

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ГЕЛИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 553.981.2

И.А. Голубева, д.х.н., проф., ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия), golubevaia@gmail.com

А.Н. Настин, АО «СОГАЗ» (Москва, Россия), anton-nastin@mail.ru

В.И. Соломахин, ООО «ТЕКОН Мембранные технологии» (Москва, Россия), 5174594@mail.ru

В.В. Павловский, ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», pavlovskiy.v@gubkin.ru

Совершенствование технологий извлечения гелия из гелийсодержащих природных газов и получения товарного гелия способно снизить себестоимость его производства, а значит, заметно повлиять на перспективы развития российской гелиевой промышленности¹.

Существующий технологический процесс, как правило, разбивается на две крупные стадии: на первом этапе получают гелиевый концентрат, на втором – товарный гелий в газообразном или сжиженном виде. В большинстве случаев классическое производство основано на комплексной переработке гелийсодержащего природного газа, весь поток которого поэтапно охлаждают с помощью криогенных установок. Продукт этого процесса – гелиевый концентрат. Для его производства и отделения азота на одном из этапов получают сжиженный природный газ. Перед сжижением газ требуется подготовить определенным образом (удалить кислые газы, провести глубокую осушку, адсорбционное удаление паров ртути, меркаптанов и т.п.). На более ранних стадиях происходит поэтапное охлаждение всего потока подготовленного гелийсодержащего природного газа, что позволяет извлекать остатки углеводородов C₃₊ (при температурах на уровне –40 °С) и в дальнейшем – этан (температура конденсации на уровне –80... – 100 °С в зависимости от рабочего давления).

Такая комплексная переработка гелийсодержащих природных газов весьма энергетически затратна и капиталоемка. Кроме того, обычно в них повышена концентрация азота, что характерно практически для всех гелиеносных месторождений. Оставшаяся после сжижения газовая смесь состоит из азота (его концентрация повышена), гелия, водорода и иных газов с более низкими температурами конденсации. Для выделения гелиевого концентрата из этой газовой смеси необходимо дополнительное охлаждение в целях ожижения и удаления азота при температурах на уровне –190 °С. В результате остается газообразный гелиевый концентрат – сырье для получения товарного гелия. Применение альтернативных технологических подходов для таких сложных и затратных процессов даже на этапах выделения гелиевого концентрата способно помочь в решении задачи снижения энергоемкости прямого получения товарного гелия и организации его малотоннажного производства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ГЕЛИЙ, МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОБЛЕМА, ПУТЬ РЕШЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

Снижение капитальных и эксплуатационных затрат в сравнении с классическим методом переработки гелийсодержащего природного газа (ГПГ) на этапе

получения гелиевого концентрата (ГК) возможно при мембранном разделении ГПГ на два разных по величине и компонентному составу потока.

Подготовленный ГПГ высокого давления должен удовлетворять как минимум требованиям

СТО Газпром 089–2010 [1]. Кроме того, желательно на установке комплексной подготовки газа (УКПГ) проводить более глубокое извлечение углеводородов C₃₊. Перед подачей на мембранное оборудование должна быть осуществлена качественная очистка ГПГ от меха-

¹ Первая часть статьи под названием «Гелий в России сегодня: проблемы и пути решения» была опубликована авторами в журнале «Газовая промышленность» № 4 (815) за 2021 г.

I.A. Golubeva, DSc in Chemistry, Professor, National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Moscow, Russia), golubevaia@gmail.com

A.N. Nastin, SOGAZ INSURANCE (Moscow, Russia), anton-nastin@mail.ru

V.I. Solomakhin, OOO Tecon Membrane Technologies (limited liability company) (Moscow Russia), 5174594@mail.ru

V.V. Pavlovsky, National University of Oil and Gas “Gubkin University”, pavlovskiy.v@gubkin.ru

Membrane technologies for helium recovery from natural gas and development prospects of the Russian helium industry

Improving the technology for helium recovery from helium-rich natural gas and commercial helium production can reduce its cost price and, thus, significantly affect the development prospects of the Russian helium industry.

