, как биообрастание, солеотложение и коррозия. Все названные процессы приводят к образованию неких осадков органического и неорганического происхождения, а также к разъеданию аппаратов и трубопроводов [4].

К уменьшению сечения трубного пространства теплообменника приводит образование различных загрязнений (отложений). Это является причиной увеличения гидравлических сопротивлений аппарата и в конечном итоге сказывается на стоимости товарной продукции из-за увеличения энергетических затрат, связанных с дополнительным расходом теплоносителя [5].

Промышленная водоподготовка на предприятиях отрасли является ответственным процессом, от которого зависит соблюдение регламента ведения технологического процесса, получение продукции необходимого качества и в конечном итоге стоимость выпускаемой продукции. Правильно проведенная водоподготовка позволяет сохранить теплообменные аппараты от различного рода повреждений. Устранять последствия отложений накипи и других отложений достаточно сложно, гораздо проще предупредить их образование и поддерживать необходимые эксплуатационные параметры теплообменников в соответствии с паспортными характеристиками.

Краткие цели

На основании всего вышесказанного в работе были определены следующие цели для выполнения исследования:

- провести анализ циркуляционной воды из контура теплообменника;
- провести качественный и количественный анализ состава твердого осадка из трубок теплообменника;
- установить причину появления отложений;
- разработать мероприятия для устранения отложений.

Так, работа заключается в улучшении работы теплообменного оборудования, повышении его эффективности и снижении затрат на его техническое обслуживание. Это имеет важное значение в практико-промышленном русле для нефтехимических компаний, поэтому было проведено данное исследование.

Метод исследования

В данном случае рассмотрено теплообменное оборудование процесса дегидрирования на нефтехимическом предприятии. Процессы дегидрирования являются эндотермическими процессами, протекают при достаточно высоких температурах, в соответствии с технологией на данных установках эксплуатируется большое количество теплообменных аппаратов.

В исследовании был проведен анализ твердого осадка одного из испарителей установки. Также был проведен анализ воды на определение состава примесей и солей, содержащихся в системе промоборотной воды [6].

Данное исследование по определению состава частиц, которые образуются на внутренней поверхности трубного пространства теплообменника, позволит понять причину данных отложений и, соответственно, разработать рекомендации, которые будут способствовать их предотвращению.

В работе определение состава было выполнено по ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007)¹, с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с индуктивно связанной плазмой (ИСП).

Атомно-эмиссионная спектроскопия представляет собой совокупный метод анализа элементов. Данный метод определяет спектры излучения свободных атомов и ионов в газовой фазе. Пламя горелки либо различные виды плазмы используют в качестве источников света.

Атомно-эмиссионная спектроскопия часто используется в научных исследованиях с целью контроля производств нефтехимических предприятий, поиска ценных природных ископаемых, в экологических исследованиях.

АЭС является одним из самых распространенных, ускоренных методов анализа. Данный анализ является высокочувствительным методом определения содержания и количества различных элементов в газообразных, жидких и твердых средах. Еще одним преимуществом данного метода по сравнению с физико-химическими и другими спектральными методами анализа является одновременное количественное определение нескольких веществ с достаточной точностью эксперимента.

Следовательно, ведущим методом исследования в данной работе является атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой или АЭС-ИСП. Под действием высокой температуры атомы образца подвергаются десольватации, переходят в парообразное состояние, затем происходит возбуждение и ионизация атомов [7].

Поскольку методика определения содержания элементов, их количества существует только для воды, то для того, чтобы провести анализ твер-

¹ ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007). Вода. Определение содержания элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 35 с.

дого осадка, полученного из кожухотрубчатого теплообменника, была разработана методика на основании ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007)².

Отложения теплообменника могут состоять из органической и неорганической частей. Органическая составляющая — это микроорганизмы, бактерии, грибки. Для определения их содержания осадок необходимо подвергнуть прокаливанию [8].

Методика прокаливания для пробы разработана авторами и представлена ниже.

Выполняем подготовку лабораторной посуды для проведения эксперимента: необходимо вымыть посуду разбавленной 1:1 азотной кислотой, после чего тщательно промыть большим количеством водопроводной воды, затем ополоснуть от 3 до 4 раз бидистиллированной водой и поставить сушиться. Далее образец пробы взвешивают на аналитических весах, затем его переносят в муфельную печь.

