

## Технология мембранного выделения гелия

*Горынцева Ксения Юрьевна, Кемалов Руслан Алимович*

*Kazan Federal University, Kremlyovskaya str, 18, 420008, Kazan, Russian Federation*

**Keywords:** мембранная технология, выделение гелия, природный газ

### ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом спрос на мембранные установки в России увеличивается. Основными потребителями промышленных газов в мире являются компании химической и нефтехимической промышленности, металлургической, электронной, медицинской, пищевой и целлюлозно-бумажной. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке расположены месторождения природного газа, характеризующиеся высоким содержанием ценного продукта гелия. К наиболее крупным объектам с промышленно значимыми запасами гелия можно отнести Ковыктинское ГКМ (Иркутская обл.), Чайинское НКМ (Республика Саха - Якутия) и Собинско-Пайгинское НКМ (Эвенкийский АО). Запасы гелия этих месторождений суммарно составляют около 6,5 млрд м<sup>3</sup>, а концентрация гелия в пластовом газе варьируется в диапазоне 0,2-0,7 % мольн. С вводом этих месторождений в эксплуатацию и началом промышленной добычи газа в Восточной Сибири Россия может стать крупнейшим мировым производителем гелия.

Мембранное разделение газовых смесей в настоящее время уже нашло крупномасштабное промышленное применение ЗАО «Грасис» в широком круге технологических процессов:

- выделение водорода из отдувочных газов синтеза аммиака, метанола, процессы гидрирования.
- очистка водорода и регулирование отношения H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> при синтезе аммиака.
- доведение водорода до концентрации 96-98% при каталитическом рифоминге, что приводит к увеличению производительности установки. Повышению качества рифоминга и увеличению срока службы катализатора.
- выделение водорода из газов каталитического крекинга с использованием получаемого продукта на НПЗ (нефтеперерабатывающих заводах).
- выделение водорода из отдувочных газов установок гидрокрекинга с рециркуляцией продукта.
- выделение отходящих газов гидроочистки водорода, обычно сбрасываемого в топливную сеть

- регулирование отношения  $CO/H_2$  в циркулирующих газах оксосинтеза.
- выделение водорода из отходящих газов НПЗ.
- извлечение  $CO_2$  из смесей с метаном и другими углеводородами при приоритетной добыче нефти с вытеснением ее из пласта газообразными смесями.
- облагораживание природного газа перед подачей его в магистральные трубопроводы путем удаления из него влаги и диоксида углерода.
- получение бытового газа метана путем разделения газов биопереработки отходов на городских и промышленных свалках.
- выделение метана из биогаза, получаемого при ферментации сельскохозяйственных отходов.
- получение технического азота из воздуха или дымовых газов, используемого как инертный газ при хранении топлив и продуктов нефтехимии в резервуарах и цистернах, при транспортировке горючих жидкостей, а также для закачки в пласт.
- получение обогащенного кислородом воздуха в том числе для медицины.
- выделение гелия из различных газовых смесей.
- обогащение редких газов неона на различных стадиях в технологических процессах криогенных установок.

Ниже приведены отдельные примеры применения мембранной технологии для разделения газов.

## 1. МЕМБРАННЫЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Технологическая схема многоступенчатого процесса выделения гелия из природного газа с промежуточной адсорбционной очисткой газа от диоксида углерода. Техничко-экономические характеристики мембранного выделения гелия. Возможность комбинирования мембранного и криогенного методов выделения гелия из природного газа

В современном производстве технологический процесс выделения гелия из природного газа осуществляется в две стадии. На первой — из природного газа выделяется гелиевый концентрат, содержащий 80—90% гелия, на второй — из гелиевого концентрата выделяется чистый гелий. Предпосылкой к использованию мембранного газоразделения для выделения гелия является его высокая проницаемость и селективность для многих мембранных материалов.

Мембранное выделение гелия из природного газа может быть осуществлено по технологической схеме, в которой после второй ступени предусмотрена промежуточная адсорбционная очистка от диоксида углерода. Если процесс концентрирования производить после промежуточной очистки, то гелиевый концентрат будет состоять преимущественно из гелия и диоксида углерода, причем требуемые степени извлечения и концентрирования гелия не будут достигнуты. Поэтому в технологической схеме и предусмотрен узел промежуточной адсорбционной очистки гелиевого концентрата, который может быть расположен после сжатия пермеата любой ступени, если концентрация диоксида углерода в нем составляет 0,5—2%. При меньшей концентрации снижается адсорбционная емкость адсорбента (рис 1).

