

## Моделирование режимов работы трехфазного сепаратора низкотемпературного разделения попутного нефтяного газа

© Н. Д. Губанов

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию влияния давления и температуры дросселированного попутного нефтяного газа на эффективность отделения жидких углеводородов и водно-метанольной фракции методом низкотемпературной сепарации (НТС) с использованием трёхфазного сепаратора. Изучение процессов НТС является актуальной задачей, так как позволяет повысить качество подготовки к транспортировке попутного газа нефтяных и газоконденсатных месторождений. Технологические схемы НТС попутных нефтяных газов с применением внешних и внутренних холодильных циклов сложны, поэтому в представленной работе для получения низких температур используется дросселирование. Показано, что рассматриваемый попутный нефтяной газ одного из северных месторождений нефти Восточно-Сибирского региона, кроме газообразных углеводородов (метан-бутаны), содержит значительное количество жидких углеводородов ( $C_{5+}$  -  $C_{20+}$ ) и воду, которые должны быть отделены при подготовке газа к транспортировке. В качестве ингибитора гидратообразования используется метиловый спирт. Для изучения режимов работы трехфазного сепаратора применялась программа UniSim Design, позволяющая моделировать технологические схемы, включающие разнообразное оборудование, и таким образом определять влияние входных параметров на конечные результаты процесса. Исследовано влияние давления и температуры дросселированного газа на эффективность отделения жидких углеводородов и водно-метанольной смеси. Исследованная в работе технология НТС попутного нефтяного газа, с использованием трехфазного сепаратора, позволяет извлекать из него жидкие углеводороды и воду.

**Ключевые слова:** попутный нефтяной газ, дросселирование, низкотемпературная сепарация, трехфазный сепаратор, углеводороды

## Simulation of operating modes of a three-phase separator for low-temperature separation of associated petroleum gas

© Nikolay D. Gubanov

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The article is devoted to the study of the influence of pressure and temperature of throttled associated petroleum gas on the efficiency of separation of liquid hydrocarbons and water-methanol fraction by the method of low-temperature separation (LTS) using a three-phase separator. The study of LTS processes is an urgent task, as it allows improving the quality of preparation for the transportation of associated gas from oil and gas condensate fields. Technological schemes of LTS of associated petroleum gases with the use of external and internal refrigeration cycles are complex, therefore, in the present work, throttling is used to obtain low temperatures. The article shows that the considered associated petroleum gas of one of the northern oil fields of the East Siberian region, in addition to gaseous hydrocarbons (methane-butananes), contains a significant amount of liquid hydrocarbons ( $C_{5+}$  -  $C_{20+}$ ) and water, which must be removed when preparing the gas for transportation. Methyl alcohol is used as an inhibitor of hydrate formation. To study the operating modes of a three-phase separator, the UniSim Design program was used, which makes it possible to simulate technological schemes, including various equipment, and thus determine the influence of input parameters on the final results of the process. The influence of the pressure and temperature of the throttled gas on the efficiency of the separation of liquid hydrocarbons and water-methanol mixture has been studied. Thus, the studied technology of LTS of associated petroleum gas using a three-phase separator makes it possible to extract liquid hydrocarbons and water from it.

**Keywords:** associated petroleum gas, throttling, low-temperature separation, three-phase separator, hydrocarbons

Нефтяная и газовая промышленность в России в перспективе должна развиваться за счёт освоения нефте-газоконденсатных месторождений как Западной и Восточной Сибири, так и Северных районов. Приоритетным направлением развития нефтегазовой отрасли является глубокая переработка и ком-

плексное использование углеводородного сырья. В связи с этим предъявляются определенные требования к проектированию новых и модернизации действующих установок комплексной подготовки газа (УКПГ), предназначенных для получения газа с качественными параметрами, необходимыми для его даль-

нейшей транспортировки и переработки [1–3]. Таким образом, повышение качества попутного газа, подготавливаемого к транспортировке, является актуальной задачей.

Данная работа посвящена исследованию влияния давления и температуры попутного нефтяного газа, подаваемого в трёхфазный сепаратор УКПГ по технологии низкотемпературной сепарации, на эффективность отделения жидких углеводородов и метанольной воды.

Попутные газы, получаемые на нефтяных и газоконденсатных месторождениях, содержат, кроме газообразных углеводородов, жидкие  $C_{5+}$ , воду и другие газообразные примеси. Северные районы РФ, где находится большинство нефте-газоконденсатных месторождений, характеризуются низкими температурами в течение значительного периода года. Известно, что при низких температурах газообразные углеводороды образуют с водой гидраты, препятствующие транспортировке газа. В качестве ингибитора гидратообразования наибольшее применение находит метиловый спирт, достоинства и недостатки применения которого приведены в [4, 5]. Поэтому при подготовке попутного газа к транспортировке из него должны быть удалены как метанольная вода, так и жидкие углеводороды  $C_{5+}$ . Последние, как правило, возвращаются в товарную нефть.