Программа для прокаливания представляет собой трехчасовую выдержку образца при 600 °С. Прокаливание следует проводить в кварцевом поддоне для сохранения чистоты анализируемой пробы с целью обеспечения высокой точности проведения эксперимента. Далее фиксируется масса прокаленного осадка, после чего рассчитывается масса органических веществ пробы.

После выделения органики данный экспериментальный образец отправляют на АЭС, предварительно подвергнув его минерализации [9].

Для стабилизации необходимых рабочих параметров прибор до начала эксперимента необходимо настроить в соответствии с руководством по его эксплуатации и выдержать во включенном состоянии и зажженной плазмой определенное время [10].

Исследование было проведено с помощью атомно-эмиссионного ИСП-спектрометра, который имел назначение параллельного действия под общей маркой серии — ICPE-9820.

После включения и настройки прибора производятся измерения согласно инструкции по эксплуатации данного прибора. Все действия производятся в компьютерной программе. После проведения испытаний программа выдает результаты анализа в виде таблицы [11].

Результаты

Изначально был проведен анализ технической воды, взятой из теплообменного оборудования. На нефтехимических предприятиях техническая вода должна иметь определенные параметры: температуру, прозрачность, минимальное значение сухого остатка, нормативную жесткость и др.

² ГОСТ Р 57165-2016. – С. 20.

Анализ пробы воды проводился согласно ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007)³. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения элементов, содержащихся в оборотной воде

Элемент	Содержание элемента в воде, ppm	Содержание элемента в воде, % масс.
Ca	40,33	0,004033
Al	7,21	0,000721
P	14,52	0,001452
Fe	0,95	0,000095
Si	2,75	0,000275

Далее было проведено исследование твердого осадка. Получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

Результаты анализа содержания элементов в исследуемой окалине

Элемент	Содержание элемента в окалине, ppm	Содержание элемента в окалине, % масс.
Ca	422 525,18	42,25
Al	7 727,06	0,77
P	143 975,18	14,40
Fe	9 232,42	0,93
Si	23 885,92	2,39
Σ	–	57,42

Таким образом, результаты анализа показывают, что в составе окалины в наибольшем количестве находятся ионы Ca^{2+} . Также присутствуют ионы Al^{3+} , PO_4^{3-} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , SiO_3^{2-} , из которых могут образовываться при высокой температуре следующие соединения: карбонат кальция, оксид алюминия и железа, фосфаты кальция и железа, силикат кальция.

³ ГОСТ Р 57165-2016... – С. 28.

Заключительные результаты состава осадка, включая органическую часть, в пересчете на 100 % представлены в таблице 3.

Таблица 3

Состав твердого осадка

Вещество	Массовая доля, %
Органическая часть, в том числе микроорганизмы	28,6
Неорганическая часть	68,5
Дополнительные потери веса связаны с выделением CO ₂ при разложении карбонатов кальция. Качественный анализ на карбонаты дал положительную реакцию	

Неорганическая часть в количестве 68,5 % масс. была получена в результате пересчета количества чистого элемента в соответствующие оксиды или соли умножением массы элемента на соответствующий коэффициент.

Для этого использовали следующие формулы:

$$k = \frac{M(\text{Э}_2\text{O}_x)}{M(\text{Э}) \cdot n(\text{Э})}, \quad (1)$$

где k — коэффициент для формулы пересчета; $M(\text{Э}_2\text{O}_x)$ — молярная масса оксида элемента или соли; $M(\text{Э})$ — молярная масса элемента, входящего в состав оксида; $n(\text{Э})$ — число атомов элемента в оксиде.

$$W = k \cdot \omega, \quad (2)$$

где k — коэффициент для формулы пересчета; W — содержание оксида или соли; ω — содержание элемента в оксиде.

Анализ представленных результатов показал, что при эксплуатации теплообменного оборудования существует несколько проблем, но основной, по мнению авторов, являются отложения солей.