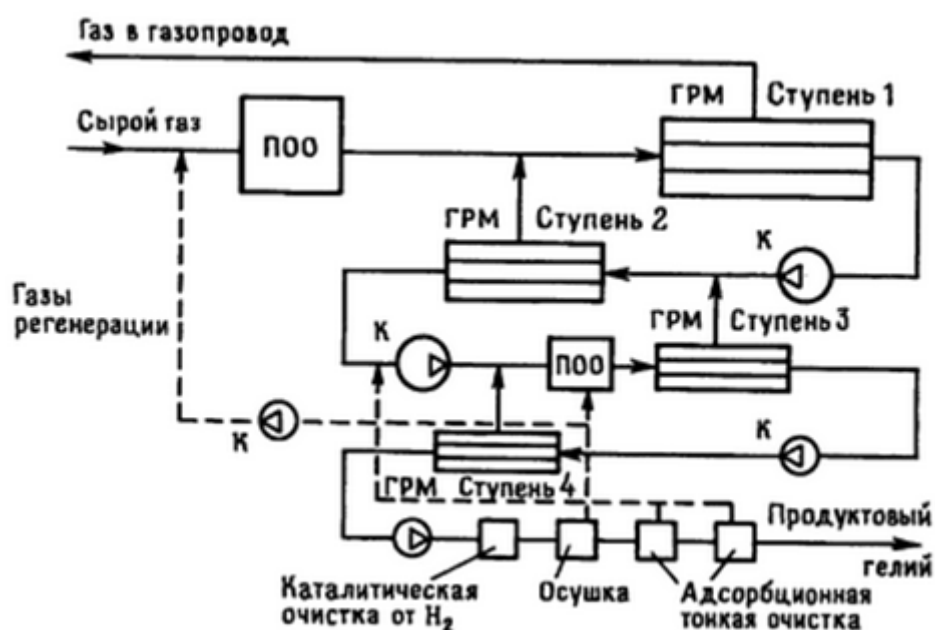


Рисунок 1 Технологическая схема мембранного выделения гелия из природного газа с промежуточной очисткой от диоксида углерода : *K* - компрессор; *ПОО* — подготовка газа, осушка, очистка от диоксида углерода; *ГРМ* - газоразделительный модуль.

Тонкая очистка полученного в мембранном каскаде гелиевого концентрата, состоящего в основном из гелия и метана, осуществляется, например, посредством двухступенчатого адсорбционного процесса очистки при температуре окружающей среды. Рециркулирующие потоки газов регенерации (на схеме показаны пунктиром) незначительны по сравнению с основным потоком.

## 2.МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ЧЕТЫРЕХСТУПЕНЧАТОГО КАСКАДА

параметры	Исходный газ	Пермеат четвертой ступени	Отходящий газ
Содержание в %			
Гелий	0,055	87	0,0058
Азот	6,3	18	6,3
Диоксид углерода	0,02	0,91	0,0027
Метан	88	12	88
Этан	3,8	0,0022	3,8
Поток,кмоль/ч	100	0,056	99
Давление ,атм	50	20	50

Очистка газа от диоксида углерода предусмотрена после первой ступени каскада. В оценки закладываются параметры спиральных газоразделительных модулей.

Имеются сообщения об успешной эксплуатации нескольких малогабаритных установок выделения гелия из природного газа. Опытно-промышленная установка получения гелия из природного газа с содержанием 0,1% гелия представляла собой трехступенчатый каскад с промежуточной очисткой пермеата первой ступени от диоксида углерода и сероводорода.

Применение мембранного метода выделения диоксида углерода из природного газа осуществляется по трем направлениям: собственно мембранный метод, комбинирование мембранного метода с абсорбционным и комбинирование мембранного метода с дистилляцией.

Применение мембранного метода разделения эффективно и экономически целесообразно при средних и высоких концентрациях диоксида углерода в сырье. Особенно эффективным оказывается комбинирование мембранного процесса с абсорбционным. Применение такого комбинирования для разделения углеводородной смеси с высоким (более 60%) содержанием диоксида углерода позволяет сократить стоимость процесса очистки вдвое по сравнению с абсорбционной очисткой.

Эффективно также применение мембран для извлечения диоксида углерода из смеси с углеводородами  $C_2$ . В этом случае мембранный способ комбинируется с дистилляцией, и такой процесс оказывается более экономичным, чем дистилляция.

Необходимым условием при разработке метода выделения диоксида углерода из газов является стремление приблизить фактические затраты энергии к теоретическим затратам энергии на процесс концентрирования диоксида углерода в газе. При абсорбционных (адсорбционных) методах выделения диоксида углерода минимальные затраты энергии не могут быть ниже затрат, определяемых тепловыми эффектами процессов сорбции и регенерации, даже при полном отсутствии потерь теплоты и максимальной интенсификации процессов. Хотя использование физических поглотителей, имеющих низкие тепловые эффекты абсорбции, позволит снизить коэффициент энергетических потерь.

