



УДК 665.725

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ
ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА
ПЕРЕД СЖИЖЕНИЕМ НА КОМПЛЕКСЕ ПО
ПРОИЗВОДСТВУ СПГ НА ГРС
НОВОСВЕРДЛОВСКОЙ ТЭЦ**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF NATURAL
GAS PURIFICATION FROM CARBON DIOXIDE
BEFORE LIQUEFACTION AT THE LNG
PRODUCTION FACILITY AT THE GDS OF
NOVOSVERDLOVSKAYA CHPP**

Лебедев Михаил Сергеевич, аспирант каф. «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mslebedev@urfu.ru. Тел.: +7(912)240-77-57

Филипповский Николай Федорович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: filippovskii@yandex.ru. Тел.: +7(904)381-66-87

Mikhail S. Lebedev, post-graduate student, Department «Heat and power thermal engineering», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mslebedev@urfu.ru. Ph.: +7(912)240-77-57

Nikolay F. Filippovskiy, Doctor Sc., Prof., Department « Heat and power thermal engineering », Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: filippovskii@yandex.ru. Ph.: +7(904)381-66-87

Аннотация: малотоннажное производство сжиженного природного газа (СПГ) на сегодняшний день является одним из наиболее актуальных направлений деятельности ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». Качество продукта зависит от технологии производства. Одной из важных характеристик СПГ согласно ГОСТу является содержание в нем диоксида углерода, поскольку при высоком его содержании в конечном продукте возможно образование сухого льда и нарушение работы оборудования. В данном докладе представлено исследование работы оборудования комплекса по производству СПГ на базе ГРС Новосвердловской ТЭЦ с целью определения эффективности очистки газа от диоксида углерода для соответствия требованию ГОСТа, а также предлагается технологическое решение по повышению надежности и эффективности работы блока подготовки газа.

Abstract: the small-scale production of liquefied natural gas (LNG) is one of the most important activities of «Gazprom transgaz Yekaterinburg». The quality of the product depends on the technology of production. One of the important characteristics of LNG in accordance with GOST is the carbon dioxide content in it, since at its high content, the formation of dry ice and disruption of equipment operation are possible in the final product. This report presents a study of the operation of the equipment for the LNG production facility at the GDS of Novosverdlovskaya CHPP to determine the efficiency of gas purification from carbon dioxide in order to meet the GOST requirement, and also offers a technological solution for increasing the reliability and efficiency of the gas treatment unit.

Ключевые слова: сжиженный природный газ; диоксид углерода; блок очистки; адсорбент.

Key words: liquefied natural gas; carbon dioxide; purification unit; adsorbent.

Блок очистки на комплексе СПГ состоит из двух адсорберов, которые попеременно находятся в работе и в режиме регенерации. Согласно проекту время защитного действия адсорбера очистки должно быть не менее 8 часов, а остаточное содержание диоксида углерода не должно превышать величину 0,005 об.% (50 ppm). Однако

в процессе проведения анализов проб конечного продукта (СПГ) наблюдается значительное превышение этой величины (среднее значение за 2013-2015 год составило 0,1012 об.%) [1]. Повышенная концентрация CO₂ в СПГ приводит к его несоответствию по физико-химическим показателям ГОСТ Р56021-2014 [2]

Также, необходимо отметить, что растворимость CO_2 в жидком метане зависит от его температуры и давления [2]: при давлении насыщенных паров метана $P=0,49$ Мпа и температуре $T=135$ К (приблизительные параметры при хранении СПГ) в нем может растворяться примерно 2000 ppm CO_2 и соответственно опасность выпадения CO_2 в твердой фазе отсутствует. Проблемы возникают при снижении температуры и давления СПГ (в процессе заправки и непосредственном использовании СПГ потребителями) в результате чего растворимость CO_2 резко снижается, и возникают условия для выпадения твердой фазы, что может повлечь за собой нарушения в работе оборудования.

Рассмотрим причины, приводящие к превышению концентрации CO_2 в конечном продукте:

1.Изменение состава исходного газа, поступающего на установку сжижения.

