

**Казанский Федеральный Университет**  
**Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов<sup>1</sup>**  
**Kazan Federal University,**  
**Department of high-viscosity oils and natural bitumen**  
**Российское газовое общество<sup>2</sup>**  
**Russian Gas Society**

**Технология подготовки попутного нефтяного газа на основе мембранного  
разделения**

**Technology of associated petroleum gas preparation based on membrane  
separation**

Есетов Жанболат Арманович, Yessetov Zhanbolat Armanovich <sup>c</sup>

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich <sup>b</sup>

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich <sup>a</sup>,

Master's degree of the department of high-viscosity oils and natural bitumen<sup>1,c</sup>

Doctor of technical sciences, professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen <sup>1,a</sup>,

Candidate of technical sciences,

Associate professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen <sup>1,2,b</sup>

Member of the RGS Expert Council, Acting Head of the Hydrogen and Alternative Energy Group<sup>2,b</sup>

Kazan, Russia

E-mail: kemalov@mail.ru

**Аннотация:** Нефтяной газ представляет собой ценное сырье для нефтехимической промышленности. При переработке на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) из него получают сухой отбензиненный газ (СОГ), этан, смесь пропана и бутанов (СПБТ), широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), стабильный газовый бензин (СГБ). Однако, на практике его переработка возможна далеко не всегда, поскольку для этого необходима транспортировка нефтяного газа до ГПЗ, что является практически нерешаемой задачей для удаленных месторождений. В результате нефтяной газ на удаленных и мелких нефтяных месторождениях часто сжигается из-за нерентабельности или даже невозможности его транспортировки на переработку и отсутствия возможности его использования на месте.

**Ключевые слова:** газоперерабатывающие заводы, сухой отбензиненный газ, этан, смесь пропана и бутанов, широкую фракцию легких углеводородов, стабильный газовый бензин.

**Abstract:** Petroleum gas is a valuable raw material for the petrochemical industry. During processing at gas processing plants, dry gasoline gas, ethane, a mixture of propane and butanes, a wide fraction of light hydrocarbons, stable gas gasoline are obtained from it. However, in practice, its processing is not always possible, since this requires the transportation of petroleum gas to the gas processing plant, which is practically an unsolvable task for remote fields. As a result, oil gas in remote and small oil fields is often burned due to the unprofitability or even impossibility of its transportation for processing and the lack of the possibility of its use on site.

**Keywords:** gas processing plants, dry distilled gas, ethane, a mixture of propane and butanes, a wide fraction of light hydrocarbons, stable gas gasoline.

Постановлением Правительства РФ №7 от 08.01.09 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках был установлен целевой показатель утилизации нефтяного газа на уровне 95%. Достижение этого уровня остается приоритетной задачей нефтедобывающих компаний [1].

В настоящее время мембраны используются с целью очистки природного и попутного нефтяного газа (ПНГ) для выделения из них кислых примесей ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) и обеспечения соответствия газа требованиям для транспортировки по газопроводам. Мембраны используются также в процессах добычи нефти третичными методами для отделения углекислого газа от метана и повторной закачки  $\text{CO}_2$  в пласт. Газы часто содержат химически агрессивные или легко конденсируемые компоненты, снижающие производительность мембран и степень утилизации ПНГ. Для удаления этих компонентов или поддержания их концентрации ниже критической для работоспособности мембран требуется

дорогостоящая предварительная подготовка, что ограничивает сферу применения традиционных мембран при утилизации ПНГ и очистке природного газа, приводит к их функциональной усложненности, а также повышает эксплуатационные затраты [2].

Мембранные газоразделительные установки обладают рядом технологических достоинств, благодаря которым пользуются большим спросом в различных отраслях промышленности. Основными преимуществами мембранных установок являются: отсутствие движущихся частей, масштабируемость, надежность, быстрый пуск и остановка, разделение при обычных температурах без фазовых превращений, гибкость характеристик и плавность регулировки технологических режимов, длительный срок службы, возможность работы в непрерывном и периодическом режимах, возможность полной автоматизации [3].

*Мембранная технология* основана на различии скоростей проникновения индивидуальных компонентов газовой смеси через мембрану. В результате на выходе из мембранного аппарата получаются два потока газа, обогащенные соответственно легко- и трудно проникающими компонентами разделяемой газовой смеси. Принципиальная схема распределения газовых потоков в мембранном модуле приведена на рис. 1. До последнего времени мембранные технологии разделения газов широко применялись в процессах получения азота, выделения водорода из водородсодержащих газовых смесей, выделения гелия и  $\text{CO}_2$  из природного газа, но не использовались для утилизации нефтяного газа.