The existing process is usually divided into two large steps – producing helium concentrate and then producing commercial helium in gaseous or liquefied form. Conventional helium production is generally based on the complex processing of helium-rich natural gas, whose entire stream is cooled in stages using cryogenic plants to produce helium concentrate. For this purpose and to separate nitrogen, one of the stages includes natural gas liquefaction, which demands preliminary gas treatment in a certain way: acid gas removal, deep dehydration, adsorptive removal of mercury vapor, mercaptans, etc. Stagewise cooling of the whole stream of pre-treated helium-rich natural gas during the earlier steps makes it possible to recover C_3 , hydrocarbons (at -40 °C temperature level) and then ethane (at a condensation temperature level of $-80...-100$ °C depending on operating pressure).

Such complex processing of helium-rich natural gas is quite energy- and capital-intensive. Besides, at almost all helium-bearing fields, nitrogen concentration is normally high in helium-rich natural gas. The liquefaction residue is a gas mixture comprising nitrogen (high concentration), helium, hydrogen, and other gases with lower condensation temperatures. To recover helium concentrate, the gas mixture must be additionally cooled to -190 °C to liquefy and remove nitrogen. The residue left as a result is the gaseous helium concentrate – a feedstock for commercial helium production.

Using alternative technology approaches to such complicated and energy-intensive processes even at the helium concentrate recovery steps would help to reduce the energy consumption of direct commercial helium production and arrange its small-scale production.

KEYWORDS: NATURAL GAS, HELIUM, MEMBRANE TECHNOLOGIES, ISSUE, SOLUTION, DEVELOPMENT PROSPECTS.

нических примесей и обеспечен необходимый термический режим. В частности, для минимизации рисков возникновения конденсата нужно, чтобы температура ГПГ не менее чем на 20 °C превышала температуру точки росы по воде и углеводородам. Применяемые непористые полимерные мембраны, обладающие высокой селективностью к основному газовому компоненту (метану), должны быть хорошо проницаемы для гелия, химически и физически стабильны, характеризоваться достаточной прочностью и плотностью упаковки на единицу внутреннего объема мембранных аппаратов, а также не иметь дефектов селективного слоя. Характерная толщина последнего у современных асимметричных полых мембран находится на уровне 100 нм (10^{-7} м), поэтому их бездефектное производство требует высокого уровня технологий и компетенций персонала.

Принцип селективного мембранного газоразделения основан на том, что газовые составляющие

способны проникать через мембрану с разной интенсивностью. Процесс массопереноса любой газовой компоненты возможен только при перепаде ее парциальных давлений над и под мембраной. Более подробно данная технология рассмотрена в научнотехнической литературе, например в [2, 3].

Свыше 50 лет назад был описан мембранно-криогенно-адсорбционный способ решения подобной задачи с получением товарного гелия [4]. Согласно этому методу подготовленный ГПГ при рабочем давлении поступает на рециркуляционную трехступенчатую мембранную установку, в которой каждая ступень представлена одностадийным процессом газоразделения (рис. 1а).

Цели и задачи мембранной установки состоят в разделении входного подготовленного ГПГ на два продукта: Продукт 1 должен содержать основную долю трудно проникающих компонентов (ТПК) и малое количество – легко

проникающих (ЛПК); Продукт 2, наоборот, – большую часть ЛПК и некоторую малую долю ТПК. В идеале газовую смесь желательнее разделить «нацело», т.е. в Продукте 1 должны оказаться только ТПК, а в Продукте 2 – только ЛПК, что на практике труднодостижимо. К группе ЛПК для большинства доступных на рынке мембран, изготовленных из стеклоподобных полимеров (glassy polymers), относятся: вода в паровой фазе, гелий, водород, кислые газы (CO_2 , H_2S), к ТПК – азот, метан и его гомологи.

Первая ступень «освобождает» входной поток от ЛПК с определенной эффективностью в зависимости от газоразделительных свойств мембран и параметров эксплуатации. Очищенный поток 3 представляет собой один из конечных продуктов (Продукт 1). Вторая и третья ступени предназначены для последующего концентрирования ЛПК, извлеченных на первой. Оно достигается за счет уменьшения в конечном Продукте 2 доли ТПК. Контуры рециркуляции