Проанализировав составы сырьевого природного газа в период с 2011 по 2016 год (Таблица 1), можно сделать вывод, что концентрация метана от года к году уменьшается, а концентрация диоксида углерода, напротив, увеличивается, и превышает проектное значение в 3,5 раза. Увеличение содержания CO_2 в исходном газе напрямую влияет на время защитного действия блока очистки в сторону его уменьшения.

Таблица 1

Состав газа, об.%

	Проект	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Метан (CH_4)	97,654	97,68	97,28	97,13	96,58	96,16	95,91
Этан (C_2H_6)	0,691	0,77	0,91	1,08	1,36	1,67	1,80
Пропан (C_3H_8)	0,3271	0,253	0,343	0,044	0,464	0,530	0,548
i-бутан (C_4H_{10})	0,042	0,030	0,049	0,044	0,058	0,075	0,075
n-бутан (C_4H_{10})	0,05	0,035	0,057	0,311	0,067	0,078	0,08
n-пентан (C_5H_{12})	0,01	0,0053	0,0136	0,0077	0,0125	0,0140	0,0133
n-гексан (C_6H_{14})	0,003	0,0027	0,0069	0,0059	0,0112	0,0152	0,0114
Азот (N_2)	1,184	1,11	1,19	1,20	1,22	1,19	1,28
Кислород (O_2)	0,021	0,0139	0,0142	0,014	0,012	0,0188	0,0129
Диоксид углерода (CO_2)	0,065	0,091	0,110	0,141	0,177	0,210	0,227

2.Повышенная температура природного газа, поступающего на блок очистки.

Температура газа после турбокомпрессора составляет $+27$ °С и примерно с такой температурой ($+25$ °С) он поступает в адсорберы блока очистки. Проектом предусматривалась температура входа в блок очистки в диапазоне $+3...+35$ °С. Необходимо заметить, что адсорбционная емкость цеолита к CO_2 зависит от температуры очищаемой среды. По изотермам адсорбции, приведенным в [3], определяем, сколько килограмм CO_2 способен поглотить цеолит при заданном парциальном давлении и температурах $+3$ °С и $+25$ °С. Полученные значения

составляют (примерно) 15 и 10 кг адсорбированной двуокиси углерода на 100 кг СИЛИПОРИТА (адсорбент). Таким образом, повышенная температура газа снижает адсорбционную емкость цеолита почти в 1,5 раза.

Для определения качества очистки газа от CO_2 и времени защитного действия адсорберов был проведен эксперимент, который заключался в следующем: в процессе работы комплекса отбирались пробы газа на выходе из блока очистки через 2 часа, 4 часа, 5,5 часов, 6 часов, 6,5 часов и 7,5 часов. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