На установке используются большие объемы промоборотной воды, много различных конструкций теплообменного оборудования, поэтому не все новейшие методы очистки воды могут быть применены в данном случае. Например, не подходят обратный осмос, УФ, магнитный и ультразвуковой методы обработки. В настоящее время более практичным и действенным является внедрение химического реагента со сложным многокомпонентным составом, позволяющим исключить как технологические, так и экологические проблемы, связанные с использованием технической воды [12].

В сложившейся ситуации было решено использовать современный ингибитор предотвращения коррозии и отложения солей.

Предлагаемый ингибитор хорошо зарекомендовал себя в некоторых промышленных процессах. После проведения аналитической справки был выбран общедоступный в применении и закупке ингибитор — ОПЦ-800, состав которого представляет собой многокомпонентную композицию [13].

Данный ингибитор снижает содержание биогенного фосфора в сточных водах, тем самым уменьшая воздействие на окружающую среду. Оптимальная добавка ОПЦ-800 в фосфорсодержащие сточные воды и годовая допустимая концентрация в воде стандартизированы в диапазоне ниже $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Выводы

На основе метода АЭС-ИСП была разработана методика проведения оценки отложений на рассмотренной установке, благодаря чему решен вопрос с проблемой по теплообмену на данном производстве.

Во время экспериментов были зафиксированы следующие данные: количество неорганической части — $68,5 \%$ масс., основными компонентами являются карбонаты и фосфаты кальция; содержание органических веществ в осадке составляет $28,6 \%$ масс. Потери веса связаны с выделением CO_2 при разложении карбонатов кальция.

Также изучены промышленные методы очистки оборотной воды (обратный осмос, УФ-излучение, обработка ультразвуком) и проведен анализ наиболее подходящих для данного предприятия методов. На основе всего вышесказанного, а также в ходе оценки имеющихся рисков каждого из способов был выбран — реагентный, так как данный метод может быть применен в комплексе с другими.

Также результаты показали, что используемый полифосфатный реагент осаждался на поверхности теплообменных аппаратов, вызывая накипь. Согласно полученным данным эксперимента, применение таких реагентов мало того, что неэффективно, так и неэкологично.

Рекомендован к использованию ингибитор ОПЦ-800.

Практическая значимость работы

Работа имеет значимость в практико-промышленном русле для нефтегазохимических предприятий, где важным моментом является эффективное функционирование теплообменных установок и рациональное использование промоборотной воды. Поэтому разработанная методика анализа отложений теплообменного оборудования позволит оперативно выявлять проблемы и предотвращать их развитие.

Замена ранее применяемых ингибиторов на предложенный универсальный и более современный — ОПЦ-800 позволит достичь следующего эффекта:

- полное исключение применения в технологической схеме использования серной кислоты, так как ОПЦ-800 не нужно подкислять;

- благодаря этому процесс водоподготовки становится более экологичным;
- повышение эффективности и надежности работы теплообменников;
- значительно снизится появление возможных карбонатных соединений, также будет уменьшен процент возникновения фосфатных отложений;
- увеличится экологическая составляющая процесса как в секторе безопасности, так и в оценке нанесения вреда окружающей среде.

В промышленности часто в распоряжении конкретной отдельной установки или в целом для определенного производства имеются уникальные теплообменные единицы оборудования, спроектированные именно для данного процесса. Они способны охлаждать большие объемы воды, но их уникальность обуславливает их редкость, поэтому зачастую в производственной линии имеется лишь по одному такому аппарату. Выведение его из строя означает остановку всего производства.

В связи с этим применение ингибитора ОПЦ-800 не только позволит без экстренных остановок продлевать межремонтный и профилактический период, снизить солеотложения и коррозию, но и является актуальной составляющей, которая, в свою очередь, является перспективным решением, позволяющим предприятиям «идти в ногу» со временем.

Так, предложенные новшества и рекомендации, связанные с оптимизационными процессами водоподготовки предприятия, позволят повысить не только надежность и эффективность проведения технологических операций, но и качество самого продукта.

