

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №2, Том 10 / 2018, No 2, Vol 10 <https://esj.today/issue-2-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/11NZVN218.pdf>

Статья поступила в редакцию 15.02.2018; опубликована 10.04.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Воробьев А.Е., Чжан Ляньцзы Применяемые инновационные технологии переработки ПНГ в Китае // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/11NZVN218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Vorobev A.E., Chzhan Lyan'tszy (2018). Apply innovative technologies for processing of ASSOCIATED GAS in China. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(10). Available at: <https://esj.today/PDF/11NZVN218.pdf> (in Russian)

УДК 55

Воробьев Александр Егорович

НАО «Атырауский университет нефти и газа», Атырау, Казахстан

Проректор по научной деятельности инновациям

Доктор технических наук, профессор

E-mail: fogel_al@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7324-428X>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=127898

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/C-1918-2016>

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7201693273>

Чжан Ляньцзы

Сианьский нефтяной университет, Сиань, Китайская народная республика

Применяемые инновационные технологии переработки ПНГ в Китае

Аннотация. Китай является достаточно крупной нефтедобывающей страной мира. В статье представлен мировой рейтинг нефтедобывающих стран мира и место Китая в нем. Кроме нефти Китай добывает и попутный нефтяной газ. Попутный нефтяной газ является побочным продуктом нефтяной добычи и представляет собой смесь различных газообразных углеводородов, выделяется в процессе добычи и дальнейшей подготовки (переработки) нефти. Попутный нефтяной газ обычно имеет довольно высокую теплотворную способность, лежащую в пределах от 9000 до 15000 Ккал/м³. Из попутного нефтяного газа путём химической переработки обычно получают такие вещества, как пропилен, различные бутилены, бутадиен и др., которые в последующем используют в производстве разнообразных пластмасс и каучуков. Все существующие методы переработки попутных нефтяных газов можно разделить на 3 основные группы физико-энергетические; термо-химические; химико-каталические. На основе этих методов были разработаны 3 основные технологии: криогенные технологии (низкотемпературная сепарация, конденсация, ректификация); мембранная технология; адсорбционная технология. Представлены китайские инновационные технологии переработки попутного нефтяного газа и проанализированы, путем сравнения, известные патенты.

Ключевые слова: попутные нефтяные газы; переработка; технологии; инновации

Введение

Мировой рейтинг КНР по добыче нефти довольно высок (табл. 1) и соответственно весьма существенны объемы одновременно добываемого попутного нефтяного газа.

Таблица 1

Динамика добычи нефти и попутного нефтяного газа в разрезе стран мира [9]

Страна	Объем добычи нефти, млн т.			Объем добычи ПНГ, млрд м ³		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
США	346,0	390,0	439,0	46,2	53,9	62,3
Россия	512,0	520,0	524,0	68,4	71,8	74,4
Иран	220,0	231,0	208,0	29,4	31,9	29,5
Канада	169,0	182,0	200,0	22,6	25,1	28,4
Китай	204,0	209,0	213,0	27,3	28,9	30,2
Сайдовская Аравия	520,0	547,0	538,0	69,5	75,5	76,4
Прочие	2048,0	2040,0	2011,0	273,6	281,7	285,5
ИТОГО:	4019,0	4119,0	4133,0	536,9	568,7	586,8

К попутным нефтяным газам (ПНГ) растворенных в нефти также относят газы, выделяющиеся в процессах термической переработки нефти (крекинга, риформинга, гидроочистки и др.), состоящие из предельных и непредельных (метана, этилена др.) углеводородов [5].

Ранее ПНГ на нефтепромыслах никак не утилизировался, а попросту сжигался.

В последнее время, в связи с повышением требований к сохранению состояния биосферы (Киотский протокол и др.) и необходимости достижения более высоких экономических показателей, были разработаны и начали использоваться технологии по утилизации ПНГ. Однако, по данным Всемирного банка, в мире ежегодно все еще сжигают 110 млрд м³ попутного нефтяного газа или 10-13 млрд куб. футов в день.

Использование ПНГ для энергогенерации зачастую затрудняется существенной нестабильностью состава, а также наличием значительного количества примесей, что требует введение дополнительных затрат на осуществление очистки («осушку») этого газа и другие мероприятия [6].