Использование мембранной технологии приближает затраты энергии к теоретическим затратам на концентрирование диоксида углерода в газе. При этом необходимо учитывать в первую очередь наличие полимерного материала для изготовления мембран, его стоимость и газоразделительные свойства.

Рассматриваемая мембранная переработка сырья, очищенного от сероводорода, несмотря на то что мембраны позволяют одновременно выделять диоксид углерода и сероводород. Это связано с тем, что очистка от сероводорода может быть выполнена в отдельную стадию с меньшими, чем при мембранном способе, затратами.

В настоящее время для выделения диоксида углерода из углеводородных смесей используются в основном ацетатцеллюлозные асимметричные мембраны и полые волокна из полисульфона. Описанные установки комплектуются разделительными модулями на полых волокнах или разделителями со спиральными элементами.

Эффективность мембранной осушки природного газа обусловлена высокой скоростью проникания паров воды через ацетатцеллюлозную мембрану по сравнению с метаном. Предпочтение мембранным системам

осушки природного газа может быть отдано в первую очередь там, где простота обслуживания, малый вес и размеры установки являются решающими факторами, например на платформах и в местах их удаленного расположения.

Представлена технологическая схема многоступенчатого процесса выделения гелия из природного газа с промежуточной адсорбционной очисткой газа от диоксида углерода. Проведено сопоставление технико-экономических характеристик мембранного и низкотемпературного методов, из которого следует, что их энергоемкости близки. Для природного газа с содержанием гелия более 0,4 % мембранный каскад может конкурировать с низкотемпературной схемой извлечения гелия.

### 3.МЕМБРАННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕЛИЯ НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.

Ожидается, что к 2030 г. максимально возможные годовые объемы реализации на мировом рынке гелия, произведенного на базе сырья гелиеносных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока, будут во много раз меньше потенциальных объемов его производства. Это неминуемо приведет к неостребованности значительного объема гелия рынком, вследствие чего разработка месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока неизбежно будет сопровождаться избыточным уровнем его добычи.

Поскольку гелий относится к невозобновляемым сырьевым источникам и является ценным продуктом, содержащимся в коммерческих объемах только в составе природного газа, то его объемы, превышающие потенциально возможные к реализации на внутреннем и внешнем рынках, не должны быть выброшены в атмосферу при разработке месторождений гелийсодержащего газа. Поэтому целесообразно рассмотреть технологии, позволяющие обеспечивать извлечение гелия из состава гелийсодержащих газов с сохранением большей его части в составе гелиевого концентрата или обогащенного гелием газа, направляемых на длительное хранение.

Традиционным способом получения гелия из гелийсодержащего газа является технология низкотемпературной конденсации и ректификации, так называемая криогенная технология, при которой из газа последовательно удаляется основная часть углеводородных компонентов с получением гелиевого концентрата, содержащего не менее 70 % мольн. гелия и около 30 % мольн. азота. Наиболее оправдано применение данной технологии при ее совмещении с производством сжиженного природного газа (СПГ). Гелиевый концентрат, являющийся побочным продуктом, направляется на установку

получения товарного гелия и далее может быть реализован морским и автомобильным транспортом.

На сегодняшний день криогенная технология имеет наибольшее распространение для целей получения как гелиевого концентрата, так и товарного гелия среди российских и зарубежных компаний. К преимуществам процесса также можно отнести возможность извлечения из перерабатываемого газа азота и углеводородов  $C_{2+}$  в качестве товарной продукции. Однако ввиду того, что основные гелийсодержащие месторождения Восточной Сибири и Дальнего Востока находятся в значительной отдаленности от возможных морских портов сбыта, переработка гелийсодержащего газа, применение традиционной криогенной технологии для извлечения гелия из газового потока на промысле потребуют сжижения всего объема подготавливаемого газа с получением гелиевого концентрата с последующей регазификацией углеводородов, направляемых на перерабатывающие комплексы. Кроме того, в условиях промысла применение данного метода выглядит весьма проблематичным из-за сложности технологических схем и обслуживания технологических установок, сооружение которых также потребует больших объемов инвестиций. Со своей стороны, необходимость использования энергоемких холодильных циклов приведет к высоким эксплуатационным расходам.

Альтернативным способом извлечения гелия из гелийсодержащего газа является мембранная технология разделения газовых смесей, которая в настоящее время находит широкое применение с целью разделения воздуха (получение азота), подготовки попутных газов (отбензинивание и осушка), получения водорода из газов нефтепереработки, а кроме того, может применяться для извлечения гелия из гелийсодержащих газов.

Ожидается, что использование мембран с целью извлечения гелия из газов позволит значительно снизить затраты энергии на процесс подготовки газа, а также уменьшить количество технологического персонала, необходимого для обслуживания установок подготовки газа в сравнении с традиционной криогенной технологией.

