

УДК 622.279.5 (470.13)

## Повышение конечной конденсатоотдачи пласта месторождений на поздней стадии разработки при закачке неуглеводородных газов

К.Ю. Жданов<sup>1\*</sup>, С.В. Труфанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта, Российская Федерация, 169330, Республика Коми, г. Ухта, ул. Севастопольская, д. 1-а

\* E-mail: k.zhdanov@sng.vniigaz.gazprom.ru

**Тезисы.** В статье рассмотрен способ увеличения эффективности разработки Вуктыльского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) путем снижения объемов закачки природного газа в пласт при условии замещения части закачиваемого газа смесью неуглеводородных газов (азот, диоксид углерода). При одновременном снижении затрат на закачиваемый природный газ показана возможность увеличения потенциального содержания компонентов  $C_{5+}$  в смеси природного и неуглеводородных газов различного состава при пластовых давлениях, которые существенно ниже давления максимальной конденсации  $C_{5+}$  в пластовом газе. Два этих фактора могут оказать совокупный синергетический эффект снижения эксплуатационных затрат и увеличения конечного коэффициента конденсатоотдачи пласта для Вуктыльского НГКМ.

Газоконденсатные месторождения могут разрабатываться на режиме естественного истощения и с поддержанием пластового давления. Второй способ применяется в основном на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, для повышения коэффициента конденсатоотдачи. Поддержание пластового давления осуществляется путем закачки в пласт рабочих агентов – широкой фракции легких углеводородов, сухого природного газа, смеси природного газа и неуглеводородных компонентов (азот и углекислый газ).

Закачка сухого природного газа в пласт (сайклинг-процесс) – наиболее распространенный способ поддержания пластового давления. Частичный сайклинг-процесс нашел применение на Вуктыльском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) для извлечения ретроградного конденсата с конца 1996 г. Для этого в продуктивный пласт месторождения производилась закачка сухого тюменского газа под давлением 3,4...3,6 МПа. В результате поддержания пластового давления осушенный газ испарял в себя компоненты  $C_{5+}$ , выпавшие из пластового газа в процессе разработки.

Цель работы заключалась в исследовании возможностей повышения конденсатоотдачи на примере Вуктыльского НГКМ путем сравнения вариантов разработки месторождения с закачкой в пласт сухого газа и смесей сухого газа, азота ( $N_2$ ) и двуокиси углерода ( $CO_2$ ). Основной упор сделан на выявление наиболее эффективного способа извлечения конденсата при одновременном снижении объема закачиваемого сухого газа в пласт [1–3].

Путем исследования рекомбинированной пробы исходного состава в программном комплексе Tempest были заданы составы для смесей закачиваемых газов (табл. 1). Углеводороды  $C_{7+}$  разбиты на четыре компонента, различающиеся молярной массой. Исследования проводились для давлений, лежащих в диапазоне 0,1...35,0 МПа.

Объемные доли азота и углекислого газа не превышают значения их максимальной концентрации в закачиваемом газе: объемная доля  $CO_2$ , согласно СТО Газпром 9.3-011-2009 [4], не превышает максимально допустимую, соответствующую парциальному давлению 0,2 МПа и выше.

Вычисление максимально возможной концентрации  $N_2$  в закачиваемом газе производилось из условия наименьшего допустимого значения теплоты сгорания

**Ключевые слова:** закачка газа, сайклинг-процесс, Вуктыльское НГКМ, повышение конденсатоотдачи, смесь неуглеводородных газов, потенциальное содержание конденсата, давление закачки, ретроградный конденсат.

Таблица 1

## Составы смесей закачиваемых газов

Компонент	Объемные доли				
	Исходный газ	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>
N <sub>2</sub>	0,02051	–	–	0,06210	0,06510
CO <sub>2</sub>	0,00862	–	0,05714	–	0,05714
CH <sub>4</sub>	0,75217	0,93569	0,87855	0,87359	0,81645
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,08821	–	–	–	–
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,04430	–	–	–	–
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,00554	–	–	–	–
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,01634	–	–	–	–
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00902	–	–	–	–
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,01208	–	–	–	–
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,01755	–	–	–	–
C <sub>7+</sub> (1)	0,00442	0,00442	0,00442	0,00442	0,00442
C <sub>7+</sub> (2)	0,00776	0,00776	0,00776	0,00776	0,00776
C <sub>7+</sub> (3)	0,00987	0,00987	0,00987	0,00987	0,00987
C <sub>7+</sub> (4)	0,00361	0,00361	0,00361	0,00361	0,00361

газа. Согласно ГОСТ 22667-82 [5] низшая теплота сгорания  $Q$  вычисляется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i x_i, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го компонента газа, МДж/м<sup>3</sup>;  $x_i$  – доля  $i$ -го компонента в газе.

Низшая теплота сгорания для газа по ГОСТ 5542-2014 [6] составляет не менее 31,8 МДж/м<sup>3</sup>.

