

Научная статья
УДК 553.981+661.939.1
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-66-74>
EDN AXEHNB

Тенденции совершенствования переработки гелия в России

Галина Владимировна Власова[✉],
Татьяна Владимировна Сальникова, Ирина Владимировна Савенкова

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, g.vlasova@astu.org[✉]

Аннотация. Гелий относится к стратегическому ресурсу, который определяет развитие ключевых отраслей промышленности, экономический и военный потенциал любой страны. Он используется в атомной энергетике, электронной и космической отраслях, медицине и фундаментальных исследованиях. Существуют области, в которых гелий нельзя заменить другими веществами. Количество гелия, которое потребляет научно-технический комплекс, является основным показателем уровня технологических достижений страны. Добыча и переработка гелия отличается высокой сложностью, однако его уникальные свойства делают гелий незаменимым и ценным видом сырья. Поэтому развитие данной отрасли так актуально, и на настоящий момент разрабатываются новые перспективные технологии для добычи и переработки этого значимого ресурса. В статье описаны современные технологии производства гелия, а также перспективные мероприятия по развитию гелиевой промышленности в России, рассмотрены основные проблемы, возникающие при добыче и производстве гелия.

Ключевые слова: запасы гелия, гелиевая промышленность, сжижение гелия, мембранное разделение, ценосферы

Для цитирования: Власова Г. В., Сальникова Т. В., Савенкова И. В. Тенденции совершенствования переработки гелия в России // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 2. С. 66–74. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-66-74>. EDN AXEHNB.

Original article

Trends in improving helium processing in Russia⁹

Galina V. Vlasova[✉],
Tatyana V. Salnikova, Irina V. Savenkova

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, g.vlasova@astu.org[✉]

Abstract. Helium is a strategic resource that determines the development of key industries, economic and military potential of any country. It is used in the nuclear power industry, electronic and space industries, medicine and basic research. There are areas where helium cannot be replaced by other substances. The amount of helium consumed by the scientific and technical complex is the main indicator of the level of technological achievements of the country. Helium extraction and processing is highly complex, but its unique properties make helium an indispensable and valuable raw material. Therefore, the development of this industry is so important, and at the moment new promising technologies are being developed for the extraction and processing of this significant resource. The article describes modern helium production technologies, as well as promising measures for the development of the helium industry in Russia, and examines the main problems encountered in the extraction and production of helium.

Keywords: helium reserves, helium industry, helium liquefaction, membrane separation, cenospheres

For citation: Vlasova G. V., Salnikova T. V., Savenkova I. V. Trends in improving helium processing in Russia. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2024;2:66-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-66-74>. EDN AXEHNB.

Введение

В настоящее время запасы гелия на земле оцениваются в $5 \cdot 10^{14} \text{ м}^3$, современный объем его рынка – на уровне $150 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ [1]. При этом основ-

ные разведанные мировые запасы гелия сконцентрированы в России – 28 %. Мировое распределение запасов гелия представлено на рис. 1.

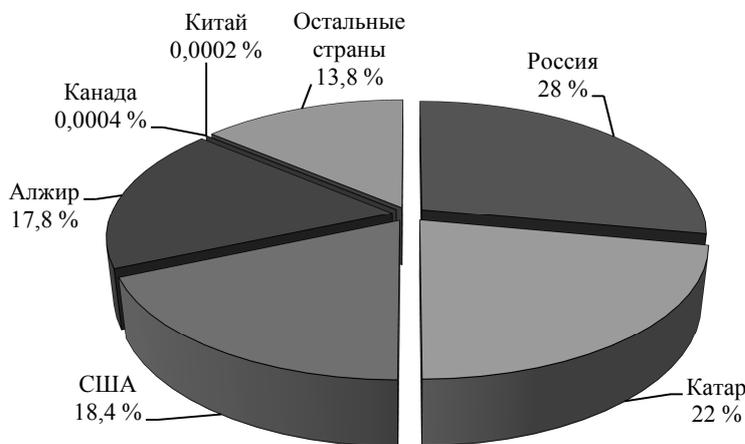


Рис. 1. Распределение запасов гелия по странам

Fig. 1. Distribution of helium reserves by country

Все эти запасы находятся в основном в составе гелийсодержащих природных газов [2].

В США содержание гелия в природном газе достигает 1,9 %. В других мировых странах концентрация гелия в природном газе значительно ниже: в Катаре и Китае – до 0,2 %, Алжире и Канаде – до 0,19 %, Нидерландах – до 0,12 %, а в Польше всего лишь 0,06 %. В России в настоящее время на

разрабатываемом Оренбургском месторождении содержание гелия в природном газе достигает до 0,055 %. А на месторождениях Восточной Сибири и Республики Саха – крупнейшей неосвоенной гелиевой провинции мира, этот показатель существенно выше и достигает 0,67 % [3]. Мировой уровень потребления гелия находится в районе 170 млн м^3 в год (рис. 2).