При этом, для производства пластических масс и каучука используют содержащиеся в ПНГ метан и этан, а более тяжелые соединения служат исходным сырьем при производстве ароматических углеводородов, высокооктановых топливных присадок и сжиженных углеводородных газов (в частности, сжиженного пропан-бутана технического).

В настоящее время в Китае в промышленном производстве широко используют попутный нефтяной газ, добываемый на нефтепромыслах. В результате известны как преимущества, так и недостатки применяемых технологий. В частности, если температура попутного нефтяного газа высока, то эффективность его первичной переработки и получения ничем не гарантируется, и наоборот – при этом для его охлаждения имеется гораздо больше потребления энергии. Поэтому себестоимость разработки такого ПНГ неизбежно повышается. С целью снижения себестоимости промышленного получения и переработки попутного нефтяного газа в Китае осуществляют широкомасштабные лабораторные и опытно-промышленные исследования.

Основная часть

В соответствии с основным используемым физическим или химическим явлением переработки ПНГ, которые позволяют его разделить на весьма ценные составляющие (СОГ, СУГ, конденсат и др.) [5].

Существует много методов переработки ПНГ, но в реальной практике нефтепромыслов применяются всего лишь несколько. Основной способ – это утилизация ПНГ путем его разделения на отдельные компоненты. Этот процесс переработки позволяет получить сухой отбензиненный газ (который, по своей сути является тем же природным газом) и широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ). В дальнейшем эта смесь может использоваться в качестве сырья для нефтехимических производств [9].

Разделение попутного нефтяного газа обычно происходит на установках низкотемпературной абсорбции и конденсации. После завершения процессов разделения получаемый сухой газ транспортируется по газопроводам, а ШФЛУ направляется на нефтеперерабатывающие заводы для дальнейшей обработки.

Второй довольно эффективный способ переработки ПНГ – сайклинг-процесс [9]. Этот метод основывается на нагнетании газа обратно в пласт-коллектор для повышения давления, обеспечивающего поступление нефти из коллектора в скважину и ее самоизлив на дневную поверхность. Одновременно с утилизацией ПНГ такое решение позволяет повысить объемы извлечения нефти из пласта-коллектора и снизить себестоимость ее извлечения.

Ученые КНР осуществили определенное развитие и усовершенствование данных технологий.

Технология восстановления попутного нефтяного газа с использованием мембранного разделения, базируется на следующих этапах [1]:

1. Удаление различных примесей – твердых микрочастиц, сырой нефти и тяжелой углеводородной эмульсии, содержащихся в попутном нефтяном газе.
2. Нагревание попутного нефтяного газа до температуры 590 °С в теплообменнике.
3. Его ввод в жидкостный ротационный компрессор.
4. Введение нагретого газа в резервуар обессеривания и десульфуризации.
5. Введение десульфурированного газа в мембранный сепаратор и его сепарирование.
6. Введение газа в резервуар с молекулярным ситом и проведение глубокой десульфуризации и обезуглероживания.
7. Охлаждение для получения промпродукта.

Данный технологический процесс довольно прост и удобен в промышленной эксплуатации, а кроме этого характеризуется низкими эксплуатационными расходами, высоким коэффициентом извлечения и может быть, после небольшой адаптации, широко тиражирован. В нефтяной отрасли таким образом, существенно уменьшается загрязнение окружающей среды, вызываемое выбрасываемым в атмосферу нефтяным попутным газом.

При этом, благодаря использования технологии мембранного разделения легких водородов, содержащихся в газе, существенно повышается общая эффективность процесса переработки и значительно снижаются объемы потребления энергии для его охлаждения [2].

Данная технология была использована в КНР на Чанцинском нефтепромысле. Результаты ее промышленного применения показывают, что производство легких

углеводородов повышается до 5000 т в год, что дает 30 млн юаней прямого экономического эффекта [4].

Устройство для удаления воды и тяжелых углеводородов из нефтяного попутного газа содержит адсорбер, теплообменник, холодильник, газожидкостный сепаратор, нагнетатель и соответствующие трубопроводы, а также программные регулирующие клапаны (рис. 1).