Для различного состава закачиваемого газа был произведен расчет потенциального содержания углеводородов  $C_{5+}$  в пересчете на сухой газ:

$$П_{C_{5+}} = x_{C_{5+}} \frac{M_{C_{5+}}}{0,02404}, \quad (2)$$

где  $x_{C_{5+}}$  – мольная доля фракции  $C_{5+}$  в газоконденсатной системе;  $M_{C_{5+}}$  – молекулярная масса группы  $C_{5+}$ , г/моль.

Была построена газоконденсатная характеристика для всех четырех случаев закачки газа (рис. 1). Как видно из графика, закачка смеси неуглеводородных газов неэффективна при высоких давлениях (порядка 20...30 МПа) по сравнению с разработкой на режиме естественного истощения (на графике линия «Исходный»), но при текущих пластовых давлениях Вуктыльского НГКМ (порядка 2...3 МПа) более эффективна.

На основе проектных решений по разработке Вуктыльского НГКМ с продолжением закачки сухого тюменского газа в продуктивный пласт (табл. 2) был произведен расчет дополнительной добычи ретроградного конденсата при закачке газа разного состава и дополнительное уменьшение закупки природного газа при закачке смесей разного состава.

Так как закачиваемые смеси газов помимо метана состоят из азота и углекислого газа, то для нахождения объема сухого газа,

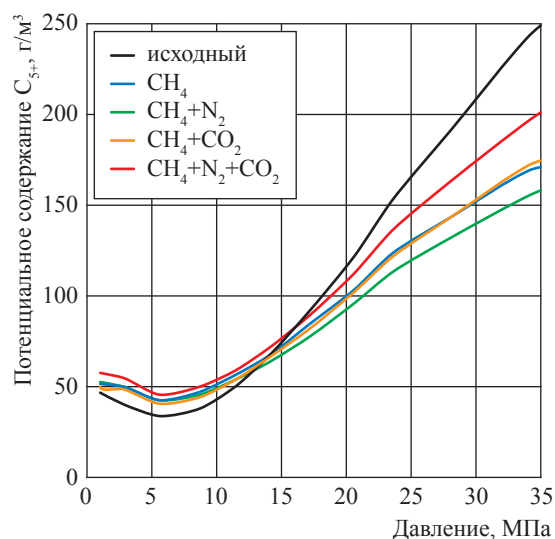


Рис. 1. Потенциальное содержание  $C_{5+}$  при различных давлениях

Таблица 2

**Параметры разработки Вуктыльского НГКМ при продолжении закачки сухого газа в пласт**

Показатель	Год											
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Пластовое давление, бар	29,9	28,1	27,1	26,4	25,9	25,0	24,5	23,9	22,3	21,6	20,9	20,0
Добыча газа, млн м <sup>3</sup> ,	2031,8	1964,5	1891,3	1817,6	1631,0	1630,8	1445,0	1351,9	1266,3	1168,7	1045,0	978,0
• в т.ч. пластового	869,2	809,9	760,6	727,5	714,2	770,3	810,7	831,1	694,3	579,0	443,3	377,9
• в т.ч. прорывного	1162,6	1154,6	1130,7	1090,1	916,8	860,5	634,3	520,7	571,9	589,7	601,7	600,1
Закачка газа, млн м <sup>3</sup>	1526,7	1438,7	1345,9	1244,3	1153,2	1049,7	872,3	750,4	681,5	500,3	412,1	355,5
Добыча конденсата, тыс. т	98,3	95,9	93,6	90,3	87,5	85,2	79,9	73,5	60,5	50,0	41,3	34,1

необходимого для закачки, требуется вычестить их объемную долю из общей смеси. На рис. 2 изображена потребность в сухом газе для закачки в пласт.

Зная объемы прорывного газа и потенциальное содержание углеводородов C<sub>5+</sub> в пласте для закачиваемых газов различного состава, можно рассчитать потенциальную максимальную добычу ретроградного конденсата. Сравнение результатов представлено на рис. 3.

Из данных графиков видно, что наиболее выгодным способом разработки месторождения является закачка в пласт смеси сухого газа, азота и углекислого газа. Наименее выгодный – закачка азота и сухого газа. Это обосновывается тем, что растворимость углеводородов C<sub>5+</sub> в азоте меньше чем в метане, а растворимость в метане меньше, чем в углекислом газе.

Сравним также экономические показатели разработки. Затраты на закачку газов будут складываться из эксплуатационных затрат, затрат на закупку сухого газа и капитальных затрат. В капитальные затраты входит установка систем получения азота и углекислого газа и станций компримирования до 3,5 МПа (давление закачки сухого тюменского газа в пласт Вуктыльского НГКМ). В общем виде суммарные показатели разработки за 12 лет представлены в табл. 3.