Список источников

1. Рулинская, М. А. Улучшение качества промоборотной воды. Повышение эффективности теплообменного оборудования : выпускная квалификационная работа / М. А. Рулинская. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 115 с. – Текст : непосредственный.
2. Бирюля, В. А. Современные водооборотные системы охлаждения технологического оборудования на промышленных предприятиях и анализ градиентов различных типов / В. А. Бирюля. – Текст : электронный // Энергетика и энергосбережение : теория и практика : материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Кемерово, 13–15 декабря 2017 г. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2017. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yxnxya>.
3. Промышленное водоснабжение : учебное пособие / В. И. Аксенов, Ю. А. Галкин, В. Н. Заслоновский, И. И. Ничкова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2010. – 222 с. – Текст : непосредственный.

4. Иканина, Е. В. Основы ресурсосбережения в химической технологии : учебное пособие / Е. В. Иканина, В. Ф. Марков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2017. – 100 с. – Текст : непосредственный.
5. Галковский, В. А. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В. А. Галковский, М. В. Чупова. – Текст : электронный // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9, № 2. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>.
6. Чупова, М. В. Влияние качества воды на теплообменное оборудование / М. В. Чупова, В. А. Галковский. – Текст : непосредственный // Энергетика. Информатика. Инновации : материалы международной научно-технической конференции, Смоленск, 24–25 ноября 2016 года. В 3 т. – Смоленск : Универсум, 2016. – Т. 1. – С. 204–207.
7. Jobin, Y. Применение атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) для определения основных компонентов и примесей в стекле. Аналитическая методика / Y. Jobin – Текст : непосредственный // Аналитика и контроль. – 2007. – № 1. – С. 64–66.
8. Вайтулевич, Е. А. Термический анализ органических полимерных материалов и композитов : учебное пособие / Е. А. Вайтулевич, О. В. Бабкина, В. А. Светличный. – Томск : Томский государственный ун-т, 2011. – 56 с. – Текст : непосредственный.
9. Фокина, А. К. Разработка методики определения основных (Ca, P) и примесных элементов (Na, Mg, Al, Si, K, Fe) методом ИСП-АЭС в образцах биогенного апатита / А. К. Фокина, Д. В. Киселева, Н. В. Чередниченко. – Текст : непосредственный // Проблемы теоретической и экспериментальной химии : тезисы докладов XXVIII Российской молодежной научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. А. Кузнецова, Екатеринбург, 25–27 апреля 2018 г. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2018. – С. 193–195.
10. Смагунова, А. Н. Алгоритмы оперативного и статистического контроля качества работы аналитической лаборатории : методическое руководство / А. Н. Смагунова, Е. И. Шмелева, В. А. Швецов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 59 с. – Текст : непосредственный.
11. Пупышев, А. А. Использование атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для анализа материалов и продуктов черной металлургии / А. А. Пупышев, Д. А. Данилова. – Текст : непосредственный // Аналитика и контроль. – 2007. – № 2–3. – С. 131–181.
12. Чикиркин, И. В. Применение комплексной программы реагентной обработки водооборотной воды на основе отечественных реагентов / И. В. Чикиркин. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук : материалы XXV международной научно-практической конференции, Москва, 26–27 ноября 2015 г. – Москва : Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2015. – С. 32–38.
13. Сафин, Д. Х. Особенности применения фосфатной технологии ингибирования систем водооборота на ОАО «Нижнекамскнефтехим» / Д. Х. Сафин, Д. И. Хасанова. – Текст : непосредственный // Коррозия : материалы и защита. – 2010. – № 7. – С. 7–12.