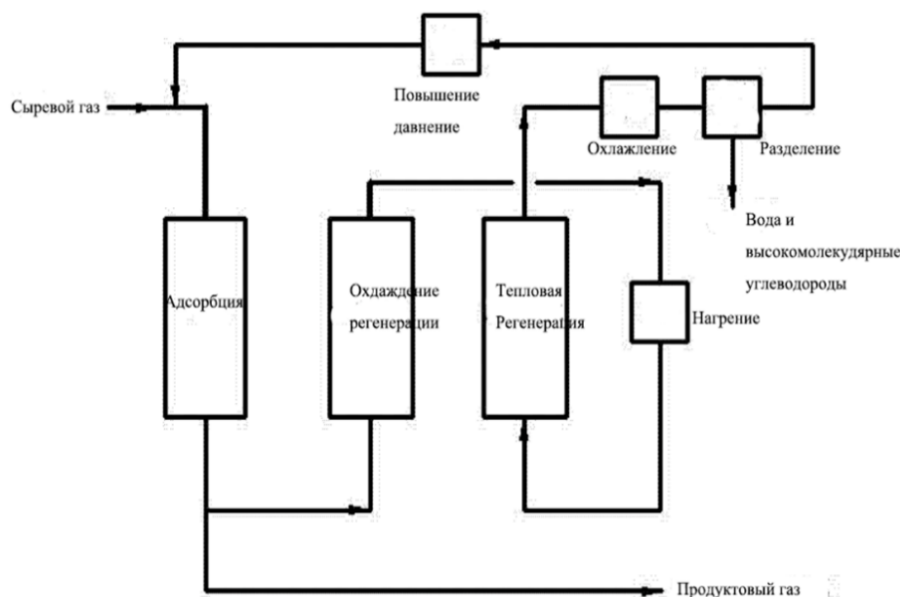


Рисунок 1. Схема работы устройства [3]

При этом теплообменник соединен с верхней и нижней частями адсорбера. Для этого входной конец охладителя соединен с верхней частью адсорбера через соответствующий трубопровод и программный регулирующий клапан, а другой конец охладителя – соединен с входным концом газожидкостного сепаратора. Верхний выходной конец газожидкостного сепаратора сообщается с впускным отверстием нагнетателя, а выпускное отверстие нагнетателя через программные регулирующие клапаны соединено с верхним концом адсорбера.

Это устройство обладает тем преимуществом, что практически полностью исключаются потери подаваемого газа, а скорость извлечения сырья весьма высока, эффективность удаления воды значительная, а также вполне достаточен эффект регенерации и одновременно достигаются стабильные соответствующие эффекты. Потребление энергии низкое и непрерывное. Необходимые инвестиции незначительны, технологическая операция проста, автоматизация процесса высока.

Процесс переработки легких углеводородов в попутном нефтяном газе на салазках включает следующие этапы [4].

Попутный газ, поставляемый заводом-изготовителем, последовательно проходит через процесс обезвоживания осадка исходного сырья и удаления содержащихся в нем примесей, за счет процесса сепарации газа с жидкостью на ступенчатой установке, последующем процессе очистки легких углеводородов и процессе очистки сточных вод от углеводородов.

В технологическом процессе рециркуляции используется конструкция с параллельным расположением нескольких операционных блоков, установленных для перемещения на салазках.

Для эффективного решения адаптивной способности к резким изменениям объемов поступающего газа все используемые устройства имеют необходимую эксплуатационную

гибкость, а получаемые тяжелые углеводороды и выгруженные газообразные углеводороды рециркулируются в технологической сточной воде. В результате на выходе установки получают очищенные сухие газы, сжиженные газы и жидкие углеводороды.

При этом процесс подобной рециркуляции достигает нулевых выбросов.

Данное технологическое решение имеет своей целью преодоление недостатков предшествующего уровня техники переработки НПГ и предоставления реальному промышленному производству новой, весьма эффективной технологии добычи и утилизации попутного нефтяного газа из легкой нефти, а также эффективного решения проблемы переработки нефтяного попутного газа, значительного изменения проблем с адаптационной способностью, а кроме этого – проблемы сточных вод и отходов от углеводородов.

Процесс рециркуляции легких углеводородов из попутного нефтяного газа включает в себя следующие этапы:

- Дегидратирование попутного газа.
- Сепарацию через блоки, смонтированные на салазках.
- Очистку легких углеводородов.
- Рециркуляцию углеводородных отходов.
- Очистку сухих газов C_3 , C_4 , СУГ и жидких углеводородов.