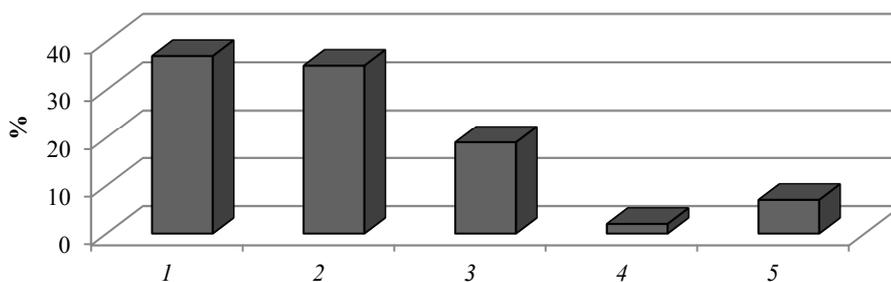


Рис. 2. Соотношение потребления гелия в мире:

1 – Северо и Юго-Восточная Азия; 2 – Северная Америка; 3 – Европа; 4 – Россия и СНГ; 5 – другие страны

Fig. 2. The ratio of helium consumption in the world:

1 – North and Southeast Asia; 2 – North America; 3 – Europe; 4 – Russia and the CIS; 5 – other countries

К 2030 г. прогнозируется рост потребления гелия, который напрямую связан с ростом мировой экономики и ослаблением ресурсных ограничений. По оценкам российских исследователей и аналитиков мировой спрос на гелий в зависимости от темпов роста экономики стран колеблется в диапазоне 279–324 млн м^3 в год. Прогнозируемое увеличение

потребления гелия в период до 2030 г. связывают с научно-техническим прогрессом и развитием экономики. Согласно оценкам аналитиков, потребление гелия в Российской Федерации к 2030 г. будет оцениваться в 5–10 млн м^3 в год [4].

В связи с тенденцией роста мирового потребления гелия возникает необходимость расширения

и модернизации его производства. При этом в России проекты по производству гелия активно реализуются, но полноценной программы создания гелиевой отрасли России до сих пор нет.

Развитие гелиевой промышленности в России

ПАО «Газпром» совместно с Министерством промышленности и торговли РФ и Министерством энергетики РФ к 2025 г. подготовит концепцию развития гелиевой промышленности Российской Федерации. Разработка данной концепции включена в План реализации Стратегии социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 г., которая была утверждена распоряжением Правительства РФ от 16 октября 2023 года № 2846-р [5, 6].

В рамках реализации Восточной газовой программы Газпрома в Амурской области с октября 2015 г. ведется строительство Амурского газоперерабатывающего завода (ГПЗ) – крупнейшего в мире производителя гелия. В 2023 г. Газпром вывел на проектный режим две гелиевые установки завода. Пусконаладка оборудования была обеспечена без участия западного лицензиара. В настоящее время на заводе идет строительство третьей установки [7, 8].

Гелий из природного газа извлекают с помощью уникального криогенного оборудования. Процесс производства упрощенно можно описать так: на Амурский ГПЗ по магистральному газопроводу «Сила Сибири» поступает многокомпонентный природный газ. После отделения метана и разделения природного газа на широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ) и азотно-гелиевую смесь, последняя направляется на установки по очистке и сжижению гелия, где проходит несколько стадий очистки и разделения на азот и гелий. В процессе газ охлаждают до экстремально низкой температуры -269°C , в результате чего газообразный гелий превращается в жидкость [9].

Статус реализации проекта на декабрь 2023 г. – 90,84 %. На четвертой технологической линии идет подготовка к началу пусконаладки, на пятой и шестой линиях – строительные-монтажные работы [10].

Второй важный проект, реализовать который должно помочь соглашение, заключенное в 2023 г. на Восточном экономическом форуме, – это строительство завода гелия в Якутии. С вводом в эксплуатацию нового предприятия по производству гелия переработка сырья на территории Якутии будет более глубокой.

Первую партию гелия предполагается получить уже в 2025 г. На проектную мощность новый завод должен выйти еще через 3 года, и уже в 2028 г. он сможет производить 1 млн дм^3 гелия. Гелий будет производиться не ниже марки «Б». Такой газ подходит для очистки газовых смесей для медицины, может использоваться в авиакосмической отрасли и для производства микросхем [11].

В 2023 г. ООО «Иркутская нефтяная компания» в режиме опытно-промышленного применения запустила гелиевый завод на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении. Производительность завода по расчетам должна составить 10 млн дм^3 в год, что также делает проект заметным в мировом масштабе. Запуск этого гелиевого завода стал частью реализации второго этапа газового проекта по созданию газохимического кластера. Он замкнул всю технологическую цепочку переработки природного и попутного газа с глубоким извлечением ценных компонентов из них [12, 13].

Природный газ месторождений Восточной Сибири характеризуется значительными абсолютными объемами гелия и его высоким удельным содержанием. Высокое содержание гелия в природном газе способствует росту экономической эффективности за счет снижения переменных издержек на производство одного литра гелия. Разработка гелия сопряжена как со значительными капитальными вложениями, так и с высоким уровнем неопределенности относительно будущих денежных потоков, порождаемых геологическими, экономическими, политическими рисками [14].

По мнению аналитиков, запасы природного гелиевого газа к 2030 г. между регионами Российской Федерации будут распределяться следующим образом: на долю Западной Сибири будет приходиться до 25,3 трлн м^3 , Дальний Восток – 7,5 трлн м^3 . В структуре запасов газа также произойдут качественные изменения в сторону увеличения доли гелиевого газа. Эти изменения в структуре запасов природного газа свидетельствуют о том, что добываемое из недр углеводородное сырье должно подвергаться глубокой переработке для производства широкого спектра товарных продуктов [15].

Проблемы и перспективы гелиевой промышленности

На сегодняшний день одной из основных проблем, связанных с производством гелия, является ограниченность его запасов на Земле. Кроме того, большая часть гелия находится глубоко в недрах Земли, что делает его добычу сложной и затратной, а также в процессе добычи природного газа происходят значительные его потери [16].

В результате того, что большая часть гелия находится глубоко в недрах Земли и для его добычи необходимо проводить сложные технологические процессы, требующие больших затрат на оборудование и энергоресурсы, возникает еще одна проблема – высокая стоимость его добычи. Кроме того, гелий часто добывается вместе с другими компонентами, которые также требуют дополнительных затрат на их разделение.