Несмотря на то что закачка смеси сухого газа и азота не показала достаточно высоких показателей по извлечению ретроградного конденсата, она является наиболее выгодной по уровню капитальных затрат. Наиболее экономичным вариантом с точки зрения закупки сухого газа оказалась закачка смеси сухого

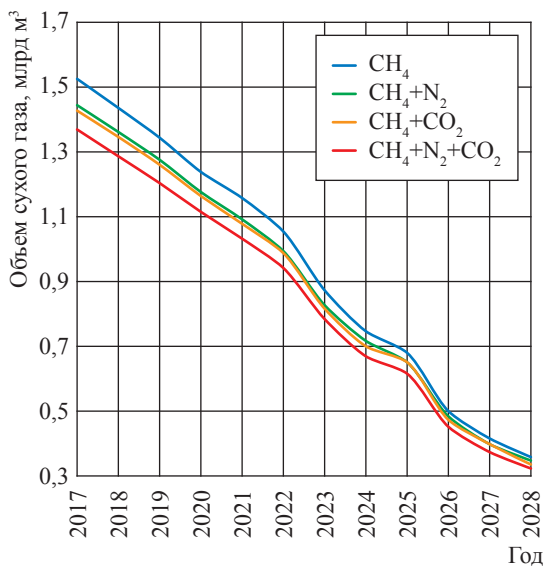


Рис. 2. Динамика объемов закупки сухого природного газа для закачки в пласт

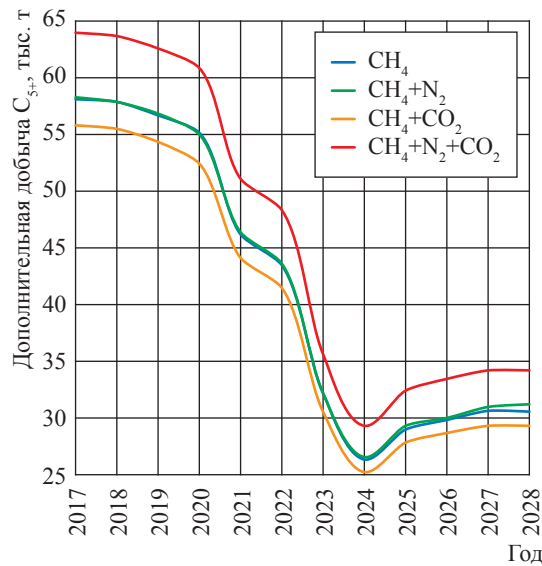


Рис. 3. Сравнение добычи ретроградного конденсата

Таблица 3

## Сравнение экономических показателей разработки

Показатель	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub>
Закачка, млн м <sup>3</sup> :				
• сухого газа	11330,61	10729,41	10628,23	10145,20
• азота	–	601,20	–	–
• углекислого газа	–	–	702,38	–
• смеси азота и углекислого газа	–	–	–	1303,59
Добыча ретроградного конденсата, тыс. т	496,03	498,89	475,11	550,17
Закупка сухого газа для закачки, млн м <sup>3</sup>	11330,61	10628,23	10729,41	10145,20
Капитальные затраты, млн руб.	–	232,96	306,28	539,24
Эксплуатационные затраты, млн руб.:				
• компримирование газа	–	119,22	392,14	258,50
• закупка сухого газа	39657,14	37198,79	37552,93	35508,21
Всего затраты, млн руб.	39657,14	37550,97	38251,35	36305,95
Экономия на сухом газе, млн руб.	–	2458,35	2104,21	4148,93
Прибыль, млн руб.	–	2106,17	1137,35	2481,75

газа, азота и углекислого газа, а система закачки углекислого и сухого газа по всем пунктам оказалась невыгодной.

\*\*\*

В статье представлены методы увеличения конденсатоотдачи Вуктыльского НГКМ и проведены РVT-исследования этих методов в программном комплексе Tempest. По результатам исследований была составлена газоконденсатная характеристика, демонстрирующая долю компонентов C<sub>5+</sub>. Также выполнено сравнение добычи конденсата этими методами из пласта Вуктыльского НГКМ за 12 лет и представлены экономические показатели.

Исходя из поставленных целей, можно сделать вывод, что наиболее эффективным вариантом разработки Вуктыльского НГКМ с системой поддержания пластового давления, соответствующего максимальному коэффициенту конденсатоизвлечения при минимуме закачки сухого газа, является закачка в пласт смеси метана, азота и углекислого газа.

## Список литературы

1. Вяхирев Р.И. Разработка и эксплуатация газовых месторождений / Р.И. Вяхирев, А.И. Гриценко, Р.М. Тер-Саркисов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 880 с.
2. Жданов К.Ю. Возможности повышения конденсатоотдачи для месторождения на поздней стадии разработки путем закачки в пласт многокомпонентной газовой смеси / К.Ю. Жданов, С.В. Труфанов // Сб. науч. тр. XVII Межд. молодежн. науч. конф. «Севергеоэкотех-2016». – Ухта: УГТУ, 2016. – С. 155–160.
3. Тер-Саркисов Р.М. Разработка газоконденсатных месторождений с воздействием на пласт / Р.М. Тер-Саркисов, А.И. Гриценко, А.Н. Шандрыгин. – М.: Недра, 1996. – 239 с.
4. СТО Газпром 9.3-011-2011. Ингибиторная защита от коррозии промысловых объектов и трубопроводов. Основные требования. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011.
5. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе (с Изменением № 1). – М.: Изд-во стандартов, 1982.
6. ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015.