Для этого выделенные в процессе утилизации углеводородного сырья технологические отходы углеводородов и содержащие углеводородные сточные воды разделяются. При этом отделенные углеводороды возвращаются во вторичное использование сточных вод, образующихся в бассейне–накопителе в начале цикла. Таким образом, что производство «нулевых» выбросов сухих газов из сточных вод выполнено. Сухой газ эффективно использован полностью.

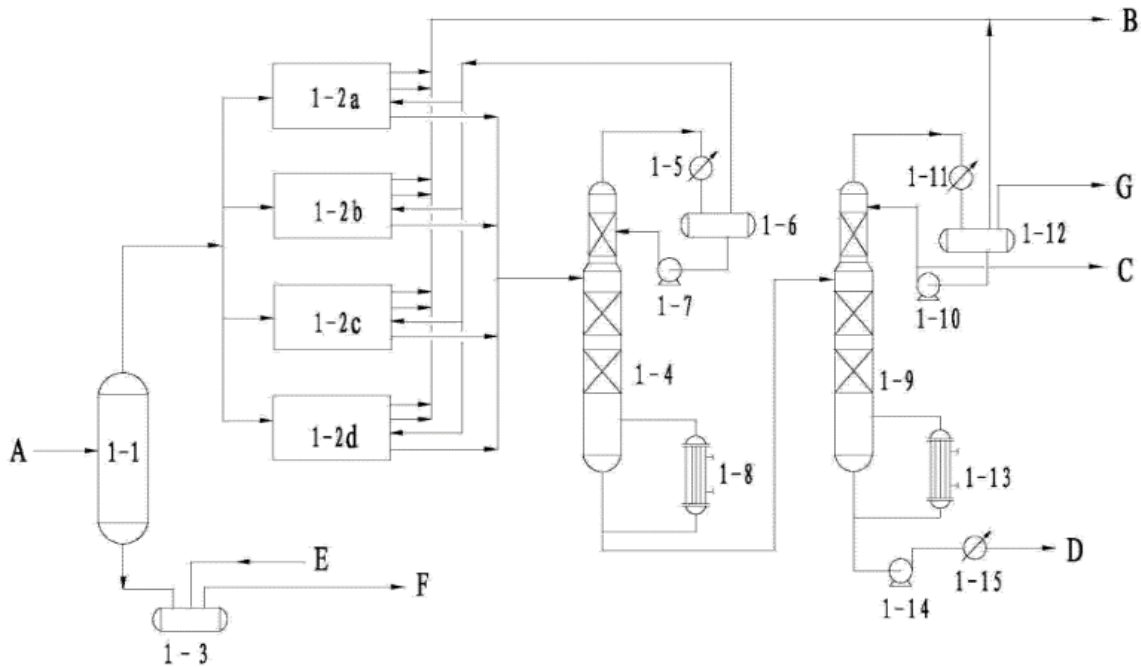
В процессе рециркуляции жидких технологических отходов углеводородов и воды, содержащиеся выбросы отходов газа и воды полностью восстанавливают путем восстановления углеводородов.

Для этого используется оборудование, расположенное параллельно (рис. 2 и 3), включающее в себя блоки для сжатия газа, дегидратации и абсорбции сырого газа, а также для проточного холодного аммиачного сырьевого газа.

В блоке рекуперации углеводородов обеспечивают вторичное использование рециркулируемой жидкости для сжигания. Газ из верхней части этого устройства хранения направляется в хранилище сырья.