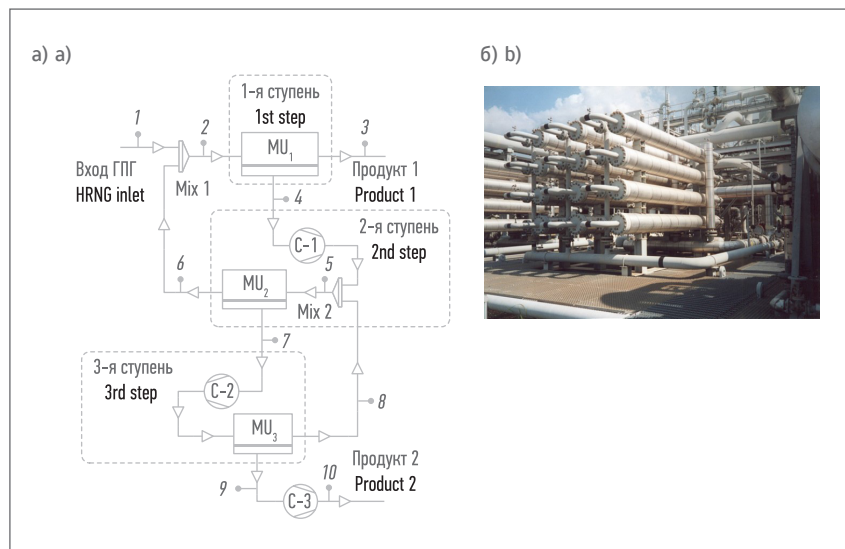


Рис. 1: а) принципиальная схема трехступенчатой рециркуляционной мембранной установки (по [4]): Mix – смеситель, объединяющий газовые потоки; MU (membrane unit) – мембранный блок с одностадийным процессом газоразделения; C-1, C-2 и C-3 – компрессоры для сжатия пермеатных потоков пониженного давления; 1–10 – нумерация газовых потоков; б) пример блочно-модульной конструкции мембранного блока

Fig. 1: a) process flow diagram for 3-step recycle membrane unit (as per [4]): HRNG – helium-rich natural gas; Mix – mixer for gas streams; MU – membrane unit with 1-stage gas separation process; C-1, C-2, and C-3 – compressors for low-pressure permeate streams; 1–10 – gas stream numbers; б) example of block-and-modular membrane unit design

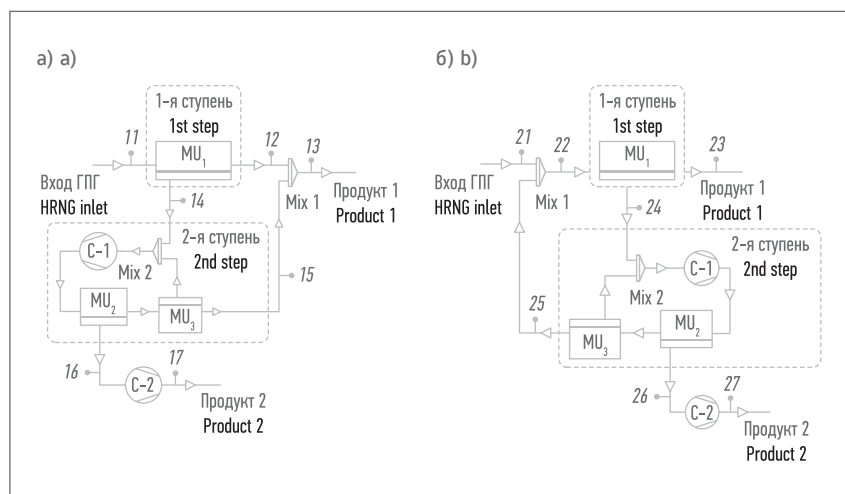


Рис. 2. Двухступенчатые мембранные установки с газоразделением на второй ступени в две стадии: а) прямоточный вариант (по [5]); б) вариант с рециклом на первую ступень (по [6])

Fig. 2. Two-step membrane units with 2-stage gas separation at 2nd step: а) direct-flow option (as per [5]); б) option with recycling to 1st step (as per [6])

(потоки 6 и 8) служат для возврата ТПК с некоторой долей ЛПК обратно в начало процесса газоразделения.

Продукт 1 на выходе мембранной установки – это природный газ (ПГ), очищенный практически без потери рабочего давления от ЛПК, в том числе и от гелия.