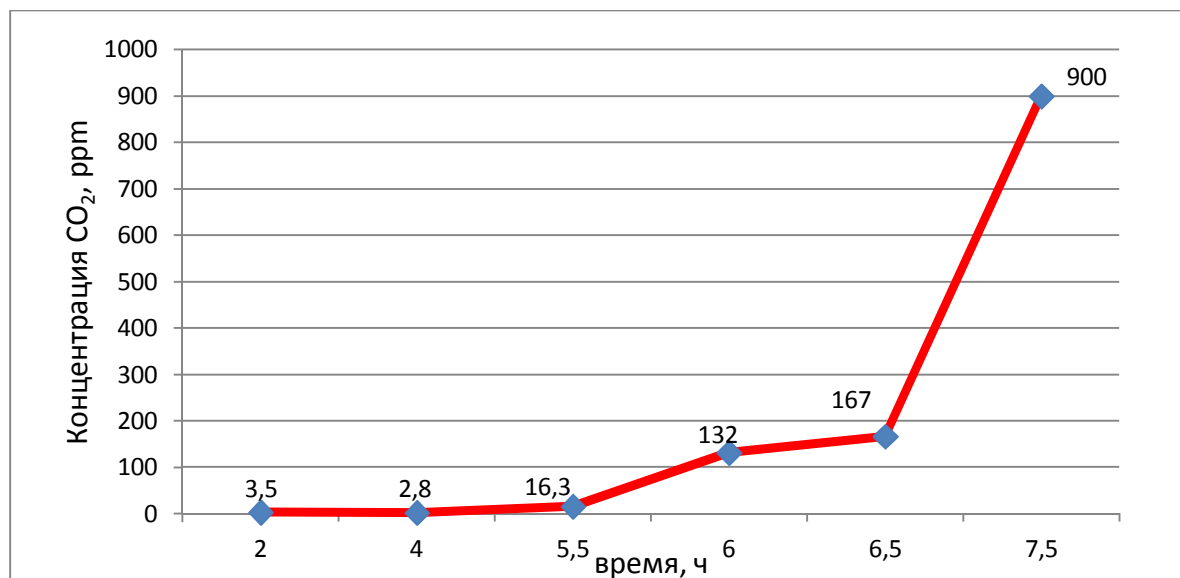


Рис. 1 Изменение концентрации CO₂ в очищенном газе

Из полученной выходной кривой можно сделать вывод, что адсорбера очистки обеспечивают время защитного действия в районе 5,5 часов, вместо необходимых 8 часов, после чего наблюдается резкое увеличение CO₂ в пробах газа.

3. Газ, используемый для регенерации и охлаждения, отбирается с выхода адсорбера очистки, который находится в работе. Учитывая, что время защитного действия адсорбера снижено, стадия охлаждения осуществляется загрязненным потоком природного газа. Таким образом, отрегенерированный адсорбер уже в момент переключения имеет сниженный ресурс. В результате, при долговременной работе комплекса

(несколько суток) адсорбционная емкость каждого адсорбера блока очистки будет постепенно снижаться.

На рис.2 представлена действующая схема движения газа: поступающий газ с ГРС под давлением 30 кгс/см² разделяется на два потока. Поток, охлаждающий газ после турбокомпрессора, и основной, который после удаления воды в блоке осушки, сжатия в турбокомпрессоре, проходя охладитель природного газа (в настоящее время не используется) разделяется на технологический и ожимаемый поток.

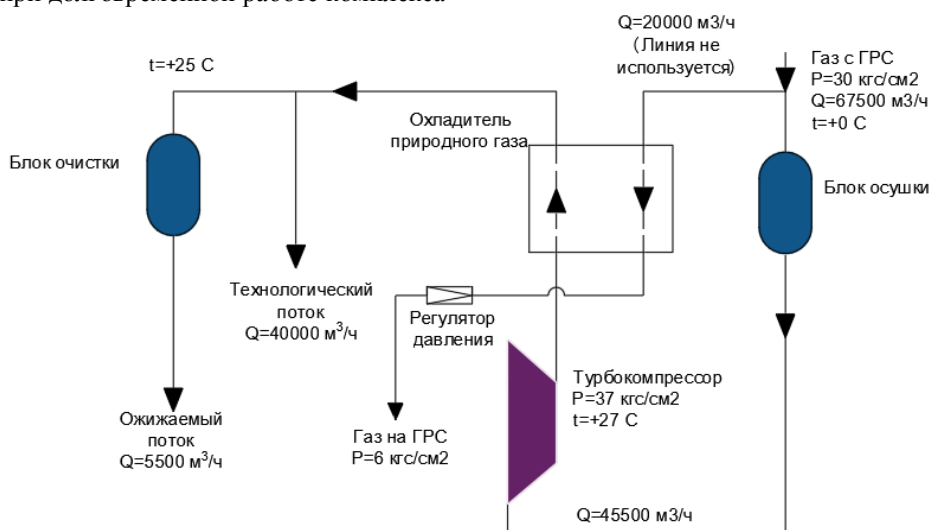


Рис. 2 Действующая схема движения газа (ОХПГ не используется)

Охладитель природного газа (ОХПГ) не используется, так как при его включении в работу температура технологического потока снижается до значения, вызывающего перемерзание предварительного теплообменника и детандерного

фильтра. При этом повышается гидравлическое сопротивление и комплекс вынужденно останавливается.