Это было обусловлено следующими причинами:

- присутствием в нефтяном газе соединений, разрушающих и/или пластифицирующих традиционные мембраны;
- селективными свойствами традиционных мембран: концентрацией тяжелых углеводородов в подготовленном газе и метана в проникшем потоке, что приводило к необходимости компримирования газа для дальнейшего использования [1].

НПК «Грасис» провела комплекс научных и прикладных исследований, в

результате которых была разработана технология производства специальной мембраны для разделения углеводородных смесей.

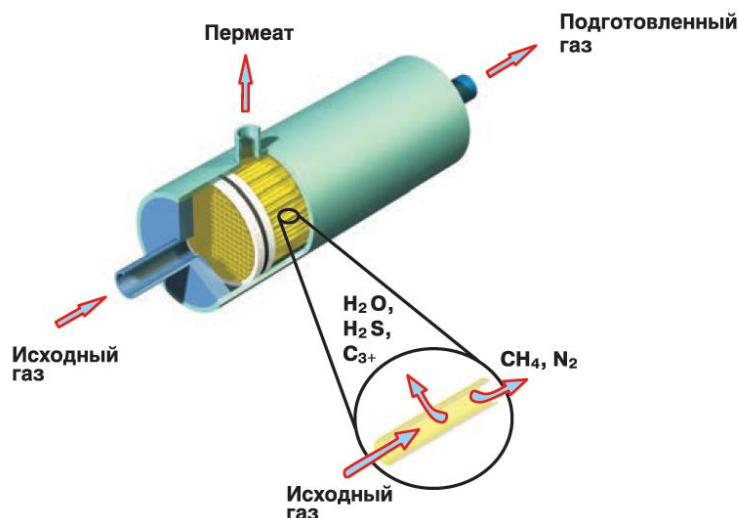


Рис. 1. Схема распределения потоков в мембранном модуле

Мембрана, получившая торговое название CarboPEEK, представляет собой полуволоконную композитную мембрану с пористой кристаллической основой из полиэфирэфиркетона и газоразделительным слоем на основе блок сополимера силоксанового типа. Газоразделительный слой такой мембраны обладает «неклассической» последовательностью коэффициентов газопроницаемости, что и позволяет использовать ее для подготовки природного и попутного нефтяного газа. При этом все нежелательные примеси концентрируются в потоке низкого давления, а подготовленный газ выходит практически без потери давления. Мембрана CarboPEEK обладает прекрасной химической устойчивостью к воздействию любых компонентов попутного нефтяного газа (ПНГ), в том числе, к тяжелым углеводородам и сероводороду. Мембрана обладает хорошими механическими свойствами и исключительной термической устойчивостью (в частности, ее свойства сохраняются при нагревании до 150°C) [3].

Проведены испытания опытных мембранных установок на различных промышленных площадках – Когалымской КС ТПП «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», Славянской НГДП-4 ООО «РН–

Краснодарнефтегаз», УПГ «Ключевая» ООО «РН–Краснодарнефтегаз».

В 2010 г. на Новоукраинской компрессорной станции ООО «РН-Краснодарнефтегаз», входящей в ОАО «НК Роснефть», была запущена первая российская промышленная мембранная газоразделительная установка (МГБ-2.5-95.0-1500). Установка предназначена для подготовки влажного, серосодержащего (сероводород, меркаптаны) ПНГ для сдачи в ГТС Газпрома. Установка размещена в стандартном контейнере, оснащенный всем необходимым технологическим и вспомогательным оборудованием (системами отопления и вентиляции, анализа воздушной среды, охранной и пожарной сигнализациями, системой/средствами пожаротушения).

Основным технологическим оборудованием являются два мембранных газоразделительных блока, соединенных последовательно по схеме с рециклом. Пермеатный поток с первого блока используется для питания компрессоров, пермеатный поток второго блока возвращается на всас компрессора. Таким образом, происходит переработка всего объема ПНГ, сброс газа на факел отсутствует. В установке использованы мембраны CarboPEEK.

Параметры подготовленного газа непрерывно контролируются по точке росы по воде и точке росы по углеводородам. С периодичностью один раз в неделю проводится хроматографический анализ исходного и подготовленного газа [2].