Последний будет также дополнительно осушен (температура точки росы по воде может снизиться примерно на 20–30 °С). Продукт 2 представляет собой ГК, который уже можно использовать для получения товарного гелия. Величина этого потока в зависи-

мости от количества ЛПК в исходном ГПГ может быть менее 1,0 % от входного, что существенно снижает мощность и капиталоемкость гелиевого завода (ГЗ). Однако мембранная газоразделительная установка обладает своими параметрами капиталовложений и эксплуатационными затратами, но уже без энергоемких и крупнотоннажных криогенных технологий. Среди факторов, влияющих на эффективность мембранного газоразделения, необходимо отметить следующие: газоразделительные свойства применяемых мембран; оптимальность выбранной технологической схемы; обоснованность параметров эксплуатации по температуре, давлению, расходам.

Капитальные вложения в оборудование (количество мембран) зависят от проницаемости целевого компонента – гелия. Качественные процессы газоразделения определяются селективностью ЛПК к ТПК, т.е. в рассматриваемом случае – гелия к метану. Современные мембраны позволяют использовать двухступенчатые схемы.

Прямоточная, предложенная в [5], и рециркуляционная, рассмотренная в [6], оказались оптимальными [7] в классе двухступенчатых схем (рис. 2).

Критерием оптимальности технологической схемы служит не только глубина извлечения гелия из входного потока ГПГ согласно заданному требованию по остаточной концентрации этого компонента в Продукте 1, но и «эксплуатационная цена» достигаемого решения. При мембранном газоразделении ГПГ характеризуется совокупными потерями метана в составе Продукта 2 (в зарубежной научно-технической литературе по мембранному газоразделению ПГ применяется специальный термин methane loss) и энергоемкостью компрессорного оборудования.

Для наглядности далее рассмотрен процесс мембранного газоразделения на примере ГПГ с умеренным содержанием

Таблица. Результаты авторских оценочных расчетов (режим противотока в модели идеального вытеснения) для рециркуляционной схемы (рис. 2б)
Table. The authors' estimates (backflow mode in plug flow model) for recycling layout (fig. 2b)

Параметр Parameter	Вход ГПГ HRNG inlet	22*	24*	25*	26*	Продукт 1 Product 1	Продукт 2 Product 2
Расход газа, усл. ед. Gas flow rate, relative units	1000,00	1048,60	52,60	48,60	4,00	996,00	4,00
Давление абс., МПа Abs. pressure, MPa	10,20	10,20	0,15	10,20	0,15	10,10	До 10,20 Up to 10.20
Компонентный состав газа, об. % Gas composition, vol. %							
He	0,27	0,27	5,00	0,27	62,45	0,02	62,45
H ₂	0,06	0,06	1,10	0,08	13,46	< 0,01	13,46
N ₂	1,66	1,68	2,00	2,12	0,59	1,66	0,59
CH ₄	92,49	92,60	89,20	94,82	20,91	92,79	20,91
C ₂ H ₆	4,31	4,21	2,07	2,22	0,24	4,33	0,24
C ₃₊	1,19	1,15	0,28	0,30	0,02	1,19	0,02
CO ₂	0,02	0,03	0,35	0,19	2,33	0,01	2,33

* Примечание. Номер газового потока на рис. 2б

* Note. Gas stream number on fig. 2b

азота, небольшой долей водорода и диоксида углерода (табл.). Гелийсодержащие газы – природные газы с концентрацией гелия свыше 0,02 об. %. Поэтому требование по остаточной концентрации этого полезного компонента в Продукте 1 – не более 0,02 об. % при начальной его концентрации 0,27 об. %. Рабочее давление должно составлять 10,2 МПа абс., а в пермеатных потоках – 0,15 МПа абс. За основу газоразделительных свойств мембран взят прототип полиимида со следующими значениями селективности (α) относительно метана:

$$\alpha_{\text{He/CH}_4} = 90,00; \alpha_{\text{H}_2/\text{CH}_4} = 80,00;$$

$$\alpha_{\text{CO}_2/\text{CH}_4} = 25,00; \alpha_{\text{N}_2/\text{CH}_4} = 1,25;$$

$$\alpha_{\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4} = 0,50; \alpha_{\text{C}_3+\text{CH}_4} = 0,25.$$

Из результатов оценочных расчетов рассмотренного примера можно сделать следующие выводы:

- гелий и водород были извлечены и сконцентрированы в Продукте 2 с высокой эффективностью;
- наблюдается удовлетворительное извлечение и концентрирование CO₂;
- извлечение азота оказалось неэффективным (из-за его низкой селективности к метану);

– доля Продукта 2 равна 0,40 об. % от входного потока, а Продукта 1 – 99,60 об. % и имеет заданную остаточную концентрацию гелия в 0,02 об. %;

– практически весь метан и его гомологи остаются в составе Продукта 1;

– условные потери метана в составе Продукта 2 менее 0,10 масс. %.