Еще одной проблемой гелиевой промышленности является неэффективное использование гелия. Многие технологические процессы, в которых он

используется, не предусматривают его регенерацию и повторное использование.

При современном уровне мирового потребления гелия уже имеющиеся его запасы способны обеспечивать его потребление в течение более 200 лет. И если учесть, что не весь объем добытого качественного газогелиевого сырья будет использоваться непосредственно для извлечения гелия, а лишь его часть, то у мировой гелиевой промышленности имеются перспективные направления для ее развития и расширения областей и объемов потребления гелия.

При этом важно учитывать, что прямой зависимости между обеспеченностью спроса гелия и его запасами быть не может, поскольку гелий является попутным компонентом в природном газе и находится в жесткой зависимости от возрастающих масштабов добычи газа. Это заставляет задуматься и вынуждает принимать эффективные меры по защите от потерь высококачественной части газогелиевого сырья [17].

В качестве способов защиты выделяют два следующих: консервация месторождения с высоким гелиесодержанием или извлечение не только товарного гелия, но и азотно-гелиевого концентрата для дальнейшего хранения. Решить существующую проблему защиты запасов гелия от его потерь можно только в законодательном порядке, под жестким государственным контролем, причем своевременно, до начала масштабной добычи высокогелиеносных газов [18].

В Российской Федерации в настоящее время действуют различные законодательные акты и распорядительные документы, согласно которым недропользователи в обязательном порядке должны предоставлять ряд данных в соответствующие органы. В то же время гелий не входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный Распоряжением Правительства РФ, а также в список стратегических видов полезных ископаемых, сведения о которых составляют государственную тайну. Следовательно, необходима разработка ряда актов, регламентирующих нормативные и технологические потери гелия при его добыче, транспортировке и хранении [19].

Методические сложности оценки экономической эффективности гелиевого проекта связаны с трудностями моделирования и прогнозирования мирового спроса на гелий, разветвленной структурой рынков сбыта гелия, многостадийностью и сложностью технологического процесса получения товарного гелия, нетривиальностью логистики гелия, а также привязкой производства гелия к месту добычи гелийсодержащего природного газа и вероятной необходимостью хранения гелиевого концентрата в течение длительного времени [20, 21].

Современные технологии в гелиевой промышленности

Технология сжижения гелия. С 2014 г. на Орен-

бургском гелиевом заводе с целью создания единой технологически связанной структуры по производству, отгрузке жидкого гелия и его последующей транспортировкой потребителям реализован проект установки сжижения гелия У-44 (ОГ-500, фирма Linde Kryotechnik AG, Швейцария) производительностью 500 дм³/ч. Ранее данная станция по ожижению гелия базировалась на работе криогенных установок КГУ-500, основное технологическое и насосно-компрессорное оборудование которых было морально и физически изношено и не отвечало современным требованиям энергоэффективности.

Установка У-44 позволяет максимально очистить природный газ от различных примесей, в результате чего на выходе получается продукт высокого качества с содержанием гелия не менее 99,99 %. Конструктивное оформление У-44 позволяет обеспечивать сверхкороткое время охлаждения гелия, а также низкое энергопотребление и минимальный расход жидкого азота, что способствует снижению потерь гелия при сжижении и повышению экономической эффективности [22, 23].

Ввод в эксплуатацию установки сжижения гелия ОГ-500 позволил осуществлять единый технологический цикл от извлечения гелия из природного газа до получения товарных продуктов (жидкого и газообразного сжатого гелия), отказаться от услуг сторонних компаний, реализовать новый продукт – жидкий гелий, который поставляется в регионы наибольшего его потребления (Москва и Санкт-Петербург).

На сегодняшний день для сжижения гелия применяется усовершенствованный термодинамический цикл Брайтона с двумя уровнями давлений, предварительной стадией охлаждения кипящим жидким азотом и двумя стадиями расширения в центробежных турбодетандерах [24].

Технология мембранного разделения гелия. Известно, что мембранная сепарация и концентрирование газов в настоящее время являются альтернативой низкотемпературному методу, при котором технологический процесс протекает при атмосферном давлении. Применение мембранной технологии разделения гелия способствует снижению энергоемкости всего технологического процесса, например, уменьшению потерь на нагрев и охлаждение технологических потоков.

Мембранные установки для извлечения чистого гелия из гелиевого концентрата в настоящее время в основном проходят опытно-промышленные испытания, которые дали положительные результаты при использовании мембран на основе полиэфиримидов с плоской мембраной в мембранных устройствах [25, 26].

Ожидается, что использование мембран с целью извлечения гелия из природных газов позволит значительно снизить затраты энергии на процесс подготовки природного газа, а также уменьшить количе-

ство технологического персонала, необходимого для обслуживания установок подготовки газа в сравнении с традиционной криогенной технологией. Принцип работы мембранных газоразделительных систем заключается в разнице в скорости проникновения компонентов газа через вещество мембраны, а движущая сила процесса разделения газа – разница парциальных давлений на различных сторонах мембраны [27].

Таким образом, несмотря на то, что мембранная технология является относительно новым процессом получения гелий, она обладает рядом серьезных преимуществ по сравнению с традиционными криогенными установками:

- возможность получения кондиционного газа, направляемого потребителям, с сохранением гелия в пласте;
- сохранение в составе товарного газа гомологов метана – C_{2+} ;
- высокая надежность, устойчивость к неполадкам, простота эксплуатации, модульность (масштабируемость технологии);
- использование стандартных давлений при транспортировке газа и минимальная потеря давления подготовленного газа [28, 29];
- отсутствие расходных материалов и химических реагентов;
- снижение затрат на поставку всех компонентов установки на удаленный объект.