Одним из распространенных методов подготовки попутного газа к транспортировке является технология низкотемпературной сепарации (НТС), обеспечивающая одновременную осушку газа и извлечение из него жидких углеводородов. Основным аппаратом установок НТС является трехфазный сепаратор, предназначенный для отделения от газа жидких углеводородов  $C_{5+}$  и метанольной воды. Эффективность работы сепаратора зависит от его внутреннего устройства и основных параметров техно-

логического процесса [6].

При исследовании процесса разделения в трехфазном сепараторе учитывались следующие допущения:

- принят трехфазный сепаратор с сетчатым отбойником;
- в системе устанавливается фазовое равновесие между жидкостью и газом.

Для получения низких температур попутного газа, подаваемого в сепаратор, используется процесс дросселирования. Применение дросселирования, по сравнению с использованием холодильных установок, характеризуется малыми капитальными затратами и простотой регулирования параметров технологического процесса [7–9].

Наиболее эффективным способом решения проблемы повышения качества подготовки попутного газа к транспортировке является применение метода математического моделирования с использованием специализированных компьютерных программ, учитывающих физико-химические основы процессов, протекающих в аппаратах подготовки газа. Использование этого метода позволяет выполнять как расчеты параметров процесса, так и анализ их влияния на технологию и тем самым выбрать оптимальные [10, 11].

В данной работе для моделирования процесса низкотемпературного разделения попутного газа в трехфазном сепараторе применялась программа UniSim Design с использованием широко распространенного уравнения состояния Пенга-Робинсона, учитывающего наличие фазовых превращений [10, 12].

Исходными данными для исследования являются состав входного потока попутного газа, давление которого составляет 10 МПа, расход – 35 т/ч и температура 2 °С.

В табл. 1 приведен состав попутного газа одного из северных нефтяных месторождений Восточно-Сибирского региона.

Таблица 1. Состав попутного нефтяного газа

Содержание компонентов, % масс.												
H <sub>2</sub> O	Инертные компоненты				Углеводороды							
					Газообразные					Жидкие		
	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5+</sub>	C <sub>9+</sub>	C <sub>20+</sub>
3,721	0,071	2,542	0,038	0,034	53,13	9,017	4,725	1,457	2,335	8,911	7,070	6,958

Видно, что попутный газ, кроме газообразных и жидких углеводородов, содержит значительное количество водяных паров, которые необходимо удалить.

Следует также отметить, что попутный газ не содержит сероводород ( $H_2S$ ), а концентрация диоксида углерода ( $CO_2$ ) незначительная (табл. 1). Таким образом, не требуется дополнительная очистка попутного газа от кислых компонентов, к которым относят  $H_2S$  и  $CO_2$ . Следовательно, применение процесса дросселирования для получения низких температур позволяет отделить от газа как воду, так и жидкие углеводороды  $C_{5+}$ .

Принципиальная схема компьютерного моделирования процесса низкотемпературного разделения попутного газа с использованием трехфазного сепаратора приведена на рис. 1.

Сырой газ, предварительно отсепарированный от нефти, поступает в дроссель. При уменьшении давления его температура снижается (эффект Джоуля-Томсона). В поток дросселированного газа добавляется метанол, как ингибитор гидратообразования. Далее смесь поступает в трехфазный сепаратор, в котором происходит его разделение на газовую, углеводородную и водно-метанольную фазы.

Следует отметить, что применение детандера для снижения давления газа невозможно, так как сырой газ при указанных выше параметрах содержит жидкую фазу (объемная доля газа составляет 0,7836).

Основными показателями осушенного газа, подаваемого в газопровод, являются температуры точки росы по воде и углеводородам. В соответствии с СТО «Газпром» 089-2010 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным трубопроводам» для районов с холодным климатом с 01.10. по 30.04 температура точки росы по влаге должна быть не выше минус  $20\text{ }^{\circ}C$ , а по углеводородам – не выше минус  $10\text{ }^{\circ}C$ .

В табл. 2 приведены результаты компьютерного моделирования режимов работы трехфазного сепаратора.

На рис. 2 представлена зависимость температур точек росы от давления дросселированного газа. Видно, что требования к газу по температурам точек росы выполняются при давлении 4 МПа.