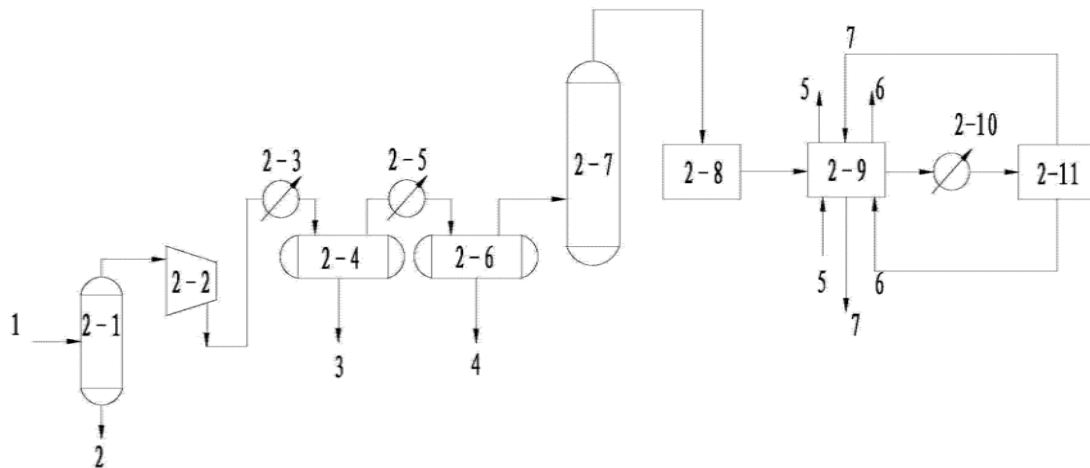
В процессе рециркуляции сточных вод жидкость от нижней части резервуара смешивается с газом на выходе из компрессора первого уровня и направляется в оборудование для извлечения углеводородов.

Благоприятные эффекты данной технологии представляют собой упрощенная конструкция, установленная на салазках, а также несколько наборов, установленных в саночнике параллельных групп оборудования.



А. Сырьевой газ, В. Сухой газ после очистки, С. СНГ, D. Нефть, E. Газ от выхода первичного компрессора, F. Остаток, G. Вытяжной воздух

Рисунок 2. Схема разработки блок-схемы процесса сбора и использования попутного нефтяного газа легкой углеводородной нефти [4]



1-1. Буфер для сырья, 1-2a/b/c/d. Блок, 1-3. Бак восстановления остатков, 1-4. Дезаэнизирующая башня, 1-5. Охладитель аммиака дезаэнизатора, 1-6. Регенерирующий бак дезаэнизирующей башни, 1-7. Насос регенерирующий дезаэнизатора, 1-8. Дезаэнизирующий ребойлер, 1-9. Башня дебутизатора, 1-10. Насос регенерирующий дебутизатора, 1-11. Водяной охладитель дебутизатора, 1-12. Регенерирующий бак дебутизатора, 1-13. Дебутизированный ребойлер, 1-14. Насос нижнего дебутизатора, 1-15. Стабильный газольевоый охладитель

2-1. Резервуар первой степени, 2-2. Компрессор первой степени, 2-3. Интеркулер воздушного компрессора, 2-4. Промежуточный резервуар воздушного компрессора, 2-5. Вторичный охладитель первичного воздуха пневматической машины, 2-6. Вторичный резервуар первичного воздуха пневматической машины, 2-7. Абсорбционная сушильная башня, 2-8. Пылеулавливающий фильтр, 2-9. «Четырехпоточный» теплообменник, 2-10. Испаритель аммиака, 2-11. Резервуар для разделения жидкости аммиачного холодного сырья

Рисунок 3. Схема процесса разделения газожидкостной фракции газожидкостного газа в блоке [4]

В результате в производстве попутного нефтяного газа может легко регулироваться объем его переработки по сравнению с традиционным комплектом оборудования для крупномасштабного процесса. Данное обстоятельство объясняется такой специфической особенностью ПНГ, как довольно существенный переменный расход получаемого газа [5]: от 100 до 5000 $\text{нм}^3/\text{час}$. При этом содержание углеводородов может изменяться в диапазоне от 100 до 600 $\text{г}/\text{м}^3$. К тому же состав и количество ПНГ не является величиной постоянной: возможны как сезонные, так и разовые колебания (нормальное изменение значений до 15 %).

Кроме этого существует высокая гибкость, снижение эксплуатационных потерь из-за прекращения процесса при отсутствии добычи нефти и газа, экономия энергии при одновременном повышении эффективности работы перерабатывающих предприятий.

Определенный интерес представляет **переработка ПНГ в жидкие углеводороды (искусственную нефть)**.

В КНР на нефтепромыслах используют **Gas to liquids – GTL технологию** (рис. 4), представляющую собой процесс переработки природного газа в жидкие углеводороды с предварительным выделением лёгкого бензина, а также сжиженного и сухого газа [8].