Принципом работы мембранных газоразделительных систем является разница в скорости проникновения компонентов газа через вещество мембраны, а движущей силой процесса разделения газа - разница парциальных давлений на различных сторонах мембраны. На (рис. 2) приведена принципиальная схема работы мембранного картриджа и линейка проницаемости различных газов через используемую в этих картриджах полуволоконную мембрану (по данным компании ЗАО «Грасис»).

Как видно из представленного на (рис. 2) ряда скоростей проникновения молекул различных газов через мембранное волокно, значения скоростей молекул водорода и гелия находятся в непосредственной близости. Существующий опыт использования мембранных технологий для получения водорода является основанием для проведения расчетных и опытно-экспериментальных исследований на предмет оценки целесообразности использования мембран для повышения концентрации гелия в газовых потоках.

#### Скорость проникновения газов через мембрану

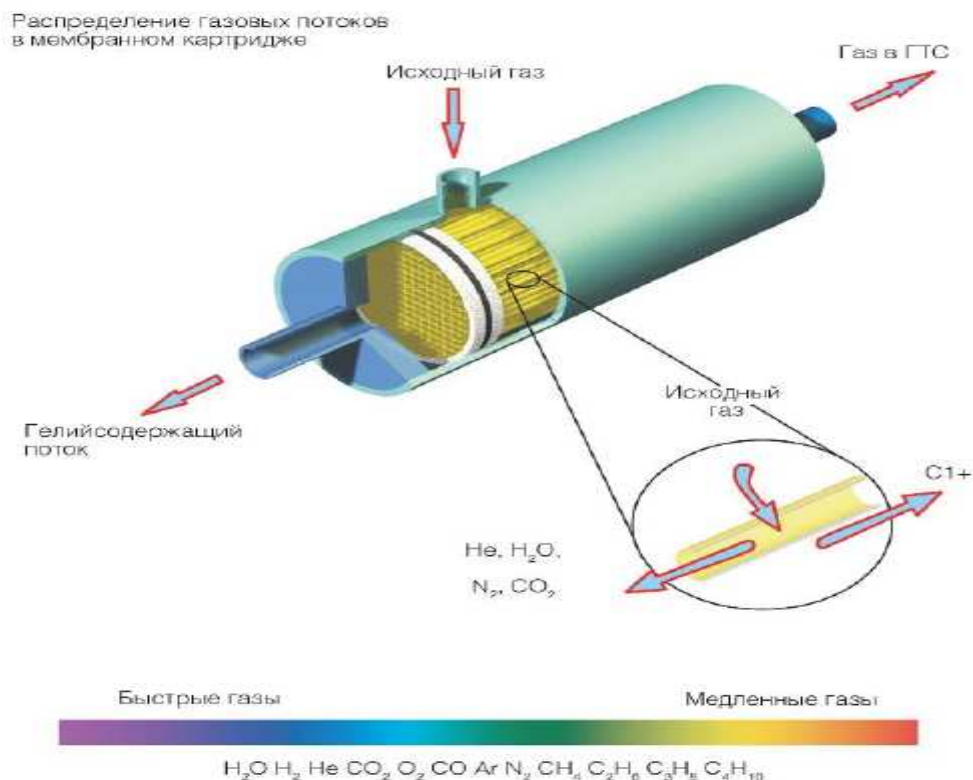


Рисунок 2 Скорость проникновения газа

В настоящее время выполнены предварительные расчеты схем гелийсодержащего природного газа на примере состава газа Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения с использованием мембранных методов разделения. Следует отметить, что мембранные технологии могут рассматриваться к использованию не столько для целей получения гелиевого концентрата в классическом понимании, когда объемная доля гелия в целевом продукте составляет более 70 % мольн., сколько для концентрирования гелия в газовом потоке небольшого объема. Такое решение может оказаться наиболее рациональным в случае необходимости направления гелийсодержащего потока на закачку в долгосрочные хранилища.



Были проведены ряд опытов с целью проверки целесообразности применения мембранных разделительных методов концентрирования гелия в газовых потоках для закачки гелийсодержащего газа на хранение в разрабатываемую залежь. В ходе их выяснилось, что такое решение позволит снизить затраты на хранение и переработку гелийсодержащего природного газа, а также обеспечить возможность регулирования объема производства товарного гелия.

В качестве сырьевого газа мембранных установок принят газ Чаяндинского НГКМ, прошедший подготовку на установке низкотемпературной сепарации (НТС). Пластовый газ содержит (в % мольн.): метан - 84,5, этан - 4, пропан - 1,5, бутаны - 0,6, пентан и высшие углеводороды - 0,5, азот - 8, гелий - 0,58. В связи с повышенными энергетическими затратами при использовании многоступенчатых схем разделения и с учетом опыта зарубежных компаний на данной стадии исследований были приняты ограничения по содержанию гелия в получаемом товарном газе на уровне, не превышающем 0,1 % мольн. Кроме того, при проведении расчетов были приняты и другие требования и ограничения:

- товарный газ по своим качествам должен соответствовать ОСТ 51.40-93;
- состав товарного газа должен обеспечивать максимальное сохранение легких углеводородов C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>;
- диапазон давлений газа, поступающего на мембранное разделение, должен составлять от 5,4 до 9,9 МПа.