К ограничивающим факторам использования мембранной технологии для подготовки и разделения гелийсодержащего природного газа в настоящее время можно отнести:

- отсутствие мирового и отечественного опыта использования мембранных технологий для извлечения гелия в промышленном масштабе;
- необходимость незначительного увеличения объемов добычи природного газа, поставляемого в магистральный газопровод;
- ограничения по использованию мембранных технологий для извлечения гелия из газа при высоком содержании азота с условием обеспечения калорийности газа, соответствующей требованиям ОСТ [30].

Промышленное аппаратное оформление для мембранной технологии разделения газа должно отвечать следующим требованиям:

- высокоэлегантное размещение, т. е. поверхность мембраны в единице объема оборудования должна быть как можно больше;
- технологичность при монтаже, удобство при эксплуатации и ремонте, надежность и долговечность при рабочих нагрузках;
- обеспечение равномерного распределения газового потока в напорном и дренажном пространстве мембранных элементов;
- создание небольшого гидравлического сопротивления газовому потоку;
- обеспечение герметичности.

Технология тонкой очистки. Для удаления водорода и следов метана из гелиевого концентрата используется технология каталитического окисления данных компонентов. Так, на стадии очистки природного газа от азота из гелиевого концентрата конденсируется азот. Оставшийся в гелиевом концентрате азот адсорбируется в угольных адсорберах при невысокой температуре кипящего жидкого азота [31, 32].

Очистку гелия от водорода традиционно проводят окислением водорода с помощью активной окиси меди (79 % окиси меди, 1 % окиси железа и 20 % каолина).

Установка периодического действия включает рекуперативные теплообменники, которые обеспечивают подогрев газа перед реакторами и охлаждение после них, огневые подогреватели, которые предназначены для нагрева газа до температуры начала реакции (400–450 °С) и реакторы с активной окисью меди, в которых протекают экзотермические реакции окисления [33].

В результате окисления образуются вода и диоксид углерода (последний образуется в случае присутствия в газе углеводородов). Регенерация осуществляется окислением восстановленной контактной массы путем подачи в реактор азота с 2–3 % об. кислорода примерно при той же температуре, что и восстановление. Достоинством этой технологии является то, что степень очистки не зависит от колебаний концентрации водорода в сырье, недостатками – периодичность процесса, низкая механическая прочность катализатора, что обуславливает его частую замену [34].

Наибольшее применение получил метод окисления водорода на палладиевом или платиновом катализаторе. Этот способ обеспечивает высокую степень очистки гелия, непрерывность процесса, высокую скорость реакции окисления, однако требует стехиометрического соотношения между водородом и подаваемым в поток газа кислородом. Продуктом окисления является водяной пар. Часто вместо кислорода в поток газа подается воздух и его количество регулируется автоматически. После очистки от водорода гелий охлаждают, сепарируют от воды и затем осушают адсорбцией на цеолитах [35].

Технология отделения гелия ценосферами. Один из наиболее перспективных направлений отделения гелия без использования низких температур связан с давним открытием того, что молекулы легких газов способны диффундировать (просачиваться) сквозь кристаллическую решетку различных материалов. Например, известно, что водород исключительно легко проникает сквозь пластинки из металла палладия. В результате на основе этого знания реализована технология разделения водородсодержащей газовой смеси в сепараторе с тонкостенными палладиевыми мембранами [36].

Известно, что гелий хорошо проникает через кварцевое стекло. Но кварц – минерал очень туго-

плавкий, поэтому изготовление тонких кварцевых трубок или пластин – весьма трудоемкая операция, а их хрупкость ставит под сомнение надежность сепарационных агрегатов на такой основе. Поэтому до недавних пор предлагаемые технические решения не могли серьезно конкурировать с криогенной технологией ни по производительности, ни по капитальным затратам. Возобновление интереса специалистов к «теплым» способам концентрирования гелия связано с результатами научных исследований свойств наполнителей стройматериалов, проводимых в Институте химии и химической технологии СО РАН (Красноярск).

Речь идет о так называемых ценосферах – тонкостенных стеклянных шариках микроскопического размера, являющихся продуктами попутной переработки зольных компонентов угольной пыли [37]. Изучение фазового состава вещества ценосфер показало наличие в нем кристаллической фазы кварца, следовательно, их стенки проницаемы для гелия. Это навело ученых из Института теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск) на мысль о возможном разделении гелийсодержащего газа с помощью этих микрочастиц. Чтобы проверить эту гипотезу, в институте исследовали проницаемость различных газов внутрь ценосфер. Результаты хроматографических опытов свидетельствуют о том, что из компонентов природного газа только гелий способен проникать сквозь оболочку ценосфер [38].

На основе полученной в ходе экспериментов информации, изобретатели предложили техноло-

гию концентрирования гелия в заполненной микросферами колонне. Процесс осуществляется в три этапа: закачка исходной смеси при высоком давлении и абсорбция гелия микросферами, быстрое вакуумирование или продувка колонны с последующей десорбцией гелия из микросфер при низком давлении и выкачивание газа, обогащенного полезным продуктом. Вскоре предстоят испытания ценосфер для практического извлечения гелия из природного газа, добываемого в Западной Сибири. На опытном производстве уже конструируют пилотную установку, пригодную к работе в реальных условиях [39].