Основная энергоемкость процесса мембранного газоразделения будет определяться двумя компрессорами. Суммарная доля пермеатных потоков, подлежащих сжатию на С-1 и С-2, не превышает 6,0 % от величины входного потока (рис. 2б).

Результаты расчетов иллюстрируют перспективу применения мембранного газоразделения в задаче получения ГК с существенным снижением капиталоемкости и удельной энергоемкости технологических процессов. Глубокое криогенное охлаждение для ожижения метана и азота в данном случае не требуется.

В исследовании [4] рассматривался криогенно-адсорбционный подход к переработке полученного

Продукта 2, что не во всех случаях может быть достаточным для необходимых технологических процессов, например из-за присутствия водорода. На Оренбургском ГЗ для удаления этого элемента и остаточного метана применяется каталитическая очистка ГК с помощью кислорода в присутствии алюмоплатинового катализатора.

Согласно сообщению на сайте компании Linde AG [8], на ГЗ в д. Манкота (Саскачеван, Канада) удалось получить газообразный гелий чистотой 99,999 % исключительно при использовании мембранно-адсорбционного метода, т.е. без применения криогенных технологий. К сожалению, информации, имеющейся в свободном доступе, недостаточно для детальной оценки реализованного проекта.

В России первая промышленная мембранная установка для ГПГ используется на Чаюдинском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ). В компонентном составе получаемого здесь товарного газа повышено содержание азота. Его предполагаемая концентрация на ранних стадиях освоения месторождения согласно

доступной тендерной документации составляет 7,3–7,4 об. %. Как было показано выше, доступные на рынке мембраны с высокой селективностью по паре гелий – метан не способны еще снижать концентрацию азота в Продукте 1. Однако на установке мембранного выделения гелиевого концентрата (УМВГК) Чаюндинского НГКМ пока не стояла задача получения товарного гелия высокой чистоты с одновременным снижением концентрации азота в товарном газе. Гелиевый концентрат на этом месторождении будет закачиваться обратно в недра, поскольку предполагается определенная сохранность ГК при использовании Чаюндинского НГКМ в дальнейшем. В постановке задачи для проекта УМВГК, к сожалению, не выдвигалось дополнительное требование по минимизации количества метана в составе Продукта 2, что представляет некоторый недостаток применяемого решения.

Повышенное содержание азота в составе газа пока ограничивает полный отказ от классического способа переработки ГПГ, поскольку снижение концентрации этого компонента, например до уровней ниже 3,0–4,0 об. %, составляет важное требование для увеличения калорийности ПГ и уменьшения доли ненужного «балласта» при транспортировке ПГ на большие расстояния. На крупных гелийсодержащих месторождениях, не только в России, наблюдается, как правило, повышенное содержание азота. Исключение составляет ГПГ Ковыктинского газоконденсатного месторождения (ГКМ), где концентрация этого компонента менее 2,0 об. %, что объясняет уникальность данного объекта. При реализации отвода ГПГ, например по маршруту Ковыкта – Саяны – Иркутск, объемом в несколько млрд м³/год будет целесообразным строительство мембранной установки для получения ГК и малотоннажного ГЗ для производства товарного гелия. Применение мембранно-криогенно-адсорбционного

способа даст возможность получить товарный гелий в качестве целевого, а не попутного продукта, как при классической криогенной технологии с поэтапным охлаждением всего потока до –190 °С при высоких давлениях.