Была сделана сравнительная оценка нескольких схем организации мембранного разделения гелийсодержащего газа - одноступенчатая и двухступенчатая (с рециклом и без рецикла) в зависимости от конкретных задач по извлечению гелия.

Полученный на НТС газ направляется на мембранную установку для производства товарного газа (непроникшего потока) и обогащенного гелием газа (проникшего потока). Товарный газ, соответствующий требованиям ОСТ 51.40-93, направляется в магистральный газопровод, а поток газа с высоким содержанием гелия (проникший поток) может подаваться на блок компримирования и далее на закачку в пласт либо на установку получения товарного гелия с использованием криогенной технологии. Следует отметить, что поток товарного газа отбирается с минимальными потерями давления по сравнению с подаваемым на мембрану потоком, а проникший гелийсодержащий поток будет отбираться практически без давления (около 0,15 МПа (абс.)).

Принципиальная схема одноступенчатого мембранного разделения гелийсодержащего газа представлена на рис. 3.



Рисунок 3 Схема промышленной подготовки газа.

С целью определения оптимальных условий процесса на примере одноступенчатой схемы были проведены аналитические исследования по влиянию технических параметров на процесс извлечения гелия из гелийсодержащего природного газа.

Одним из основных технологических параметров, воздействующих на эффективность мембранных газоразделительных процессов, является отношение величины давления на различных сторонах мембраны. Чем больше значение отношения давлений, тем выше эффективность процесса мембранного разделения. Так, при давлении входного потока - 5,4 МПа остаточное содержание гелия в товарном газе (0,1 % мольн.) достигается при доле отбора потока с повышенным содержанием гелия (пермеата) на уровне 10-14 % . При этом потери углеводородов  $C_2-C_4$  минимальны. При давлении входного потока - 9,9 МПа остаточное содержание гелия в товарном газе, направляемом в магистральный газопровод (не более 0,1 % мольн.) достигается при доле отбора пермеата на уровне 6-10 % (в зависимости от параметров ведения процесса). Повышение давления газа, подаваемого на мембраны, практически не влияет на потери углеводородов  $C_2-C_4$  с гелийсодержащим газом.

### Степени извлечения компонентов Чаяндинского НГКМ при различных давлениях

Параметры	Степень извлечения компонента в непроникший поток (товарный газ), %	
Давление, МПа	5,4	9,9
Состав, % мольн.		
He	16,7	16,7
N <sub>2</sub>	80,3	82,8
CH <sub>4</sub>	89,1	89,1
C <sub>2</sub>	95,4	93,5
C <sub>3+</sub>	98,4	95,6
CO <sub>2</sub>	30,4	33,2
H <sub>2</sub>	14,7	14,7
Коэффициент отбора в непроникший поток, %	88,4	91,4

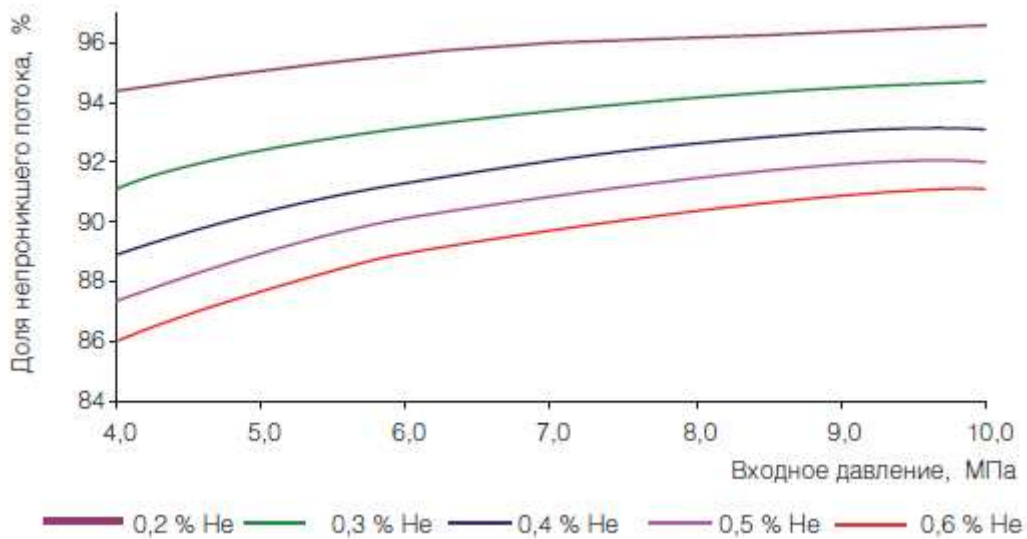
В таблице представлены степени извлечения ряда компонентов в непроникший поток (товарный газ) для принятого в работе состава газа.