Заключение

Эффективное производство и применение ресурсов гелия при освоении месторождений в России представляет собой сложную многофакторную проблему. Создание комплексной системы сохранения запасов гелия, его добычи, переработки, хранения и рациональных видов транспортировки для внутреннего потребления в России и выхода на мировой рынок будет способствовать выводу промышленности на эффективный экономический и высокий экологический уровень.

С развитием масштабной добычи гелийсодержащего природного газа Россия сможет стать основным производителем и поставщиком гелия на мировой рынок. России принадлежит особая роль в решении вопроса сохранения гелия, поскольку именно на ее территории сосредоточена значительная часть планетарных ресурсов гелия.

Список источников

1. Силантьев Ю. Б., Халошина Т. О. Особенности локализации ресурсов гелия в нефтегазоносных бассейнах мира // Вести газовой науки. 2013. № 5 (16). С. 200–204.
2. Гелий – это не только про шарики. URL: <https://itek.ru/reviews/ekspert-rossiya-stanet-mirovym-liderom-po-proizvodstvu-geliya> (дата обращения: 17.04.2024).
3. Конторович А. Э., Удут В. Н., Пак В. А., Довгань А. В. Прогноз развития гелиевой промышленности Восточной Сибири: региональные, общероссийские и глобальные аспекты // ГЕО-Сибирь-2006. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сборник материалов международного научного конгресса. Новосибирск: СГГА, 2006. Т. 5. С. 67–75.
4. Ларионов А. В., Павлов Н. В. Перспективы эффективного использования и сохранения ресурсов гелия в Восточной Сибири // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2017. Т. 13, вып. 6. С. 1057–1067.
5. ГРП и гелий. Совет директоров Газпрома одобрил работу компании по ряду направлений. URL: <https://neftegaz.ru/news/Gazohimija/820966-grp-i-geliy-soviet-direktora-gazproma-odobril-rabotu-kompanii-po-ryadu-napravleniy/> (дата обращения: 18.04.2024).
6. «Газпром» подготовит концепцию развития гелиевой промышленности России. URL: <https://www.interfax.ru/business/927468> (дата обращения: 19.04.2024).
7. Совет директоров одобрил работу «Газпрома» по развитию гелиевой промышленности в России. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2024/february/article572468/> (дата обращения: 19.04.2024).
8. Газ природный и благородный. Правление Газпрома рассмотрело важные вопросы работы компании. URL: <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/814437-gaz-prirodnyy-i-blagorodnyy-pravlenie-gazproma-rassmotrelo-vazhnye-voprosy-raboty-kompanii/> (дата обращения: 20.04.2024).
9. Днем и ночью: Амурский газоперерабатывающий завод круглосуточно отгружает гелий. URL: <https://ampravda.ru/2023/12/27/0126637.html> (дата обращения: 20.04.2024).
10. Статус проекта строительства Амурского газоперерабатывающего завода – 90,84 %. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2023/december/article570190/> (дата обращения: 22.04.2024).
11. Восточный экономический форум: главные приглашения в нефтегазе. URL: <https://nprom.online/trends/vostochnyj-ekonomicheskij-forum-glavnnye-soglasheniya-v-neftegaze/> (дата обращения: 22.04.2024).
12. Второй крупнейший гелиевый завод страны в опытном режиме запустили в Приангарье – какая компания создала проект. URL: <https://ircity.ru/text/gorod/2023/06/15/72397109/> (дата обращения: 21.04.2024).
13. После 12 лет ожидания. В России появится концепция развития гелиевой промышленности? URL: <https://neftegaz-ru.turbopages.org/neftegaz.ru/s/news/Gazohimija/799133-v-rossii-poyavitsya-kontseptsiya-razvitiya-gelievoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 22.04.2024).