Данные табл. 2 и рис. 2 показывают, что снижение давления рассматриваемого попутного газа дросселированием с 10 МПа до 1 МПа позволяет получить отрицательные температуры до минус  $38,5\text{ }^{\circ}C$ .

Моделирование режимов работы трехфазного сепаратора показывает (табл. 2), что газовая фаза при давлениях 2,0 МПа и 1,0 МПа практически не содержит жидких углеводородов, воды и метанола. Однако при рассматриваемых параметрах НТС жидкая углеводородная фаза содержит значительное количество растворенных углеводородных газов, что потребует дополнительной сепарации.

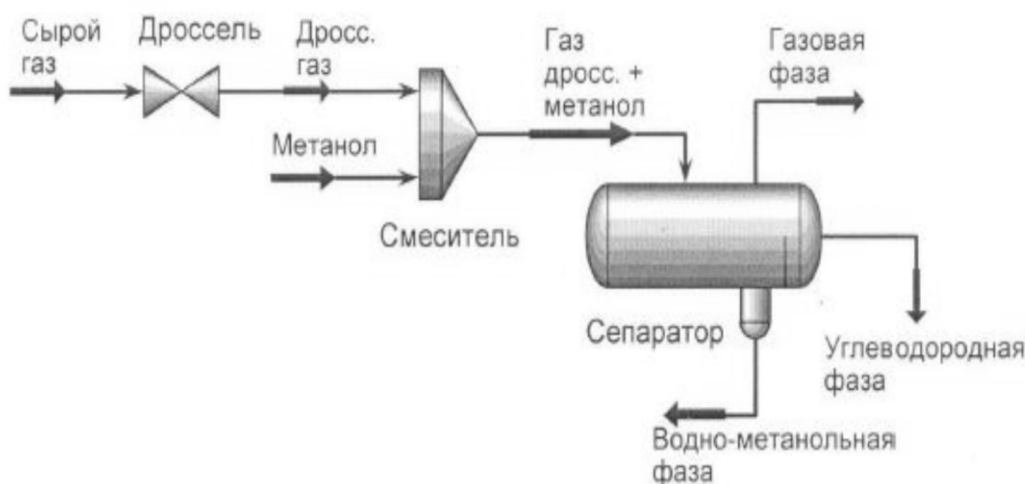
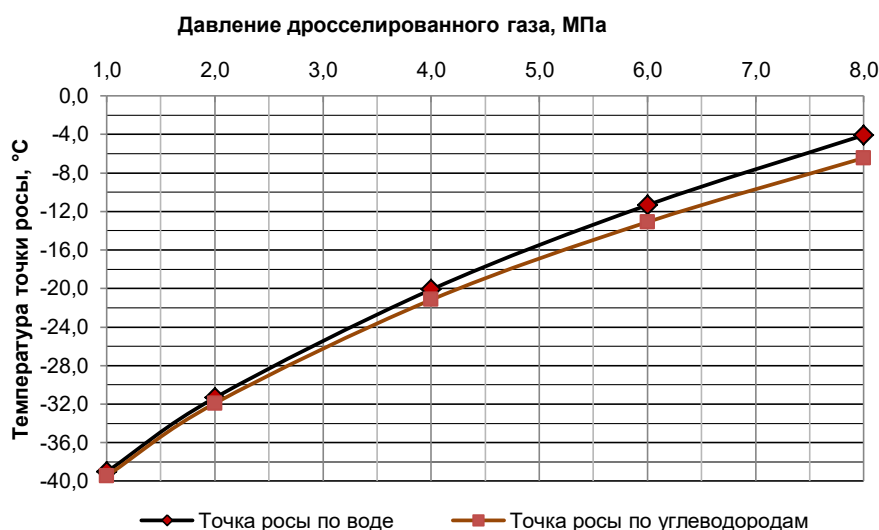