В проникший через мембрану поток наиболее полно извлекаются гелий, диоксид углерода и водород, в то время как наиболее ценные компоненты сырьевого газа (фракция C<sub>2+</sub>) остаются в непроникшем потоке. Другим важным технологическим параметром процесса мембранного разделения является состав сырьевого газа. Поскольку месторождения Восточной Сибири и Дальнего Востока отличаются друг от друга, в т. ч. и по содержанию гелия, необходимо оценить влияние состава подаваемого на мембрану сырьевого газа на параметры газоразделительного процесса.

На рис. 4 представлены расчетные зависимости доли непроникшего потока от входного давления при различных концентрациях гелия в природном газе. Расчетная зависимость выполнена для остаточного содержания гелия в непроникшем потоке -

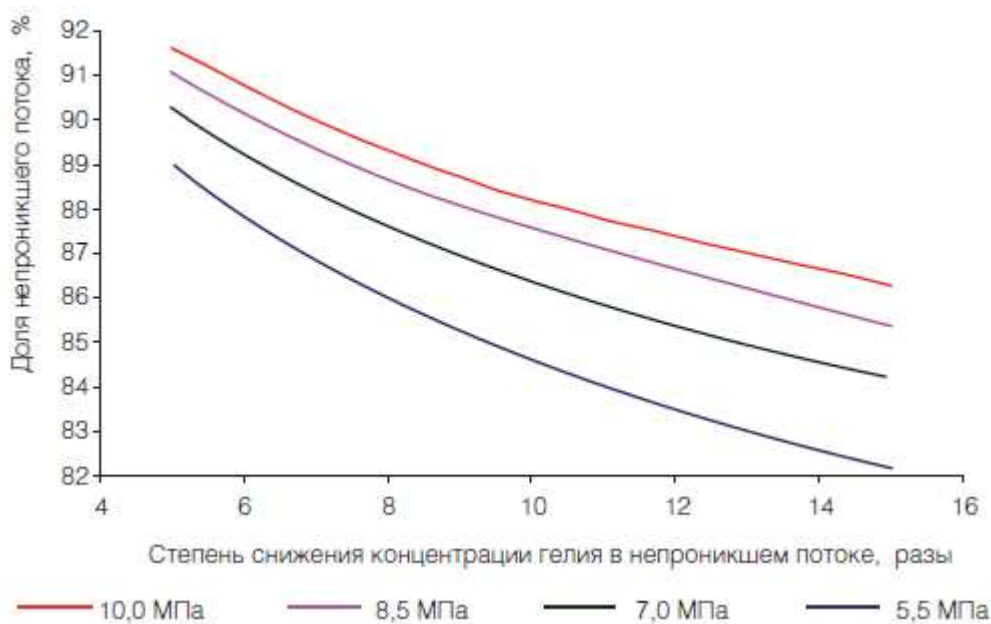
- 1 % мольн., при изменении содержания гелия в сырьевом газе в диапазоне 0,2-0,6 % мольн.

**Зависимость доли непроникнувшего потока (с содержанием гелия 0,1 % мольн.) от входного давления при различных концентрациях гелия в сырьевом газе**



Как видно из рис. 4, с увеличением входного давления возрастает и доля непроникнувшего потока. Чем ниже концентрация гелия в перерабатываемом природном газе, тем выше и доля получаемого непроникнувшего потока (товарного газа) при фиксированном значении давления природного газа, подаваемого на мембранную установку. Еще одним важным параметром при рассмотрении работы мембранных установок является глубина очистки непроникнувшего потока от гелия. На рис. 5 представлены расчетные зависимости доли непроникнувшего потока от степени снижения концентрации гелия в непроникнувшем потоке при различных давлениях природного газа.