14. Ремизов О. В. Анализ устойчивости оценок стоимости интегрированного гелиевого проекта в Восточной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 3, № 1. С. 177–181.
15. Гриценко А. И. Освоение месторождений этансодержащих газов – ключевой этап в развитии газовой промышленности России // Газохимия. 2010. № 12. С. 30–33.
16. Гелий как ресурс: проблемы и перспективы добычи и использования. URL: <https://megatradegas.ru/geliiy-kak-resurs-problemy-i-perspektivy-dobychi-i-ispolzovaniya/> (дата обращения: 16.04.2024).
17. Якуцени В. П. Сырьевая база гелия в мире и перспективы развития гелиевой промышленности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. Т. 4, № 2. С. 6.
18. Русецкая Г. Д., Юрышев А. А. Проблемы и перспективы гелиевой промышленности России // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31, № 4. С. 448–457.
19. Голубева И. А., Настин А. Н., Соломахин В. И., Павловский В. В. Гелий в России сегодня: проблемы и пути решения // Газовая промышленность. 2021. № 4 (815). С. 70–78.
20. Ремизов О. В. Альтернативные подходы к оценке эффективности проекта по использованию ресурсов гелия на востоке РФ // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 3, № 1. С. 149–154.
21. Семягин И. Н. О методе экономической оценки стратегии развития гелиевой промышленности России // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 3, № 1. С. 199–203.
22. Голубева И. А., Лебедева М. А. Анализ и пути модернизации производства сжиженного гелия на Оренбургском гелиевом заводе // НефтеГазХимия. 2021. № 1-2. С. 29–32.
23. Бурунов Ф. Э., Шукруллаев Д. Д. Сущность и преимущества мембранного разделения гелийсодержащих природных газов // Экономика и социум. 2023. № 4(107)-1. С. 485–489.
24. Копша Д. П., Изюмченко В. Д., Гоголева И. В. Возможные пути оптимизации процесса тонкой очистки гелиевого концентрата // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2015. № 1 (21). С. 39–44.
25. Кисленко Н. Н., Махашвили М. Ю., Семиколонов Т. Г. и др. Регулирование объемов производства при освоении месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока с использованием мембранных технологий // Газохимия. 2011. № 2. С. 42–47.
26. Копша Д. П., Сиротин С. А., Никифоров В. Н. и др. Исследование и моделирование фазового равновесия газовых смесей с гелием // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2012. № 2 (10). С. 106–112.
27. «Газпром гелий сервис» и «Уралкриомаш» представили инновационное отечественное оборудование для перевозки сжиженных газов. URL: <https://helium.gazprom.ru/press/news/2023/11/1-2/> (дата обращения: 22.04.2024).
28. Редкий изотоп: как Росатом создает Гелий-3 из жидкого гелия. URL: <https://germes-gas.ru/blog/redkij-izotop-kak-rosatom-sozdayot-gelij-3-iz-zhidkogo-geliya/> (дата обращения: 20.04.2024).
29. Новая разработка поможет России стать лидером на рынке гелия. URL: <https://sectormedia.ru/news/sobytitya-neft-i-gaz/novaya-razrabotka-pomozhet-rossii-stat-liderom-na-rynke-geliya-/> (дата обращения: 20.04.2024).
30. Россия наращивает производство гелия. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/153086/> (дата обращения: 20.04.2024).
31. ПМГФ – 2022: как это было // Проектировщик. 2022. № 9 (78). URL: [https://proektirovanie.gazprom.ru/d/journal/3a/58/proektirovshchik-78-\(sentyabr-2022\).pdf](https://proektirovanie.gazprom.ru/d/journal/3a/58/proektirovshchik-78-(sentyabr-2022).pdf) (дата обращения: 20.04.24).
32. Курякова Т. А., Федоров Е. А., Межуева Л. В. и др. Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 4. С. 316–321.
33. Скрыбина А. С. Опыт подземного хранения гелия // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10-2 (52). С. 155–159.
34. Бондаренко В. Л., Графов А. П. Оценка затрат на получение изотопа ^3He из природного гелия криогенными методами // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 5 (5). С. 182.
35. Верещагин А. С. Стекланные шарики для солнечного газа // Наука из первых рук. 2010. № 5 (35). С. 32–37.
36. Степанов В. В. Оптимизационные исследования энерготехнологических установок выделения гелия из природного газа и производства электроэнергии // Вестник ИрГТУ. 2006. № 2 (26). С. 8.
37. Ларионов А. В., Ноговицын Р. Р., Попова К. С. О государственном стимулировании и регулировании эффективного извлечения гелия при разработке уникальных гелиеносных месторождений природного газа на территории Республики Саха (Якутия) // Проблемы современной экономики. 2017. № 4 (64). С. 151–154.
38. Ходырева Ю. Ю. Характеристика технологии производства и технологического оборудования на гелиевом заводе // Вестник магистратуры. 2016. № 10-1 (61). С. 22–25.
39. Добычу гелия-3 собираются начать уже в 2028 году. Кому и зачем это нужно? URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/800909/ (дата обращения: 18.04.2024).

References

1. Silant'ev Ju. B., Haloshina T. O. Osobennosti lokalizatsii resursov geliya v neftegazonosnyh bassejnah mira [Features of localization of helium resources in the oil and gas basins of the world]. *Vesti gazovoy nauki*, 2013, no. 5 (16), pp. 200-204.
2. *Gelij – jeto ne tol'ko pro shariki* [Helium is not just about balloons]. Available at: <https://itek.ru/reviews/ekspert-rossiya-stanet-mirovym-liderom-po-proizvodstvu-geliya/> (accessed: 17.04.2024).
3. Kontorovich A. Je., Udut V. N., Pak V. A., Dovgan' A. V. Prognoz razvitiya geliyevoy promyshlennosti Vostochnoj Sibiri: regional'nye, obshherossijskie i global'nye aspekty [Forecast of the development of the helium industry in Eastern Siberia: regional, national and global aspects]. *GEO-Sibir'*-2006. T. 5. *Nedropol'zovanie. Novye napravlenija i tehnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa*. Novosibirsk, SGA Publ., 2006, vol. 5, pp. 67-75.
4. Larionov A. V., Pavlov N. V. Perspektivy jeffektivnogo ispol'zovaniya i sohraneniya resursov geliya v Vostochnoj Sibiri [Prospects for the effective use and conservation of helium resources in Eastern Siberia]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2017, vol. 13, iss. 6, pp. 1057-1067.
5. *GRR i gelij. Sovet direktorov Gazproma odobril rabotu kompanii po rjadu napravlenij* [GRR and helium.

Gazprom's Board of Directors approved the company's work in a number of areas]. Available at: <https://neftegaz.ru/news/Gazohimija/820966-grr-i-gelij-soviet-direktorov-gazproma-odobril-rabotu-kompanii-po-ryadu-napravleniy/> (accessed: 18.04.2024).

6. «Gazprom» podgotovit koncepciju razvitiya gelievoy promyshlennosti Rossii [Gazprom will prepare a concept for the development of the Russian helium industry]. Available at: <https://www.interfax.ru/business/927468> (accessed: 19.04.2024).

7. Sovet direktorov odobril rabotu «Gazproma» porazvitiyu gelievoy promyshlennosti v Rossii [The Board of Directors approved Gazprom's work on the development of the helium industry in Russia]. Available at: <https://www.gazprom.ru/press/news/2024/february/article572468/> (accessed: 19.04.2024).