References

1. Rulinskaya, M. A. (2019). Uluchshenie kachestva promoborotnoy vody. Povyshenie effektivnosti teploobmennogo oborudovaniya: vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 115 p. (In Russian).
2. Biryulya, V. A. (2017). Sovremennye vodooborotnye sistemy okhlazhdeniya tekhnologicheskogo oborudovaniya na promyshlennykh predpriyatiyakh i analiz gradiren razlichnykh tipov. Energetika i energosberezhenie: teoriya i praktika: materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, December, 13-15, 2017. Kemerovo, T. F. Gorbachev State Technical University Publ. (In Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yxnnya>
3. Aksenov, V. I., Galkin, Yu. A., Zaslonskiy, V. N., & Nishkova, I. I. (2010). Promyshlennoe vodosnabzhenie. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., 221 p. (In Russian).
4. Ikanina, E. V., & Markov, V. F. (2017). Osnovy resursosberezheniya v khimicheskoy tekhnologii. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., 100 p. (In Russian).
5. Galkovsky, V. A., & Chupova, M. V. (2017). Analysis of the reduction in the heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination. Naukovedenie, 9(2). (In Russian). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>
6. Chupova, M. V., & Galkovsky, V. A. (2016). Vliyanie kachestva vody na teploobmennoe oborudovanie. Energetika. Informatika. Innovatsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Smolensk, November, 24-25, 2016. V 3 tomakh. Tom 1. Smolensk, Universum Publ., pp. 204-207. (In Russian).
7. Jobin, Y. (2007). Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) analysis of major components and microelements in glass. Analytics and Control, (1), pp. 64-66. (In Russian).
8. Vaytulevich, E. A., Babkina, O. V., & Svetlichnyy, V. A. (2011). Termicheskii analiz organicheskikh polimernykh materialov i kompozitov. Tomsk, National Research Tomsk State University Publ., 56 p. (In Russian).
9. Fokina, A. K., Kiseleva, D. V., & Cherednichenko, N. V. (2018). Razrabotka metodiki opredeleniya osnovnykh (Ca, P) i primesnykh elementov (Na, Mg, Al, Si, K, Fe) metodom ISP-AES v obraztsakh biogennoy apatita. Problemy teoreticheskoy i eksperimental'noy khimii: tezisy dokladov XXVIII Rossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. A. Kuznetsova, Ekaterinburg, April, 25-27, 2018. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., pp. 193-195. (In Russian).
10. Smagunova, A. N., Shmeleva, E. I., & Shvetsov, V. A. (2008). Algoritmy operativnogo i statisticheskogo kontrolya kachestva raboty analiticheskoy laboratorii. Novosibirsk, Nauka Publ., 59 p. (In Russian).
11. Pupyshev, A. A., & Danilova, D. A. (2007). The use of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry for analysis of materials and ferrous metallurgy products. Analytics and Control, (2-3), pp. 131-181. (In Russian).
12. Chikirkin, I. V. (2015). Primenenie kompleksnoy programmy reagentnoy obrabotki vodooborotnoy vody na osnove otechestvennykh reagentov. Sovremennye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk : materialy XXV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moscow, November, 26-27, 2015. Moscow, Nauchno-informatsionnyy izdatel'skiy tsentr "Institut strategicheskikh issledovaniy" Publ., pp. 32-38. (In Russian).

13. Safin, D. Kh., & Khasanova, D. I. (2010). Osobennosti primeneniya fosfatnoy tekhnologii ingibirovaniya sistem vodooborota na OAO "Nizhnekamskneftekhim". Korroziya: materialy, zashchita, (7), pp. 7-12. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about the authors

Дерюгина Ольга Павловна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры переработки нефти и газа,
Тюменский индустриальный универси-
тет, г. Тюмень, derjuginaop@tyuiu.ru

Скворцова Елена Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры переработки нефти и газа,
Тюменский индустриальный универси-
тет, г. Тюмень

Савченков Андрей Леонидович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры переработки нефти и газа,
Тюменский индустриальный универси-
тет, г. Тюмень

Белов Дмитрий Александрович,
магистрант кафедры переработки
нефти и газа, Тюменский индустриаль-
ный университет, г. Тюмень

Olga P. Deryugina, Candidate of
Engineering, Associate Professor at the
Department of Oil and Gas Processing,
Industrial University of Tyumen, derjuginaop@tyuiu.ru

Elena N. Skvortsova, Candidate
of Engineering, Associate Professor at
the Department of Oil and Gas Pro-
cessing, Industrial University of Tyumen

Andrey L. Savhenkov, Candidate
of Engineering, Associate Professor at
the Department of Oil and Gas Pro-
cessing, Industrial University of Tyumen

Dmitry A. Belov, Master's Student
at the Department of Oil and Gas Pro-
cessing, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 08.12.2023; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 16.05.2024.

The article was submitted 08.12.2023; approved after reviewing 13.05.2024; accepted for publication 16.05.2024.