**Зависимость доли непроникнувшего потока от степени снижения концентрации гелия в непроникнувшем потоке при различных давлениях природного газа, подаваемого на мембранную установку**

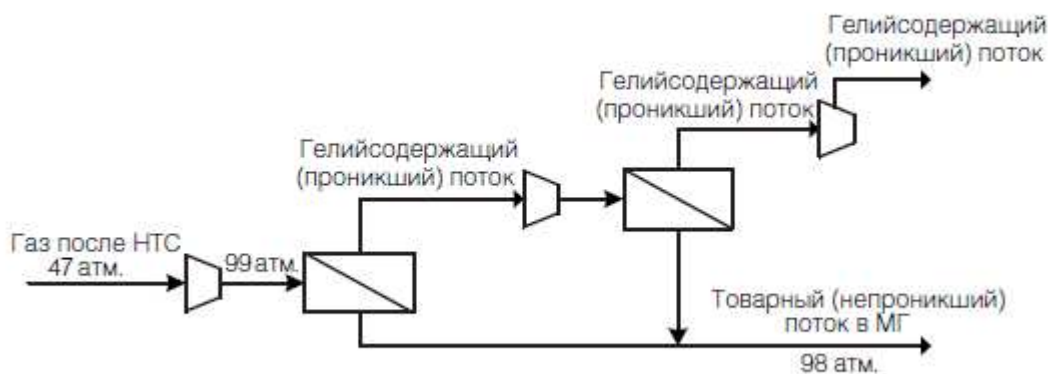


Давление под мембраной принималось постоянным (0,15 МПа (абс.)). Согласно приведенным зависимостям, увеличение доли непроникнувшего потока приводит к снижению степени содержания в нем гелия, а с увеличением давления природного газа, подаваемого на мембранную установку, повышается доля непроникнувшего потока при фиксированной степени снижения в нем гелия.

Полученные аналитические зависимости для одноступенчатого мембранного газоразделительного процесса показывают, что доля непроникнувшего потока растет с увеличением разницы давлений на различных сторонах мембраны или с ростом давления, подаваемого на мембрану (при фиксированном давлении под мембраной), а также при уменьшении степени содержания гелия в непроникнувшем потоке. Данные зависимости технологических параметров мембранного одноступенчатого процесса будут характерны и для многоступенчатых схем разделения газа.

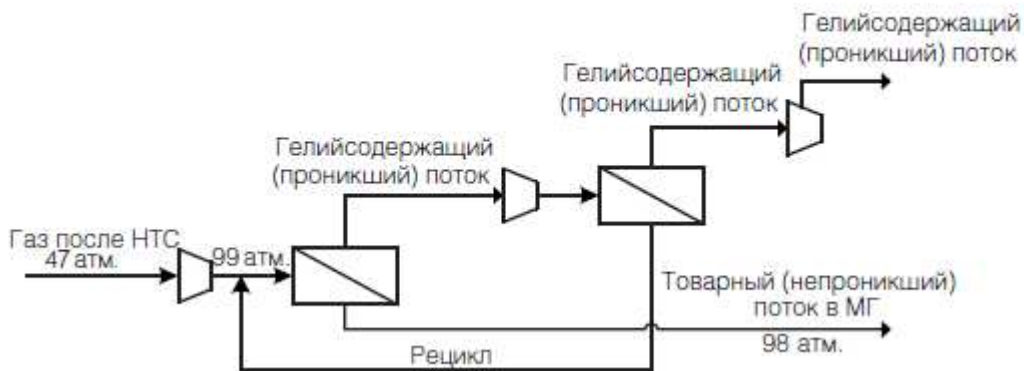
При использовании двухступенчатой схемы гелийсодержащий поток с первой ступени направляется на компримирование и далее на вторую мембранную ступень (рис. 6). Гелийсодержащий поток после второй ступени будет содержать более 20 % мольн. гелия, а его количество составит около 1,0-5,0 % от общего объема сырьевого газа.

**Принципиальная схема двухступенчатого мембранного разделения газа (без рецикла)**



Использование двухступенчатой схемы с рециклом (рис. 7) дает незначительное снижение объема гелийсодержащего потока в сравнении с двухступенчатой схемой без рецикла.

