УДК 622.691

Технология компрессорно-абсорбционной очистки как способ повышения эффективности использования ПНГ

А.Н. Блябляс
аспирант
sas5939@yandex.ru

М.А. Корепанов
д.т.н., доцент, в.н.с.
kma@udman.ru

Институт механики Уральского отделения РАН, Ижевск, Россия

Статья посвящена разработке и исследованию методов повышения эффективности использования забалластированного попутного нефтяного газа. Авторами предложена уникальная технология абсорбционной сепарации газа в компоновке с существующими компрессорными технологиями извлечения углеводородов из ПНГ. Подобраны оптимальные режимы работы установки разделения ПНГ на фракции, обеспечивающие максимальный выход целевых углеводородов.

Материалы и методы
Исследования проводились на базе института механики Уральского отделения РАН. В работе использованы эмпирические и теоретические методы исследования. Решение задач базируется на результатах математического моделирования средствами САПР и проведения лабораторных испытаний.

Ключевые слова
абсорбционно-компрессорный метод, разделение, ступенчатое повышение давления, сепарация газа, попутный нефтяной газ (ПНГ), абсорбент, циркуляция

Проблема рационального использования попутного нефтяного газа (ПНГ) далеко не нова, сегодня существует множество способов и технологий повышения эффективности использования ПНГ, но, несмотря на это, Россия ежегодно сжигает на факельных установках около четверти добываемых объемов попутного газа.

В нефтегазовой промышленности широкое распространение получил абсорбционный, или маслопоглотительный метод осушки попутных газов, ввиду простоты технологии и высокой эффективности сепарирования [1].

Метод основан на поглотительной способности масел выборочно растворять в себе ряд целевых углеводородов и выделять их при последующем нагреве. Тем не менее, известная технология не совершенна, поскольку предусматривает емкости с маслом, затраты энергии на постоянную циркуляцию и нагрев абсорбирующего агента, что в масштабах нефтеперерабатывающих предприятий может составлять значительные энергопотери.

Существующие отечественные и зарубежные мобильные устройства для сепарации попутного нефтяного газа в большинстве случаев основываются на одной из технологий для разделения газообразных смесей: абсорбционной, компрессорной и адсорбционной. Комбинация технологий в едином устройстве используется впервые. Подана заявка на получение патента на полезную модель [2].

Авторами предлагается модернизация существующего абсорбционного метода сепарации газа за счёт использования в качестве абсорбента некоторой части выходящих из колонны целевых тяжелых углеводородов. Пентаново-гексановая фракция в холодном виде соприкасаясь с попутным газом, на границе раздела фаз «газ – жидкость», за счёт взаимного растворения, избирательно будет абсорбировать часть углеводородов.

Сущность предлагаемого метода поясняется следующей схемой (рис.1).

Попутный газ после очистки от механических примесей и осушки от влаги по трубопроводу поступает в компрессорную установку *1*. Сжатый до 15 атм попутный газ попадает в смеситель *2*, конструкция которого обеспечивает хороший контакт газа с абсорбентом, в качестве которого выступает циркулирующий газовый конденсат. В результате взаимного перемешивания тяжелые фракции попутного газа растворяются в абсорбенте, что позволяет выделить тяжелые фракции (пентан-гексан) в первой ступени охлаждения, без существенных энергозатрат. Тяжелые углеводороды, после абсорбции и конденсации накапливаются в нижней части сепаратора *4*. Доля абсорбента (10–15%) за счет циркуляционного насоса *6* непрерывно циркулирует по трубопроводу, направляется в смеситель для абсорбирования углеводородов входящего потока ПНГ.

Не растворившиеся легкие фракции газа и инертные газы поступают в верхнюю часть сепаратора *4* и попадают в холодильную установку *7*, где за счет второй ступени охлаждения, конденсируются в сепараторе 8 более легкие фракции углеводородов, такие как пропан, бутан. Инертные газы, преимущественно азот — удаляются из системы по газовой линии через сбросный клапан на существующую факельную свечу.