8. Gaz prirodnyy i blagorodnyy. Pravlenie Gazproma rassmotrelo vazhnye voprosy raboty kompanii [Natural and noble gas. Gazprom's Management Board considered important issues of the company's work]. Available at: <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/814437-gaz-prirodnyy-i-blagorodnyy-pravlenie-gazproma-rassmotrelo-vazhnye-voprosy-raboty-kompanii/> (accessed: 20.04.2024).

9. Dnem i noch'ju: Amurskij gazopererabatyvayushhij zavod kruglosutochno otgruzhaet gelij [Day and night: Amur Gas Processing Plant ships helium around the clock]. Available at: <https://ampravda.ru/2023/12/27/0126637.html> (accessed: 20.04.2024).

10. Status proekta stroitel'stva Amurskogo gazopererabatyvayushhego zavoda – 90,84 % [The status of the Amur Gas Processing Plant construction project is 90.84%]. Available at: <https://www.gazprom.ru/press/news/2023/december/article570190/> (accessed: 22.04.2024).

11. Vostochnyy jekonomicheskij forum: glavnye soglasheniya v neftegaze [Eastern Economic Forum: the main agreements in the oil and gas industry]. Available at: <https://nprom.online/trends/vostochnyy-ekonomicheskij-forum-glavnye-soglasheniya-v-neftegaze/> (accessed: 22.04.2024).

12. Vtoroj krupnejshij gelievyy zavod strany v opytnom rezhime zapustili v Priangar'e – kakaja kompanija sozdala projekt [The second largest helium plant in the country was launched in pilot mode in the Angara region – which company created the project]. Available at: <https://ircity.ru/text/gorod/2023/06/15/72397109/> (accessed: 21.04.2024).

13. Posle 12 let ozhidaniya. V Rossii pojavitsya koncepcija razvitiya gelievoy promyshlennosti? [After 12 years of waiting. Will there be a concept for the development of the helium industry in Russia?]. Available at: <https://neftegaz.ru.turbopages.org/neftegaz.ru/s/news/Gazohimija/799133-v-rossii-poyavitsya-kontseptsiya-razvitiya-gelievoy-promyshlennosti/> (accessed: 22.04.2024).

14. Remizov O. V. Analiz ustojchivosti ocenok stoimosti integrirovannogo gelievogo proekta v Vostochnoj Sibiri [Analysis of the sustainability of cost estimates for an integrated helium project in Eastern Siberia]. *Interjekspos Geo-Sibir'*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 177-181.

15. Gricenko A. I. Osvoenie mestorozhdenij jetansoderzhashhih gazov – kljuchevoj jetap v razvitiu gazovoy promyshlennosti Rossii [The development of ethane-containing gas deposits is a key stage in the development of the Russian gas industry]. *Gazohimija*, 2010, no. 12, pp. 30-33.

16. Gelij kak resurs: problemy i perspektivy dobychi i ispol'zovanija [Helium as a resource: problems and prospects of extraction and use]. Available at: <https://megatradegas.ru/gelij-kak-resurs-problemy-i-perspekti/> (accessed: 16.04.2024).

17. Jakuceni V. P. Syr'evaja baza gelija v mire i perspektivy razvitiya gelievoy promyshlennosti [The raw material base of helium in the world and the prospects for the development of the helium industry]. *Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika*, 2009, vol. 4, no. 2, p. 6.

18. Ruseckaja G. D., Juryshev A. A. Problemy i perspektivy gelievoy promyshlennosti Rossii [Problems and prospects of the Russian helium industry]. *Izvestija Bajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, vol. 31, no. 4, pp. 448-457.

19. Golubeva I. A., Nastin A. N., Solomahin V. I., Pavlovskij V. V. Gelij v Rossii segodnja: problemy i puti reshenija [Helium in Russia today: problems and solutions]. *Gazovaja promyshlennost'*, 2021, no. 4 (815), pp. 70-78.

20. Remizov O.V. Al'ternativnye podhody k ocenke jefektivnosti proekta po ispol'zovaniju resursov gelija na vostoke RF [Alternative approaches to evaluating the effectiveness of the project on the use of helium resources in the east of the Russian Federation]. *Interjekspos Geo-Sibir'*, 2014, vol. 3, no. 1, pp. 149-154.

21. Semjagin I. N. O metode jekonomicheskoy ocenki strategii razvitiya gelievoy promyshlennosti Rossii [On the method of economic assessment of the strategy for the development of the Russian helium industry]. *Interjekspos Geo-Sibir'*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 199-203.

22. Golubeva I. A., Lebedeva M. A. Analiz i puti modernizacii proizvodstva szhizhennogo gelija na Orenburgskom gelievom zavode [Analysis and ways to modernize the production of liquefied helium at the Orenburg Helium Plant]. *NefteGazoHimija*, 2021, no. 1-2, pp. 29-32.

23. Buronov F. Je., Shukrullaev D. D. Sushhnost' i preimushhestva membrannogo razdelenija gelijsoderzhashhih prirodnyh gazov [The essence and advantages of membrane separation of helium-containing natural gases]. *Jekonomika i socium*, 2023, no. 4(107)-1, pp. 485-489.

24. Kopsha D. P., Izjumchenko V. D., Gogoleva I. V. Vozmozhnye puti optimizacii processa tonkoj oshistki gelievogo koncentrata [Possible ways to optimize the process of fine purification of helium concentrate]. *Nauchno-tehnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki*, 2015, no. 1 (21), pp. 39-44.

25. Kislenco N. N., Mahoshvili M. Ju., Semikolenov T. G. i dr. Regulirovanie ob'emov proizvodstva pri osvoenii mestorozhdenij Vostochnoj Sibiri i Dal'nego Vostoka s ispol'zovanijem membrannyh tehnologij [Regulation of production volumes in the development of deposits in Eastern Siberia and the Far East using membrane technologies]. *Gazohimija*, 2011, no. 2, pp. 42-47.