Подводя итог, можно сформулировать основные выводы и проблемы в связи с применением мембранных технологий при переработке ГПГ:

- технологические решения по мембранному извлечению и концентрированию гелия при реализации рассмотренных задач с учетом свойств мембран и параметров их эксплуатации требуют дальнейших аргументированных обоснований;

- важное дополнительное условие реализации представленных технологий – минимизация условных потерь метана в составе Продукта 2 в сочетании с энергоемкостью применяемых компрессоров, поскольку одного требования по величине остаточной концентрации гелия в Продукте 1 недостаточно;

- конкурентоспособность товарного гелия независимо от спроса/предложения определяется себестоимостью его производства с учетом логистики доставки и расходов по хранению;

- целесообразно обращать внимание на отдельную группу гелиеносных месторождений с умеренным содержанием азота. Применение мембранных технологий для переработки таких ГПГ с выделением ГК и получением из него товарного гелия будет экономически выгодным;

- российское производство мембранной продукции для подобных задач с хорошими газоразделительными показателями и прочностными характеристиками пока недостаточно развито. «Отверточная» сборка из европейских или американских комплектующих даже при лицензировании этого процесса (локализации) в условиях санкций всегда будет сопровождаться повышенными рисками. Важно прово-

дить и всесторонне стимулировать собственные научно-технические исследования по созданию и внедрению российской мембранной продукции с достаточно высокой степенью импортозамещения.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕЛИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ

В России ПГ месторождений Восточной Сибири, в том числе Республики Саха (Якутия), содержат гелий в относительно высоких концентрациях. Актуальной стала задача его извлечения, утилизации и сбыта. Крупнейший проект, который способен вывести страну на новую «гелиевую орбиту», – Амурский газоперерабатывающий завод (ГПЗ) недалеко от г. Свободный (Амурская обл., Дальневосточный федеральный окр.). Это предприятие станет крупнейшим по мощности в России и вторым в мире по переработке ПГ, уже поставляющегося в Китай по газопроводу «Сила Сибири». На данный момент запущена установка мембранного выделения ГК на УКПГ Чаюндинского НГКМ, возводится Логистический центр обслуживания гелиевых контейнеров (ХАБ) в районе г. Владивостока (Приморский край), на финальной стадии строительства находятся установки сжижения гелия Амурского ГПЗ. Производительность этого завода – 42 млрд м³/год, в его составе будет действовать самое крупное в мире гелиевое производство – 60 млн м³/год. На предприятие по газопроводу «Сила Сибири» планируется поставлять ПГ Чаюндинского НГКМ и Ковыктинского ГКМ. Всего проектируется шесть технологических линий, комплекс Амурского ГПЗ занимает площадь 800 га.

В 2020 г. был пик строительных работ (рис. 3). На площадке одновременно трудились более 30 тыс. человек, от разнорабочих до высококвалифицированных специалистов.

Строительство Амурского ГПЗ направлено на реализацию про-

ектов освоения богатых отечественных гелиевых месторождений и открывает возможности выхода России на мировой уровень производства гелия, интенсивного развития отрасли высоких технологий, а также восполнения дефицита данного товара на международном рынке.

Перспективное направление экспорта – государства Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР): Китай, Южная Корея, Япония, Индия и др. Предполагается, что гелий Амурского ГПЗ будет востребован по международным ценам, а значит, удастся реализовать высокий экономический потенциал страны. Для этого необходимы создание крупных подземных гелиохранилищ и применение энергосберегающих технологий выделения гелия и его транспортировки, что позволит удовлетворить внутренние потребности и создать одно из базовых отечественных производств.

За последние годы запасы гелия в мире практически не изменились. Это связано с тем, что одновременно с истощением сырьевой базы ГПГ в США происходил прирост разведанных запасов в России, прежде всего в Восточной Сибири, благодаря чему из мировых запасов, составляющих порядка 40 млрд м³, в нашей стране сосредоточена почти треть. Второе место у Катара, затем идут США и Алжир. В структуре производства гелия пока доминируют США. Однако с учетом планируемого снижения объемов американского производства за счет истощения хранилища Клиффсайд (Амарилло, Техас, США) и ввода дополнительных мощностей на предприятиях Катара последний может занять ведущие позиции. Дальнейшие глобальные изменения мировой структуры товарного гелия ожидаются после ввода в эксплуатацию Амурского ГПЗ в 2021 г., на котором объем производства к 2026–2027 гг. составит 60 млн м³.

Сегодня сложилась ситуация, при которой нефтегазовая отрасль Восточной Сибири, в том



Рис. 3. Амурский ГПЗ на пике строительства [9]

Fig. 3. Amur Gas Processing Plant at the construction peak [9]

числе Республики Саха (Якутия), имеет преимущества, обеспечивающие ее ускоренное развитие [10]: значительные разведанные запасы углеводородов; их территориальная близость к крупным месторождениям Иркутской обл. и Красноярского края; имеющиеся перспективы наращивания сырьевой базы в районах, близко расположенных к планируемым центрам добычи нефти и трассам магистральных трубопроводов; наличие основы для дальнейшего совершенствования нефтегазовых предприятий и подготовки квалифицированных кадров.