Рис. 1. Схема моделирования низкотемпературной сепарации попутного газа

**Таблица 2.** Зависимость составов фаз от давления дросселированного газа

Давление дросселированного газа, МПа	Температура, °С	Расход, кг/ч	Состав, % масс.				
			H <sub>2</sub> O	Инертные компоненты	Углеводороды		Метанол
					Газообразные	Жидкие	
Газовая фаза							
8,0	-4,03	22298,52	0,0088	3,9448	94,7050	1,3401	0,0013
6,0	-11,10	22360,20	0,0061	4,0525	95,2484	0,6924	0,0006
4,0	-19,81	22401,57	0,0040	4,0650	95,5935	0,3373	0,0002
2,0	-30,92	22814,79	0,0025	4,0160	95,8085	0,1729	0,0001
1,0	-38,57	23310,82	0,0022	3,9412	95,9076	0,1489	0,0001
Жидкая углеводородная фаза							
8,0	-4,03	11391,51	0,0026	0,1924	26,4462	73,3384	0,0204
6,0	-11,10	11328,48	0,0016	0,1412	26,0810	73,7602	0,0160
4,0	-19,81	11285,96	0,0009	0,0891	24,9173	74,9812	0,0115
2,0	-30,92	10872,42	0,0003	0,0413	21,7853	78,1660	0,0071
1,0	-38,57	10375,44	0,0002	0,0195	18,0186	81,9569	0,0048
Водно-метанольная фаза							
8,0	-4,03	1309,97	97,3622	0,0099	0,0	0,0	2,6279
6,0	-11,10	1311,32	97,3174	0,0096	0,0	0,0	2,6730
4,0	-19,81	1312,47	97,2747	0,0092	0,0	0,0	2,7161
2,0	-30,92	1313,39	97,2351	0,0078	0,0	0,0	2,7571
1,0	-38,57	131372	97,2167	0,0059	0,0	0,0	2,7774



**Рис. 2.** Зависимости температур точек росы по воде и углеводородам от давления дросселирования

Отделённая водно-метанольная фаза состоит только из воды и метилового спирта, которая подается на регенерацию метанола.

Результаты выполненных исследований низкотемпературной сепарации попутного нефтяного газа с использованием трехфазного сепаратора показали, что снижение давления дросселированием позволяет извлекать из него жидкие углеводороды, воз-

вращая их в исходную нефть и водяные пары, исключая стадию осушки другими способами.

Исследованная технология подготовки попутного нефтяного газа к транспортировке может быть рекомендована в начальный период разработки месторождения нефти при высоких давлениях и низких температурах сырого газа.

**Список источников**

1. Васильева Ю. П., Клестова А. В. Проблемы и перспективы использования нефтяного попутного газа в России // Нефтегазовое дело. 2016. № 2. С. 265–278.
2. Иванов С. С., Гальчанский П. В. Извлечение тяжелых углеводородов из низконапорного нефтяного газа при промышленной подготовке нефти // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2018. № 2 (8). С. 59–64.
3. Иванов С. С., Тарасов М. Ю., Зобнин А. А. Увеличение выхода нефти и снижение содержания легких углеводородов в попутном нефтяном газе при проектировании установок подготовки нефти // Нефтяное хозяйство. 2011. № 8. С. 138–140.
4. Грунвальд А. В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его использования в период до 2030 года // Нефтегазовое дело. 2007. № 2. С. 1–25.
5. Гурбанов А. Н., Искандеров Е. Х. Использование метанола в качестве ингибитора гидратообразования в газовой промышленности // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 4 (37). С. 113–117.
6. Шестерикова Р. Е., Шестерикова Е. А. Повышение эффективности работы установок низкотемпературной сепарации // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2014. № 5. С. 43–47.
7. Блябляс А. Н., Корепанов М. А. Моделирование и экспериментальное исследование изобарного низкотемпературного разделения низкокалорийного попутного нефтяного газа // Технологии нефти и газа. 2016. № 2(103). С. 7–9.
8. Куриннов В. В. Низкотемпературная сепарация газа на газоконденсатных месторождениях // Научный форум. Сибирь. 2018. Т. 4. № 2. С. 8–9.
9. Ишмурзин А. А., Мияссаров Р. Ф., Махмутов Р. А. Изознтропное расширение природного газа // Проблемы науки. 2017. № 2 (22). С. 16–18.
10. Писарев М. О., Долганов И. М., Ивашкина Е. Н. Моделирование работы разделителей жидкости установки подготовки газа и газового конденсата в технологии низкотемпературной сепарации // Фундаментальные исследования. 2015. № 6. С. 63–66.
11. Ильичев Ю. В., Юрик Е. А. Исследование технологии извлечения тяжелых углеводородов из попутного нефтяного газа методом низкотемпературной сепарации // Chemical Bulletin. 2019. Т. 2. № 4. С. 4–11.
12. Ling Ling Bao Phase equilibrium calculation of multi-component gas separation of supersonic separator // Science China Technological Sciences. 2010. Vol. 53. № 2. P. 435–443.

**Информация об авторе / Information about the Author**

**Николай Дмитриевич Губанов,**  
доцент,  
кафедра химической технологии им. Н. И. Ярополова,  
Институт высоких технологий,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
gubanov\_nd@ex.istu.edu

**Nikolay D. Gubanov,**  
Associate Professor,  
Chemical Technology Department named after  
N. I. Yaropolov,  
Institute of High Technologies,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
gubanov\_nd@ex.istu.edu