Рисунок 4. Переработка ПНГ на основе химических процессов GTL [8]

В последующем, из сухого газа, который по своим характеристикам практически не отличается от природного, на основе конверсии и синтеза по методу Фишера-Тропша получают смесь длинноцепочечных углеводородов – искусственную нефть. Одновременное использование эффективных катализаторов, а также рециклов по побочным продуктам, модифицированных процессов конверсии и синтеза позволяет максимально повысить степень переработки нефтяного попутного газа.

Данная технология, при полной переработке сжигаемого нефтяного попутного газа (8 млрд м^3) позволяет получить в год: легкого бензина – 400 тыс. т, сжиженного газа – 2 млн т, синтетической нефти – 3 млн т. Синтетическая нефть в свою очередь может быть переработана в 600 тыс. т легкого бензина и 2,4 млн т дизельного топлива.

Данные реального производства. Подобный подход был реализован в КНР при разработке нескольких крупных нефтяных месторождений, в частности, на крупнейшем в Китае супергигантском нефтяном месторождении Дацин, расположенном в провинции Хэйлуцзян между реками Сунгари и Нуныцян [9].

Здесь на нефтепромыслах добились значительного прогресса в технологиях очищения попутного нефтяного газа. Применяемая технология заключается в том, что обработку попутного газа, осуществляют путем гравитационного осаждения и разделения на отработанном масле [9]. Выделение пыли и капель (более 20 мкм) в газовой смеси производят через циклон-сепаратор, а затем через полые волокна (фильтр тонкой очистки), получая высокое качество попутного газа (задерживая примеси до размера 5 мкм).

В настоящее время, на нефтяном месторождении Дацин достигли наиболее полной переработки ПНГ. Для этого здесь на нефтепромыслах производится сбор, обработка, хранение

и направление выделяемых ценных компонентов в транспортные системы. Для чего, в Дацине уже построено 14 промышленных установок по переработке попутного газа, а также установлено оборудование для обработки природного газа и легких углеводородов, направляемых затем для продажи через трубопроводные сети [9].

На нефтепромыслах КНР также производят сухой газ. Он получается из ПНГ и характеризуется определенным содержанием сероводорода (не более 20 г/м³) и имеет относительную влажность до 60-75 %. Сухой газ используется в качестве товара для экспорта [9].

В провинции Чанцин было проведено тщательное исследование нефтепромысла на месторождении Цзиньань по утилизации попутного нефтяного газа. На этом объекте производится передача растворенного газа путем предварительной 3-х фазной сепарации и отстойника. Далее, попутный газ передается в виде легких углеводородов на завод газовых компрессоров [9]. И, наконец, он поступает в системы для дальнейшей обработки, формирования квалифицированных светлых нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов и других продуктов.

На нефтепромысле месторождения Хуабэй осуществляется процесс сепарации НПГ. Во-первых, здесь сырую нефть пропускают через 3-х фазный сепаратор (для этого нефтегазовую смесь предварительно направляют в дегазационные камеры с вихревой сепарацией и гравитацией), а затем охлаждают для извлечения конденсата (Хладагент – аммиак) [9]. Извлеченный газ таким образом используется для выработки электроэнергии. Некоторая часть газа используется в качестве газомоторного топлива и как топливо для насосной установки.

Сравнение инновационных технологий. Нами было осуществлено сравнение этих технологий между собой по основным технико-технологическим преимуществам и недостаткам (табл. 2).

В основе большинства существующих газоперерабатывающих производств находятся физико-энергетические методы переработки, обуславливающие сжатие газов, а также физические методы разделения, с применением значительных разностей энергетических потенциалов, создаваемых весьма мощными нагревательными и холодильными установками [7].

При этом основной проблемой технологического процесса является необходимость существенного удешевления процесса разделения за счет использования более дешевых и технологически эффективных энергетических агрегатов.

Таблица 2

Сравнение китайских инновационных технологий по переработке попутного нефтяного газа

Название	Преимущество	Недостатки
Технология восстановления попутного нефтяного газа с использованием мембранного разделения.	1. Высокая скорость переработки ПНГ. 2. Простая схема, удобные операции в сфере производства. 3. Высокая эффективность.	Многочисленная смена и очистка мембран.
Устройство для удаления воды и тяжелых углеводородов из нефтяного попутного газа.	1. Отсутствие потерь сырьевого газа и высокая эффективность. 2. Низкое потребление энергии и высокая стабильность. 3. Высокий уровень автоматизации.	1. Сложное устройство. 2. Необходимость частых осмотров и ремонтов устройств.
Процесс переработки легких углеводородов в попутном нефтяном газе на салазках.	1. Высокая гибкость 2. Снижение многократных прекращений работ 3. Приемлемое отсутствие выбросов отходов	1. Сложное устройство. 2. Необходимость частых осмотров и ремонтов устройств. 3. Большое потребление энергии в процессе производства.