Предлагаемая технологическая схема подготовки попутного нефтяного газа в условиях отсутствия развитой инфраструктуры может стать отличным решением использования ПНГ для отдаленных месторождений, так как предусматривает разделение углеводородов на 3 составляющие:

1. Целевые тяжелые углеводороды, преимущественно гексанового ряда, которые в стандартных условиях являются жидкостями, могут закачиваться в трубопровод для снижения вязкости транспортируемых углеводородов.
2. Сжиженные газы, преимущественно пропан-бутановые, которые могут быть использованы для работы газогенераторных установок, выделяя тепловую и электрическую энергию на нужды промысла.
3. Инертные газы и несконденсировавшиеся легкие углеводороды сжигаются на существующей факельной свече.

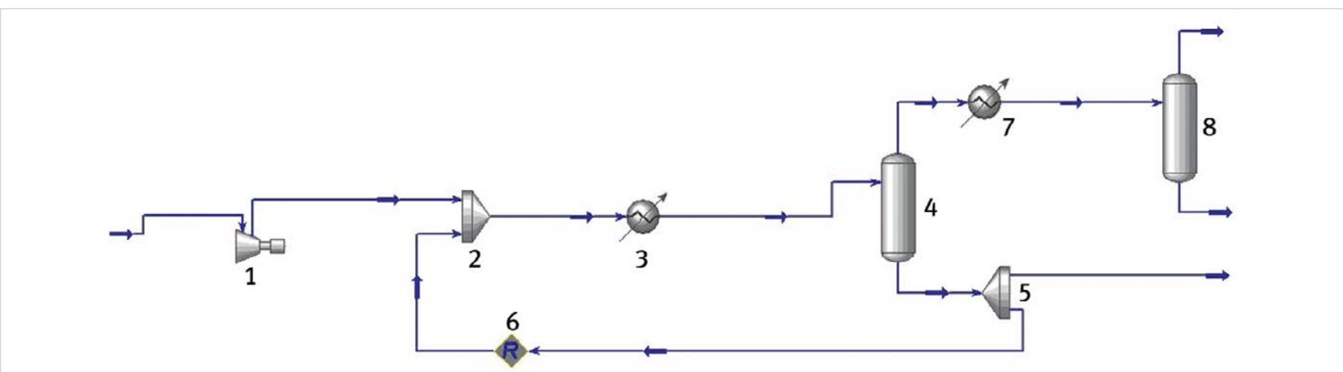

Рис. 1 – Схема устройства компрессорно-абсорбционной очистки газа
1 — компрессор, 2 — газожидкостный смеситель с регулируемым расходом компонентов, 3 — блок низкотемпературного жидкостного охлаждения, 4 — ступенчатый сепаратор, 5 — жидкостный тройник с регулируемым расходом, 6 — жидкостный циркуляционный насос, 7 — блок низкотемпературного жидкостного охлаждения, 8 — ступенчатый сепаратор

ДНС-3 Мишкинского месторождения, теплота сгорания 6178 ккал/м^3, %

O_2	CO_2	N_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	i-C_4H_{10}	n-C_4H_{10}	i-C_5H_{12}	n-C_5H_{12}	C_6H_{14}	H_2S
0,04	1,0	60,82	12,71	9,10	9,63	1,42	2,79	0,78	0,64	0,46	0,31

