

где  $E$  - модуль Юнга,  $\mu$  - модуль сдвига,  $\nu$  - коэффициент Пуассона.

Таким образом, описанные свойства существенно зависят от pH среды, температуры, общей минерализации, химического состава воды и могут точно охарактеризовывать всю технологию.

Рассмотрев процессы обводнения терригенного коллектора и механизма работы ПОТ в его условиях, можно сказать, что существует ряд геологических и технологических особенностей, на которые необходимо обращать внимание перед проведением обработок. Потокооттокклоняющие технологии эффективно применимы для выравнивания профиля приемистости в неоднородном низкопроницаемом терригенном коллекторе, а также при ликвидации негативных последствий после проведения ГРП, а именно устремление трещин в водоносный горизонт. Можно также отметить, что ПОТ могут результативно перераспределять потоки жидкости в пласте для увеличения охвата пласта, закупоривать нежелательные высокопроницаемые трещины.

#### Литература

1. Калмыков С. С. Использование тампонажного раствора с высокой проникающей способностью для ограничения поступления пластовой воды в продуктивный флюид / С. С. Калмыков, В. В. Живаева, С. В. Воробьев // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 10. – С. 40 – 41.
2. Злобин А. А. О механизме гидрофобизации поверхности пород-коллекторов нефти и газа / Злобин А. А., Юшков И. Р. / Вестник Пермского университета. Геология. – 2014. – №3
3. Дополнение к технологической схеме разработки Западно-Катыльгинского месторождения: АО «ТомскНИПНефть» – Томск, 2009.

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА.

Ананин П.В.

Научный руководитель - старший преподаватель Л.В. Чеканцева  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Уникальность гелия неоспорима. Благодаря способности хорошо проводить тепло и электричество, а также низкой температуре кипения такие области промышленности как авиация, ракетостроение, космическая инженерия, электротехника, атомная отрасль, а также медицина не могут обойтись без этого ценного газа. По прогнозам экспертов, гелий скоро станет одним из самых востребованных веществ. К 2030 году, судя по оценкам ООО «Газпром ВНИИГАЗ» производство гелия не будет удовлетворять потребности промышленности. Потребление будет превышать производство примерно на 25-75 млн кубометров[2]. Дефицит гелия в мире неизбежен. Поэтому следует направить силы на изучение технологий, способных производить извлечение гелия из газов с относительно высоким содержанием гелия, при этом сохраняя значительную его долю в составе гелиевого концентрата или газа, обогащенного гелием. В будущем Чаяндинско, Ковыктинское и другие месторождения Восточной Сибири и Дальнего Востока могут стать крупнейшими центрами производства гелия. Таким образом, Россия может начать производить и поставлять гелий в больших количествах на мировой рынок.

Целью данной работы является определение наиболее эффективного и экономически выгодного метода отделения гелия от природного газа.

Извлекать гелий из природного газа можно следующими методами: криогенный, мембранный, адсорбционный методы и гидратообразование.

На сегодняшний день в России гидратообразование не применяется по причине высокой энерго- и ресурсозатратности. Адсорбционный метод применяется для глубокой очистки газа, но лишь на определенной стадии, полную очистку данным методом провести невозможно. Существуют адсорбционные установки, которые дешевле в среднем на двадцать пять процентов относительно других технологий (нет необходимости в большом количестве жидкого азота). Однако, применение адсорберов осложняется капитальными затратами, а также в результате работы данных установок существует зависимость между наличием водорода в составе и повышением температуры газа. Из этого следует необходимость в очистке газа от излишка водорода, которые могут нарушить процесс.

Криогенный и мембранный метод являются наиболее эффективными, поэтому они заслуживают более тщательного рассмотрения, сравнение их преимуществ и недостатков представлено в таблице.

Криогенный метод выделения гелия разделяется на два этапа. Первый этап - получение гелиевого концентрата, путем низкотемпературной конденсации на криогенной установке – объемная доля гелия по окончании этого этапа составляет 70 – 90 % об. Далее происходит более глубокое очищение гелиевого концентрата от примесей природного газа, а именно: водорода, метана, азота, аргона, неона. В результате получается довести содержание гелия до 99,8 % об.

Данная технология не предназначена для малотоннажных производств, в данном случае энергозатраты слишком велики по сравнению с количеством получаемого концентрата гелия, то есть технология нерентабельна.