Заключение

1. Попутный нефтяной газ становится довольно ценным сырьем для дальнейшего использования.
2. Экономика Китая нуждается в использовании ПНГ для снижения выбросов парниковых газов и снижения существующей зависимости от угля.
3. Перспективы переработки ПНГ в Китае лежат в области повышения эффективности переработки ПНГ, снижения энергопотребления в процессе переработки, гибкая работа, удобная установка и эксплуатация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент Китая CN102994180A МПК7 C10L 3/10. Процесс восстановления попутного нефтяного газа / Мо Цзюньлун. – № 201110290023.7; Заявлено 14.09.2011; Опубл. 27.03.2013. – 5 с.
2. Ли Цзин, Ян Хайцин, Цин Суйвэй. Внедрение мембранного разделения во процессе утилизации легких углеводородов // Журнал Сиань Шию. – 2014. – №27. – С. 310-312.
3. Патент Китая CN203256242U МПК7 C10L 3/10. Устройство для удаления воды и тяжелых углеводородов из нефтяного попутного газа / Ли Цайцзунь, Вань Дунь, Чжу Цзян, Чэнь Тяньхон. – № 201310474290.9; Заявлено 18.04.2013; Опубл. 30.10.2013. – 6 с.
4. Патент Китая CN103525449A МПК7 C10G 5/00 C10G 5/06 C10L 3/12. Процесс переработки легких углеводородов в попутном нефтяном газе / Чэнь Лэй, Ху Дэйшу. – № 201310474290.9; Заявлено 12.10.2013; Опубл. 22.01.2014. – 9 с.
5. Попутный нефтяной газ // https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D1%8F%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7.
6. Эффективное использование попутного нефтяного газа // http://egsservis.ru/effektivnoe_ispolzovanie_poputnogo_neftyanogo_gaza.html.
7. Структурная схема промышленной переработки попутных нефтяных газов // <http://turboreferat.ru/chemistry/prirodnyj-gaz/69804-357645-page1.html>.
8. Грошев А.Р., Никитин Р.Г. Экономическая оценка экологических факторов утилизации и переработки нефтяного попутного газа // Экономический Вестник Ростовского государственного университета. Том 6. N 1-3. 2008. С. 218-221.
9. Ду Цян, Новикова О.В. Исследования по применяемым технологиям переработки попутного газа на нефтяных месторождениях в КНР // Сборник трудов научной и учебно-практической конференции: Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли. В 3-х частях. Издательство: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого". Санкт-Петербург. 2017. С. 100-106.

Vorobev Aleksander Egorovich

Atyrausky university of oil and gas, Atyrau, Kazakhstan
E-mail: fogel_al@mail.ru

Chzhan Lyan'tszy

Xi'an petroleum university, Xi'an, people's Republic of China

Apply innovative technologies for processing of ASSOCIATED GAS in China

Abstract. China is rather large oil-producing country of the world. The world rating of oil-producing countries of the world is presented in article and a place of China in is mute. Except oil China extracts also associated oil gas. Associated oil gas is a by-product of oil production and represents various gaseous hydrocarbons, is emitted in the course of production and further preparation (processing) of oil. Associated oil gas usually has quite high calorific ability lying ranging from 9000 to 15000 Kcal/m³. From associated oil gas by chemical processing usually receive such substances as propylene, various butylene, butadiene, etc. which in the subsequent use in production of various plastic and rubbers. All existing methods of processing of associated oil gas can be divided into 3 main groups power; the thermochemical; chemical. On the basis of these methods 3 main technologies were developed: cryogenic technologies (low-temperature separation, condensation, rectification); membrane technology; the adsorptive technology. The Chinese innovative technologies of processing of associated oil gas are presented and analysed, by comparison, known patents.

Keywords: associated oil gases; processing; technologies; innovations