**Принципиальная схема двухступенчатого мембранного разделения газа (с рециклом)**



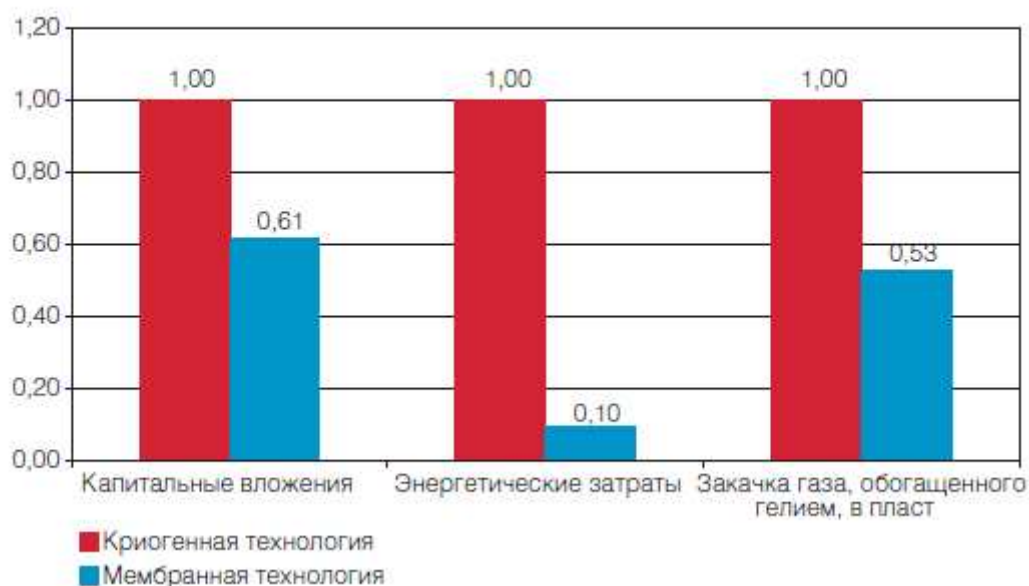
Результаты анализа рассмотренных двухступенчатых схем мембранного разделения газа для извлечения гелия из всего объема Чайнинского НГКМ показали, что наиболее предпочтительной представляется схема без рецикла. Это связано с тем, что она существенно технологичнее и проще в эксплуатации (особенно в пусковой период и в случае значительного колебания расхода перерабатываемого газа) при практически одинаковых объемах подготавливаемого товарного газа.

Выявлено, что расход энергии при использовании двухступенчатых схем повышается по сравнению с одноступенчатым мембранным разделением гелийсодержащего газа приблизительно на 8-12 %. Однако при использовании данных схем происходит значительное снижение объема гелийсодержащего газа, направляемого на хранение, и увеличение доли товарного газа, что позволяет сделать выбор в пользу двухступенчатой схемы разделения (без рецикла). Следует отметить, что согласно оценкам специалистов ЗАО «Грасис», использование трехступенчатой схемы разделения приводит к существенному увеличению энергетических затрат (на межступенчатое компримирование) при незначительном уменьшении объема гелийсодержащего потока.

Выбранная для дальнейшего рассмотрения двухступенчатая схема разделения газа (без рецикла) сравнивалась с традиционной криогенной технологией. Сравнение вариантов извлечения гелия с использованием

криогенной и мембранной технологий выполнено по основным технико-экономическим показателям (рис. 8).

Сравнение вариантов извлечения гелия по основным технико-экономическим показателям



Капитальные вложения, энергетические затраты и количество газа, направляемого на закачку в пласт. Капитальные вложения учтены непосредственно для установок извлечения гелия, без включения узлов подготовки сырья и дальнейшей переработки продуктов.

Таким образом, несмотря на то, что мембранная технология является относительно новым процессом, 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;
- отсутствие расходных материалов и химических реагентов;
- возможность поставки всех компонентов установки на удаленный объект.

К ограничивающим факторам применения мембранных методов для подготовки гелийсодержащего природного газа в настоящее время можно отнести:

- отсутствие мирового и отечественного опыта использования мембранных технологий для извлечения гелия в промышленном масштабе;

- необходимость некоторого увеличения объемов добычи газа, поставляемого в магистральный газопровод (МГ);
- ограничения по использованию мембранных технологий для извлечения гелия из газа при высоком содержании азота с условием обеспечения калорийности газа, соответствующей требованиям ОСТ.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании предварительной оценки возможности использования мембранных технологий с целью регулирования объемов производства при освоении месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока можно сделать следующие выводы.

Ввиду того что гелий является ценным сырьевым ресурсом, его значительные потенциально нереализуемые объемы, полученные при разработке месторождений гелийсодержащего газа, должны быть сохранены. При этом целесообразно организовать долгосрочное хранение при закачке обогащенного гелием потока в разрабатываемую залежь.

Потенциально возможной для использования с указанными целями технологией является технология мембранного разделения с получением потока газа с содержанием гелия 0,1 % мольн. и менее (в зависимости от конкретных задач).

Повышение давления газа, поступающего на мембранное разделение, способствует возрастанию эффективности процесса.

Использование второй ступени мембранного разделения обеспечивает возможность значительного снижения объема гелийсодержащего газа при сохранении требований к товарному газу по содержанию гелия. При этом энергозатраты на процесс выделения гелия увеличиваются незначительно.

Сравнение выбранной схемы мембранного разделения и процесса с использованием криогенной технологии выявило явные преимущества первой по основным технико-экономическим показателям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1.Справочник химика
2. Компания МАКВОЛ, Россия, Москва <http://makvol.ru/usage.html>
3. Н.Н. Кисленко, М.Ю. Махошвили, Т.Г. Семиколенов, В.А. Ведин  
<http://cyberleninka.ru/>
4. Регулирование объемов производства при освоении месторождений  
Восточной Сибири и Дальнего Востока с использованием мембранных  
технологий //2011 / Общие и комплексные проблемы естественных и точных  
наук ,ВАК