При малых объемах получаемого продукта целесообразно применение мембранной технологии. В России данная технология пока что находится на стадии опытно-промышленных испытаний. Так, например, на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении применяется технология, успешно прошедшая апробацию на Ковыктинском газоконденсатном.

Опытным путём установлено, что кварцевое стекло, другие силикатные материалы и различные полимерные соединения являются наиболее подходящим материалом для производства мембран при извлечении

## СЕКЦИЯ 10. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

гелия из природного газа. Они способны пропускать через себя гелий и практически полностью исключают пропускание других компонент природного газа [4].

Таблица

**Криогенные и мембранные методы отделения гелия от природного газа**

Название метода	Суть метода	Преимущества	Недостатки
Криогенный	Последовательная конденсация углеводородных компонентов природного газа при низких температурах, вследствие его охлаждения.	-Значительный мировой опыт использования данной технологии; -Установки способны эффективно перерабатывать нужный объём природного газа; -Большой срок работы и безопасность установок; -Выделение большей части гелия из газа с повышенным содержанием гелия	-Высокая цена строительства установок или заводов; -Применение большого количества металлоёмкого оборудования и специальных материалов для работы при криогенных температурах; -Повышенные затраты электроэнергии на охлаждение и сжижение компонентов природного газа
Мембранный	Выделение гелия вследствие прохождения по мембранной установке газа, состоящего из компонентов с различной скоростью проникновения через полупроницаемые мембраны под действием разницы парциальных давлений	-Сохранение гелия в пласте при получении кондиционного газа, направляемого потребителям; -Гомологи метана остаются в составе газа; -Высокая стабильность работы и низкая аварийность, простота использования, модульность, возможность расширения установок; -Транспортировка газа проходит при стандартных давлениях с минимальными потерями; -Безотходность процесса;	-В России данная технология извлечения гелия на данный момент находится на стадии опытно-промышленных испытаний, которые показывают хорошие результаты; -Требование в повышении количества добычи газа, направляемого в главный газопровод; -Данная технология ограничена в применении при наличии большого количества гелия в природном газе

Процесс мембранного разделение можно разделить на несколько последовательных: I – перенос компонентов исходного потока газа к мембране для разделения; II – сорбция компонентов в мембране под действием разницы парциальных давлений; III – транспортировка их через мембрану; IV – десорбция из мембраны; V – отвод разделившихся продуктов с обратной стороны мембраны [3].

Мембранное разделение может проводиться с применением нескольких ступеней мембран, однако наиболее эффективной является двухступенчатая схема, так как она менее энергозатратна, чем трехступенчатая и более продуктивна, чем одноступенчатая.

На рисунке приведено сравнение двухступенчатой мембранной и классической криогенной технологий по основным техническим и экономическим показателям.

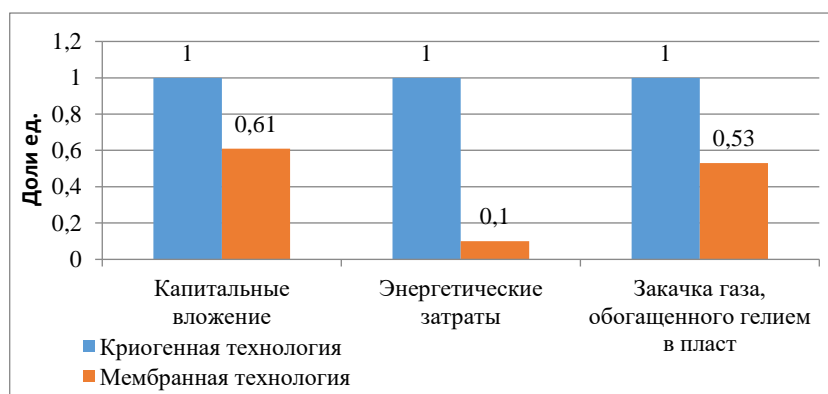


Рис. Сравнение вариантов извлечения по основным техническим и экономическим показателям [1]

Проанализировав график, можно сделать вывод о том, что хоть мембранная технология и не лишена недостатков, она является более экономически выгодной и менее энергозатратной, чем криогенная технология, и является целесообразным решением для выделения гелия из природного газа при малой производительности.