Освоение месторождений Восточной Сибири, в том числе Республики Саха (Якутия), позволит России увеличить свою долю на мировом гелиевом рынке. Для этого необходимо предусмотреть создание крупных подземных гелиохранилищ, применение энергосберегающих технологий выделения гелия, его хранения и транспортировки.

В нашей стране уже разработана и находится на стадии поэтапной реализации промышленная технология мембранного выделения избыточных объемов гелия из подготовленного ГПГ на Чаюдинском НГКМ [11]. В составе газа, транспортируемого на Амурский газохимический комплекс (ГХК), будет

оставаться только часть гелия (его остаточная концентрация может регулироваться в зависимости от постановки задачи и с учетом потребностей рынка).

Заложенные в проект возможности Амурского ГХК по комплексной переработке ГПГ и получению товарного гелия весьма обширны. Так, с учетом строительства специализированных портовых хранилищ сжиженного гелия (хабов) создаются условия для его экспорта в страны АТР. Однако удаленность Восточной Сибири и Дальнего Востока от других регионов России может привести к повышению логистической составляющей при формировании конечной стоимости, в том числе для экспортных поставок в Европу, и снижению прибыли от реализации по рыночным ценам. Для решения данной проблемы необходимо проанализировать возможности даже небольших месторождений ГПГ с присутствием гелия и умеренной концентрацией азота. Нужно использовать мембранное газоразделение подготовленного ГПГ на этапе получения ГК. Это позволит организовать экономически выгодное региональное производство на малотоннажных ГЗ.

Для хранения гелия путем заправки ГК на Амурском ГПЗ рассматривают истощенные газовые

месторождения. Такой способ используется в США (Клиффсайд). Существенный недостаток данного подхода – очень высокая проникающая способность гелия, в результате которой он может просто просочиться в породы.

Главная сложность, которую требуется преодолеть для развития российской гелиевой промышленности, – разработка инновационной техники и технологий. Для этого крайне необходимо создание научного полигона по исследованию новых процессов и аппаратов. Решение этой проблемы невозможно без активного участия и поддержки со стороны государства, т.к. данный этап развития гелиевой промышленности требует значительных капитальных вложений и существенных сроков окупаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволил заключить, что с учетом реально установленных крупных запасов высококачественного газогелиевого сырья только в пределах России, на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока, есть основания рассчитывать на полное обеспечение гелием мирового рынка по крайней мере на ближайшее столетие. Однако это возможно только при условии рационального освоения и сохранения имеющихся и прогнозируемых запасов данного ценного ресурса. Развитие гелиевой отрасли открывает перспективы в области безопасной ядерной энергетики, криогенных технологий, наземного скоростного транспорта на магнитной подушке, повсеместного использования в системах мирового здравоохранения широ-

кой сети магнитных томографов, микроэлектроники, космических и оборонных исследований, основанных на уникальных свойствах гелия, не заменимого другими элементами.