26. Kopsha D. P., Sirotin S. A., Nikiforov V. N. i dr. Issledovanie i modelirovanie fazovogo ravnovesija gazovyh smesej s geliem [Investigation and modeling of the phase equilibrium of gas mixtures with helium]. *Nauchno-tehnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki*, 2012, no. 2 (10), pp. 106-112.

27. «Gazprom gelij servis» i «Uralkriomash» predstavili innovacionnoe otechestvennoe oborudovanie dlja perevozki szhizhennyh gazov [Gazprom Helium Service and Uralkriomash presented innovative domestic equipment for the transportation of liquefied gases]. Available at: <https://helium.gazprom.ru/press/news/2023/11/1-2/> (accessed: 22.04.2024).

28. Redkij izotop: kak Rosatom sozdaet Gelij-3 iz zhidkogo gelija [Rare Isotope: How Rosatom creates Helium-3 from liquid helium]. Available at: <https://germes-gas.ru/blog/redkij-izotop-kak-rosatom-sozdayot-gelij-3-iz-zhidkogo-geliya/> (accessed: 20.04.2024).

29. Novaja razrabotka pomozhet Rossii stat' liderom na rynke gelija [The new development will help Russia become a leader in the helium market]. Available at: <https://>

sectormedia.ru/news/sobytiya-neft-i-gaz/novaya-razrabotka-po-mozhet-rossii-stat-liderom-na-rynke-geliya-/ (accessed: 20.04.2024).

30. *Rossija narashhivaet proizvodstvo geliya* [Russia is increasing helium production]. Available at: <https://sdelanounas.ru/blogs/153086/> (accessed: 20.04.2024).

31. PMGF – 2022: kak jeto bylo [PMGF – 2022: how it was]. *Proektirovshhik*, 2022, no. 9 (78). Available at: [https://proektirovanie.gazprom.ru/d/journal/3a/58/proektirovshchik-78-\(sentyabr-2022\).pdf](https://proektirovanie.gazprom.ru/d/journal/3a/58/proektirovshchik-78-(sentyabr-2022).pdf) (accessed: 20.04.24).

32. Kurjakova T. A., Fedorov E. A., Mezhueva L. V. i dr. Podbor katalizatorov, obespechivajushhiih stabil'nost' raboty i vysokuju skorost' okislenija vodoroda i metana v reaktorah R 2 otdelenij tonkoj ochestki geliya Orenburgskogo gelievogo zavoda [Selection of catalysts that ensure stable operation and high oxidation rate of hydrogen and methane in the reactors of the P 2 helium fine purification departments of the Orenburg Helium Plant]. *Vestnik VGUIT*, 2018, vol. 80, no. 4, pp. 316-321.

33. Skrbjabin A. S. Opyt podzemnogo hranenija geliya [Experience of underground helium storage]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2016, no. 10-2 (52), pp. 155-159.

34. Bondarenko V. L., Grafov A. P. Ocenka zatrat na poluchenie izotopa ^3He iz prirodnogo geliya kriogennymi metodami [Estimation of the cost of obtaining isotope ^3He from natural helium by cryogenic methods]. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii*, 2012, no. 5 (5), p. 182.

35. Vereshhagin A. S. Stekljannye shariki dlja solnechno-

nogo gaza [Glass balls for solar gas]. *Nauka iz pervyh ruk*, 2010, no. 5 (35), pp. 32-37.

36. Stepanov V. V. Optimizacionnye issledovanija jenergotehnologicheskikh ustanovok vydelenija geliya iz prirodnogo gaza i proizvodstva jelektroenergii [Optimization studies of energy technology installations for the extraction of helium from natural gas and the production of electricity]. *Vestnik IrGTU*, 2006, no. 2 (26), p. 8.

37. Larionov A. V., Nogovicyn R. R., Popova K. S. O gosudarstvennom stimulirovanii i regulirovanii jeffektivnogo izvlechenija geliya pri razrabotke unikal'nyh geliensnyh mestorozhdenij prirodnogo gaza na territorii Respubliki Saha (Jakutija) [On state stimulation and regulation of effective helium extraction in the development of unique gas-bearing natural gas fields in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Problemy sovremennoj jekonomiki*, 2017, no. 4 (64), pp. 151-154.

38. Hodyreva Ju. Ju. Charakteristika tehnologii proizvodstva i tehnologicheskogo oborudovanija na gelievom zavode [Characteristics of the production technology and technological equipment at the helium plant]. *Vestnik magistratury*, 2016, no. 10-1 (61), pp. 22-25.

39. *Dobychu geliya-3 sobirajutsja nachat' uzhe v 2028 godu. Komu i zachem jeto nuzhno?* [The extraction of helium-3 is planned to begin as early as 2028. Who needs it and why?]. Available at: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/800909/ (accessed: 18.04.2024).

Статья поступила в редакцию 21.05.2024; одобрена после рецензирования 31.05.2024; принята к публикации 11.06.2024

The article was submitted 21.05.2024; approved after reviewing 31.05.2024; accepted for publication 11.06.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Владимировна Власова – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; g.vlasova@astu.org

Galina V. Vlasova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; g.vlasova@astu.org

Татьяна Владимировна Сальникова – старший преподаватель кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; t_salnikowa@mail.ru

Tatyana V. Salnikova – Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; t_salnikowa@mail.ru

Ирина Владимировна Савенкова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; sirvht@mail.ru

Irina V. Savenkova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; sirvht@mail.ru