Таб. 1 — Компонентный состав ПНГ Мишкинского нефтегазового месторождения

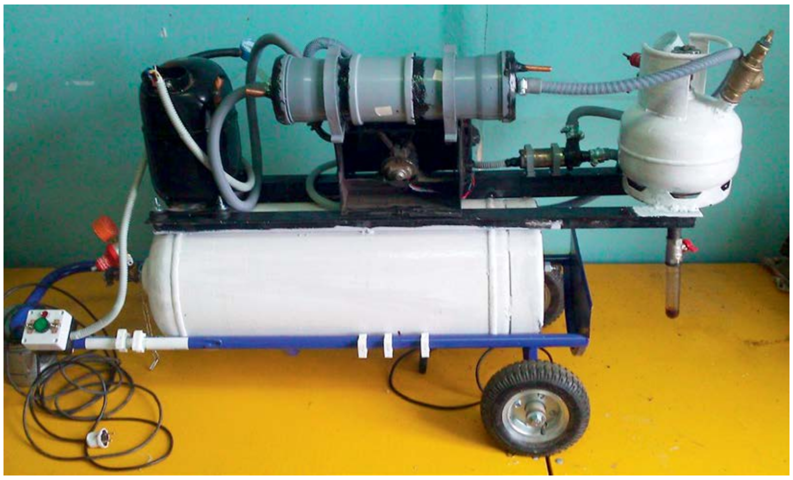

Рис. 2 — Лабораторная установка для абсорбционно-компрессорной сепарации забалластированных углеводородных газов

Объем абсорбента, кг	Выход ШФЛУ, кг/час	Дополнительный конденсат, кг/час
0	45,36	0
1	46,61	0,25
2	47,69	0,33
3	48,96	0,60
4	50,01	0,65
5	51,00	0,64
6	52,13	0,77
7	53,12	0,76
8	54,33	0,97
9	55,49	1,13
10	56,21	0,85
11	56,70	0,34
12	57,40	0,04

Таб. 2 — Анализ эффективности изменения объемов циркуляции газового конденсата в качестве абсорбента в установке конденсирования ПНГ

Элемент	C_6H_{14}	n-C_4H_{10}	i-C_4H_{10}	N_2	C_3H_8	i-C_5H_{12}	n-C_5H_{12}
Объемная доля, %	12,56	16,43	15,31	7,7	26,81	11,0	10,19

Таб. 3 — Соотношение абсорбированных долей углеводородов, %.

Рис. 3 — Анализ эффективности изменения объемов циркуляции газового конденсата в качестве абсорбента в установках конденсирования ПНГ

Возможно также некоторое упрощение предлагаемой схемы, за счет исключения второй ступени охлаждения и получения широкой фракции летучих углеводородов (ШФЛУ) сразу после первой ступени охлаждения.

Программным комплексом ASPEN HYSYS [3] была рассчитана зависимость выхода целевых компонентов газового конденсата от объемов циркулирующего абсорбента при прочих равных условиях для попутного нефтяного газа Мишкинского нефтяного месторождения Удмуртской Республики (таб. 1).

На сегодняшний день для переработки попутного нефтяного газа непосредственно на объектах добычи и первичной подготовки нефти широкое применение получили мобильные компрессорные установки разделения ПНГ, производительностью 3000–5000 Нм^3/сутки (энергопотреблением 50 кВт). Это объясняется кустовым расположением скважин, и возможностью монтажа установки разделения ПНГ непосредственно на скважинном кусту, разгрузив тем самым от вредного влияния газа последующие технологические объекты подготовки нефти: УПСВ, ДНС и УПН [4].

Для проверки работоспособности устройства абсорбционно-компрессорной сепарации забалластированных углеводородных газов, авторами была собрана лабораторная установка (рис. 2), которая подтвердила свою работоспособность в лабораторных условиях.

Основные технические характеристики: линейное давление входящего газопровода — 10 бар, температура охлаждения потока до -30°С, давление выходного потока компрессора — 15 бар, варьируемые параметры — объем циркуляции абсорбента — от 0 до 13 кг (таб. 2).

Дополнительный конденсат определяется как разница между выходом ШФЛУ, объемом циркулирующего абсорбента и выходом ШФЛУ без циркуляции абсорбента.

Качественный химический анализ показал, что дополнительный прирост конденсата достигается за счет первичной абсорбции углеводородов, приведенных, в таб. 3.

На рис. 3 приведен анализ влияния изменения объемов циркулирующего газового конденсата в качестве абсорбента на выход целевых углеводородов.