Таким образом, технологический и ожижаемый поток, после прохождения ОХПГ имеют одинаковую температуру $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, что, как было показано выше, негативно сказывается на работе блока очистки. Для увеличения времени защитного действия блока очистки и, как

следствие, повышения качества конечного продукта (СПГ) предлагается следующее решение: разделять общий поток на технологический и ожижаемый сразу после турбокомпрессора и направлять в ОХПГ только ожижаемый поток (рис. 3).

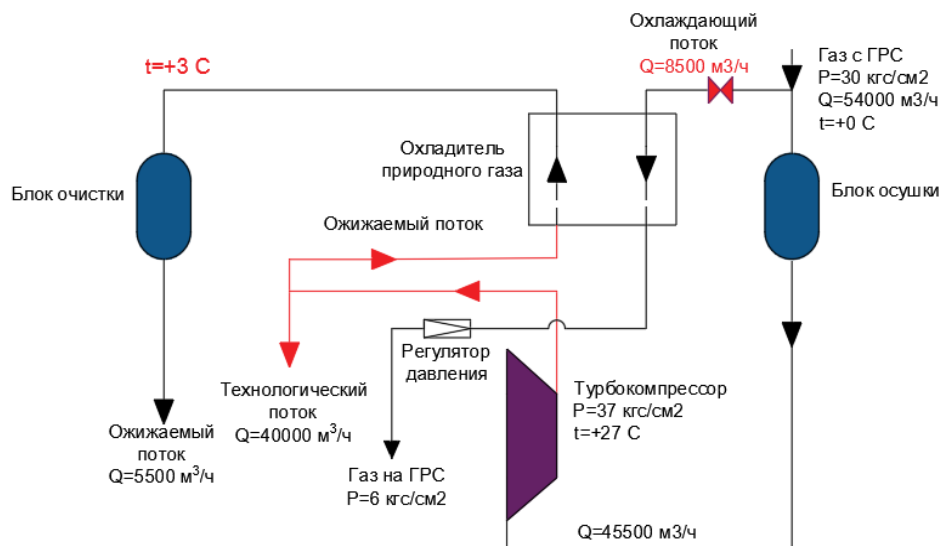


Рис. 3 Схема движения газа с использованием ОХПГ (красным цветом выделены изменения)

Чтобы определить, обеспечит ли ОХПГ необходимую температуру ожижаемого потока $t_1''=+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, необходимо определить расход охлаждающего потока. Используя уравнение теплового баланса ОХПГ (рис. 4), получили

значение расхода почти в 3 раза меньше проектного значения, следовательно, можно сделать вывод, что ОХПГ обеспечит температуру $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на входе в блок очистки.

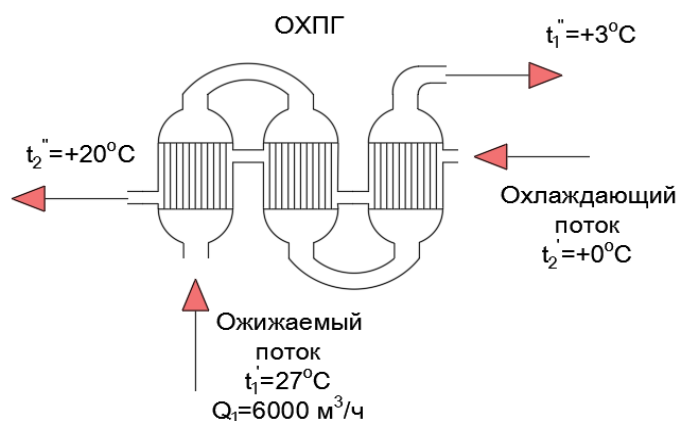


Рис. 4 Охлаждатель природного газа

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишин О. Л. Опыт проектирования, изготовления и эксплуатации блоков подготовки газа перед сжижением для комплекса производства СПГ на ГРС-4 г. Екатеринбурга : доклад – Екатеринбург, 2016. – 22 с.
2. ГОСТ Р 56021-2014 «Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок».
3. Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров. Изд-е 2-е перераб.и доп. Учеб пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов – М., «Высшая школа», 1969. – 416 .