Обоснованное применение мембранных технологий в задачах прямого получения ГК из ГПП весьма перспективно, в первую очередь для газа Ковыктинского ГКМ с умеренным содержанием азота. Кроме Восточной Сибири и Дальнего Востока необходимо уделить особое внимание небольшим гелиеносным месторождениям в европейской части России, поскольку доставка сюда дальневосточного сжиженного гелия или его экспорт в Европу приведет к ощутимой логистической составляющей при формировании отпускной цены. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 089–2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
2. Дытнерский Ю.И., Брыков В.П., Каграманов Г.Г. Мембранное разделение газов. М.: Химия, 1991.
3. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / пер. с англ. А.Ю. Алентьева, Г.П. Ямпольской; под ред. Ю.П. Ямпольского, В.П. Дубяги. М.: Мир, 1999.
4. Патент № 3324626 USA. Process for the recovery of helium: No. 6219537: заявл. 03.12.1964 г.: опубл. 13.06.1967 г. / Dresser T., Yarbrough J.A.; заявитель Sinclair Research Inc.
5. Патент № 145348 Российская Федерация, МПК В01Д 63/00 (2006.01), В01Д 53/22 (2006.01). Установка мембранного разделения газовой смеси высокого давления: № 2014122480/05: заявл. 04.06.2014 г.: опубл. 20.09.2014 г. / Соломахин В.И.; заявитель ДОО ЦКБН ОАО «Газпром».
6. Патент № 150520 Российская Федерация, МПК В01Д 53/00 (2006.01). Устройство извлечения гелия из природного газа повышенного давления. Варианты: № 2014121148/05: заявл. 26.05.2014 г.: опубл. 20.02.2015 г. / Соломахин В.И., Лагунцов Н.И., Курчатов И.М. и др.; заявитель ДОО ЦКБН ОАО «Газпром».
7. Соломахин В.И. Технологический способ оптимизации интегрального ресурсо- и энергосберегающего фактора в задаче мембранного извлечения гелия из подготовленного природного газа высокого давления // Мембраны и мембранные технологии. 2019. Т. 9. № 1. С. 38–46. DOI: 10.1134/S2218117218060081.
8. Гибридный процесс для улавливания гелия // Linde AG: официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.linde-engineering.ru/ru/about-linde-engineering/success-stories/hybrid-process-to-recover-helium.html> (дата обращения: 04.03.2021).
9. Фролов А. Амурский ГПЗ на пике строительства. Первый газоперерабатывающий завод на Дальнем Востоке станет одним из крупнейших в мире // Neftegaz.RU. 2020. № 4 (100). С. 108–112.
10. Ананенков А.Г. Восточная газовая программа – начало реализации // Газовая промышленность. 2008. № 12 (625). С. 8–10.
11. Вагарин В.А., Павленко В.В., Кисленко Н.Н. и др. Промышленная установка мембранного выделения гелия на Чайядинском НГКМ – уникальный проект ООО «Газпром проектирование» // Наука и техника в газовой промышленности. 2020. № 4 (84). С. 16–26.

REFERENCES

- (1) Gazprom PJSC. *STO Gazprom 089–2010 (company standard). Natural fuel gas fed to main pipes and transmitted through them. Specifications*. [Access restricted].
- (2) Dytnerskiy Yul, Brykov VP, Kagramanov GG. *Membrane Gas Separation*. Moscow: Chemistry [Khimiya]; 1991. (In Russian)
- (3) Mulder M. *Basic Principles of Membrane Technology*. Trans Alentyeva AYU, Yampolskaya GP, Yampolskiy YuP (ed.), Dubyaga VP (ed.). Moscow: Peace [Mir]; 1999. (In Russian)
- (4) Dresser T, Yarbrough JA. *Process for the recovery of helium*. US3324626 (Patent) 1964.
- (5) Solomakhin VI. *Installation of a membrane separation of a high pressure gas mixture*. RU145348 (Patent) 2014. (In Russian)
- (6) Solomakhin VI, Laguntsov NI, Kurchatov IM, Davydov YuS. *Device for helium extraction from natural gas reduced pressure options*. RU150520 (Patent) 2014. (In Russian)
- (7) Solomakhin VI. A technological method for optimizing the integrated resource and energy-saving factor in the membrane recovery of helium from stripped high-pressure natural gas. *Membr. Membr. Technol.* [Membrany i membrannye tekhnologii]. 2019; 9(1): 38–46.
- (8) Linde. *Hybrid process to recover helium*. Available from: <http://www.linde-engineering.ru/en/about-linde-engineering/success-stories/hybrid-process-to-recover-helium.html> [Accessed: 4 March 2021].
- (9) Frolov A. Amur GPP at the construction peak: The first gas processing plant in the Far East will be one of the largest worldwide. *Business magazine "Neftegaz.RU"* [Delovoy zhurnal "Neftegaz.RU"]. 2020; 100(4): 108–112. (In Russian)
- (10) Ananenko AG. Eastern Gas Program: Start of implementation. *Gas Industry* [Gazovaya promyshlennost']. 2008; 625(12): 8–10. (In Russian)
- (11) Vagarin VA, Pavlenko VV, Kislenco NN, Emelyanov PE. Commercial membrane helium extraction plant at Chayandinskoye oil, gas, and condensate field: The unique project by Gazprom proektirovanie LLC. *Science and Technology in the Gas Industry* [Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti]. 2020; 84(4): 16–26. (In Russian)