Итоги

Расчеты показали, что предлагаемая технология компрессорно-абсорбционной очистки как способ повышения эффективности использования попутного нефтяного газа — довольно эффективна, так как при циркуляции 1 кг абсорбента уже увеличивается выход целевых углеводородов. С увеличением объемов поглотителя, выход ШФЛУ набирает рост. Лишь достигнув объемов циркуляции абсорбента в 11 кг, установка «вышла из режима работы» ввиду «захлебывания» агентом. Критические и нестандартные режимы работы массообменного аппарата можно вынести в отдельную задачу.

Выводы

Используя предлагаемую технологическую схему, возможно увеличить выход целевых углеводородов на 2,1% без изменения режимов работы и дополнительных затрат.

Процент абсорбируемых углеводородов может быть увеличен путем подбора оптимальных режимов работы аппарата для каждого конкретного случая.

Список литературы

1. Скафтымов Н.А. Основы газоснабжения. Л.: Недра, 1975. 345 с.
2. Заявка на патент №2017100006 от 06.01.2017. Устройство для абсорбционно-низкотемпературной сепарации забалластированных углеводородных газов.
3. Кузнецов О.А. Основы работы в программе Aspen Hysys. М.: Директ-Медиа, 2015. 153 с.
4. Блябляс А.Н., Корепанов М.А. Моделирование и экспериментальное исследование изобарного низкотемпературного разделения низкокалорийного попутного нефтяного газа // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т.17 №3. С. 339–342.

Technology compressor absorption cleaning as a way of increasing the efficiency of use of associated petroleum gas

UDC 622.691

Authors:
Alexander N. Blyablyas — graduate student; sas5939@yandex.ru
Mikhail A. Korepanov — Ph. D., associate professor; kma@udman.ru

Institute of mechanics of Ural branch of RAS, Izhevsk, Russian Federation

Abstract
The article is devoted to the development and research methods to increase the efficiency of use the ballasted associated petroleum gas. The authors proposed a unique gas absorption separation technology in the layout of the existing compressor technologies for the extraction of hydrocarbons from the APG. An optimal mode of operation of the separation of APG into factions is captured, which is providing the maximum yield of the desired hydrocarbons.

Materials and methods
The study was conducted at the Institute of mechanics of Ural branch of RAS. The study used empirical and theoretical research methods. The decision task is based on the results of mathematical modeling with CAD tools and laboratory tests.

Results
The calculations showed that the proposed technology compressor absorption cleaning as a way of increase of efficiency of use of associated petroleum gas is fairly efficient, since the circulation of 1 kg of absorbent is already increasing the yield of the target hydrocarbons. With the increase of absorber outlet gas liquids grows. Only reaching amounts of circulating absorbent 11 kg, the installation is "out of work" because of "drown" agent. Critical and unconventional modes of mass transfer unit can be put in a separate task.

Conclusions
Using the proposed technological scheme can increase the yield of the target hydrocarbons 2.1% without changing operation modes and additional costs.
The percentage of absorbed hydrocarbons can be increased by selection of optimum modes of operation of the apparatus for each specific case.

Keywords
absorption-compressor technique,
step increasing pressure,
separation of gas,
associated petroleum gas (APG),
absorbent, circulation

References

1. Skaftymov N.A. *Osnovy gazosnabzheniya* [Fundamentals of gas supply]. Leningrad: *Nedra*, 1975, 345 p.
2. Application for patent №2017100006 from 06.01.2017. *Ustroistvo dlia absorbtsionno-nizkotemperaturnoi separatsii zaballastirovannykh uglevodorodnykh gazov* [Unit for low temperature absorption separation of ballast petroleum gases].
3. Kuznetsov O.A. *Osnovy raboty v programme Aspen Hysys* [Basics of Aspen Hysysp]. Moscow: *Direkt-Media*, 2015, 153 p.
4. Blyablyas A.N., Korepanov M.A. *Modelirovanie i eksperimental'noe issledovanie izobarnogo nizkotemperaturnogo razdeleniya nizkokaloriynogo poputnogo neftyanogo gaza* [Modeling and experimental research of isobaric low-temperature separation of low-calorie associated petroleum gas]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*, 2015, Vol. 17, issue 3, pp. 339–342.