#### Литература

1. Горынцева К.Ю., Кемалов Р.А. Технология мембранного выделения гелия. [Электронный ресурс].-URL: <http://www.econf.rae.ru/pdf/2016/02/5216.pdf>
2. Как из природного газа добывают гелий. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gazprominfo.ru/articles/helium/>
3. Мурин В.И., Кисленко Н.Н., и др. Технология переработки природного газа и конденсата. Часть 1// Справочник: В 2-х ч. – М.: ООО "НедраБизнесцентр", 2002. – 517 с.: ил.
4. Соловьев С.А., Поляков. А.М. Перспективы применения процессов мембранного газоразделения для подготовки и переработки природного и попутного газов// Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2006. – № 4(32). – С 3 – 18.

### АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Белов Т.В.

Научный руководитель - старший преподаватель Ю.А. Максимова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Большинство запасов Западной Сибири относятся к трудноизвлекаемым и содержатся преимущественно в коллекторах, отличающихся низкой проницаемостью (НПК). Имеется огромный опыт доизвлечения запасов из такого рода объектов разработки, однако необходимо рассматривать комплекс решений для эффективной разработки НПК.

Одним из наиболее эффективных типов заканчивания скважин является бурение горизонтальных скважин с проведением МГРП. Проектирование данной операции обязательно требует проведение подробного анализа геолого-технологических условий каждого объекта разработки для выбора наиболее подходящих параметров для проведения МГРП, а именно: направление горизонтального участка ствола и трещин ГРП, длина горизонтального участка ствола скважины, количество стадий ГРП и объем закачиваемого проппанта, приходящегося на одну стадию. Не рекомендуется использовать ГС с МГРП в низкопроницаемых коллекторах, которые близко расположены к водонасыщенным зонам, либо к другим продуктивным отложениям ввиду возможного преждевременного обводнения [3].

Также особое влияние на проектирование разработки НПК оказывает выбор направления трещин относительно направления регионального стресса, под которым подразумевают направление максимального напряжения в данной области. При правильном выборе направления расположения горизонтального ствола и трещин ГРП можно добиться наибольших отборов пластовой жидкости.

Можно выделить основные особенности проектирования МГРП в НПК:

1. Зависимость длины горизонтального участка ствола скважин от количества стадий ГРП определяется параметрами трещины гидравлического разрыва (полудлиной трещины) и объемами нагнетания расклинивающего агента (проппанта). При соотношении более 50 т/стадию закачки проппанта и 100 м полудлины трещины рекомендуется расстояние между стадиями ГРП выбирать, равным 150 м.

2. В случае, если проведение каждой последующей стадии ГРП приводит к получению значения удельной накопленной добычи, равной 2 тысячи тонн за стадию, то целесообразно увеличивать количество стадий, иначе роста накопленной добычи может не происходить, либо возможны случаи резкого увеличения обводненности продукции.

3. Использование горизонтального типа заканчивания скважины с длиной горизонтального участка 500 м без проведения гидравлического разрыва пласта и применение наклонно-направленных скважин с ГРП равнозначны.

4. Направление линий регионального стресса не оказывает влияние на эффективность разработки при проектировании расположения горизонтальных участков скважин [3].

К современным видам заканчивания скважин можно отнести бурение многозабойных скважин с разветвленно-горизонтальными окончаниями (РГС) по технологии ТАМЛ. Данная технология применяется при условии невозможности проведения ГРП для увеличения охвата низкопроницаемых участков без привлечения дополнительных мероприятий по интенсификации. Проведение данного метода может оказаться наиболее рентабельным для разработки низкопроницаемых коллекторов вследствие отсутствия необходимости в мобилизации и эксплуатации флота ГРП, подбора реагентов и проппанта. Для НПК и коллекторов с естественной трещиноватостью используются две скважины, расходящиеся в противоположные стороны от главного вертикального ствола с дальнейшим горизонтальным окончанием. Тип заканчивания многозабойных скважин активно применяется на Чатылкинском, Северо-Янгтинском, Красногорском, Приразломном и других месторождениях.

В процессе проектирования системы ППД, необходимо оценить рентабельность ее внедрения. При определенных геолого-технологических условиях применение заводнения на месторождениях с НПК не всегда экономически эффективно. В таких случаях для конкретных месторождений можно определить граничное значение проницаемости, ниже которого целесообразно рассмотреть вариант разработки в режиме истощения