Важнейшим преимуществом мембранной системы на основе мембраны CarboPEEK является то, что все процессы очистки нефтяного газа от примесей происходят одновременно. Образующийся пермеатный поток (поток низкого давления, обогащенный водой, сероводородом, CO<sub>2</sub> и тяжелыми углеводородами) в большинстве случаев может быть дополнительно переработан (например, на второй ступени мембранной установки), использован в качестве топлива для газомоторных приводов компрессоров или переработан с получением жидких продуктов. Технологическая схема рассчитывается индивидуально для условий конкретной площадки. Применяемые комплексные технические решения позволяют достичь утилизации 95–99% нефтяного газа. Кроме того, химическая стойкость материала подложки мембраны (полиэфиркетона) дает возможность конструировать контакторные аппараты для

селективной абсорбции вредных примесей через мембрану в аминах.

Сравнение мембранного и традиционного методов подготовки нефтяного газа приведено в табл. 1. Из нее видно, что мембранные методы подготовки нефтяного газа обладают преимуществами по сравнению с традиционными [1].

Таблица 1. Сравнение мембранного и традиционного методов подготовки нефтяного газ

Методы подготовки ПНГ	Осушка по воде и углеводородам	Удаление CO <sub>2</sub> и сернистых соединений	Применение и технологические ограничения	Адаптируемость к полевым условиям
<b>Сепарационные</b>	Невысокие характеристики подготавливаемого ПНГ, особенно при низком давлении;	Не удаляются	Используются в дополнение к другим методам, эффективны в узком диапазоне производительностей	Применим в любых условиях
<b>Газодинамические</b>	Неэффективны при низком давлении	Не удаляются	Необходимо предварительное компримирование. Требуется предварительная осушка газа. Очень чувствителен к изменению объема газа	Хорошая
<b>Сорбционные</b>	Эффективная осушка по воде и углеводородам	Возможна при невысоких концентрациях сероводорода	В одном процессе невозможна осушка и по воде и по углеводородам и обессеривание, потери газа 8-30%	Плохо адаптируем к полевым условиям
<b>Криогенные</b>	Да	Удаляются	Обязательная предварительная осушка; для больших потоков газа; плохо адаптируем к полевым условиям	Плохо

<b>Гликолевая осушка</b>	Только осушка газа по воде	Не удаляются	В дополнение к другим методам; потери газа 0,5-5%	Средняя
<b>Обессеривание</b>	100% влажность подготовленного газа, на углеводороды не влияет	Удаляются	Только обессеривание	В зависимости от процесса
<b>Мембранная</b>	Позволяет осуществлять в одном процессе	Удаляет (до в 100 раз)	Нет технологических ограничений	Хорошая

Результаты испытаний опытных установок подтвердили, что мембраны CarboPEEK позволяют:

- Снизить температуру точки росы (ТТР) по воде на 15–60° С относительно начального значения;
- Снизить ТТР по углеводородам на 10–40°С относительно начального значения;
- Снизить содержание сернистых соединений (сероводород, меркаптаны) в 10-150 раз;
- Снизить содержание CO<sub>2</sub> в 2–5 раз.

Таким образом, в результате сравнительного анализа, пилотных испытаний и промышленной эксплуатации можно сделать вывод о том, что мембранная технология на основе CarboPEEK позволяет осуществлять подготовку нефтяного газа при меньших по сравнению с традиционными технологиями капитальных вложениях и эксплуатационных затратах, имеет значительные перспективы применения на объектах подготовки нефтяного и природного газов. При необходимости одновременного удаления нескольких компонентов (воды, CO<sub>2</sub>, сероводорода, меркаптанов, тяжелых углеводородов) представленная технология не имеет аналогов. Особенно перспективно ее

применение на удаленных площадках с минимальной инфраструктурой, объектах с ограничениями по площади размещения, например, на морских платформах [1].

### **Список литературы**

1. Гулянский М.А. Методы утилизации нефтяного газа: Технологические и экономические аспекты, новые решения на основе мембранных технологий / М.А. Гулянский, А.А. Котенко, Е.Г. Крашенинников, С.В. Потехин // Сфера. Нефть и Газ. - 2013. - Т.37. - №4. – С. 100-107
2. Булавинов Л.С. Мембранная технология для переработки и утилизации попутного нефтяного газа / Л.С. Булавинов // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. - 2010. - Т. 34. - №1. - С. 11-14
3. Гулянский М.А. Мембранные установки для попутного нефтяного газа / М.А. Гулянский, С.В. Потехин, Е.Г. Крашенинников, М.Е. Кузьменко, Е.С. Еремин, Н.Л. Докучаев, А.А. Котенко, Д.М. Амирханов // Сфера. Нефть и Газ. - 2012. - №5. - С. 96-98