

В ходе работы было выяснено, что пайка не влияет на структура металла втулки, изготовленной их стали 12Х18Н10Т. Однако, наблюдается ЗТВ со стороны трубки протяженностью порядка 8 мм. В теле шва каких-либо дефектов не наблюдается.

Сопоставительные исследования паяных и сварных соединений тонкостенных трубопроводов гидравлических и топливных систем летательных аппаратов показали, что предпочтение необходимо отдать паяным соединениям перед соединениями, полученными аргонодуговой сваркой.<sup>[4]</sup>

### Литература

1. Мартынюк А.О. Сравнения качества сварных соединений детали их прецизионного сплава с заданными параметрами упругости, полученных при применении аргонодуговой и электронно-лучевой высокотехнологических сварок // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – с. 928 – 932.
2. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. М., «Машиностроение», 1977. 328 с.
3. Л.В. Баранова, А.Н. Демина. Металлографическое травление металлов и сплавов. М.: «Металлургия», 1986, 256 .с
4. Губин А.И., Китаев А.М. Сварка и пайка тонкостенных трубопроводов, 2 – е изд., М., «Машиностроение», 1972. 128 с.

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

А.А.Мерзляков

Научный руководитель профессор А.А. Кукьян

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

г. Пермь, Россия

2017 год в России объявлен годом экологии в соответствии с Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 05.01.2016. Цель данного решения – привлечь внимание к проблемным вопросам, существующим в экологической сфере, и улучшить состояние экологической безопасности страны.

По данным ПАО «Газпром» наибольшая часть валовых выбросов вредных веществ приходится на объекты транспорта газа. К одним из значимых экологических факторов относятся выбросы оксидов азота и углерода (NO, NO<sub>2</sub> и CO) в атмосферу, образующиеся в камере сгорания газотурбинной установки. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в период с 2011 по 2015 уменьшились на 294 тыс. тонн и в 2015 году составили 2,8 млн. тонн. Несмотря на значительное снижение, эта цифра по-прежнему остаётся высокой.[1], [7].

Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16/76 с двигателем НК-16 СТ [2] и нагнетателем НЦ-16/76 [3] имеет мощность 16 МВт. Транспортируемый газ соответствует требованиям и нормам СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам» [5].

Для проведения экологического расчёта по сокращению вредных выбросов в атмосферу были произведены замеры концентрации вредных веществ в выхлопной шахте газоперекачивающего агрегата при открытом и закрытом отборе циклового воздуха при различных частотах вращения свободной турбины, различной температуре топливного газа, а так же при временном отсоединении трубопровода эжекции масляных паров от выхлопной шахты. Результаты измерений приведены в таблицах 1-3 и рисунках 1,2. Для расчета использовался СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-038-2005 «Инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях» [6].

Таблица 1

Результаты измерений объемов выбросов загрязняющих веществ при изменении режима отбора воздуха и скорости вращения свободной турбины

Частота вращения свободной турбины, об/мин	Минимальная		Рабочая		Максимальная		
	4030 об/мин		4250 об/мин		4410 об/мин		
Отбор воздуха	откр.	закр.	откр.	закр.	откр.	закр.	
Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	NO	16,8	12,3	26	17,8	31,5	24,7
	NO <sub>2</sub>	27,9	14	24,4	13,2	24,4	13,4
	CO	385	297	358,8	281,9	323,5	252,7
Валовый выброс, т/год	NO	3,54	2,85	4,38	3,87	6,13	5,68
	NO <sub>2</sub>	9,14	2,2	11,3	7,36	13,7	9,98
	CO	126,19	98,8	121,48	98,72	117,43	94,74
S	138,87	103,85	137,16	109,95	137,26	110,4	
Δ, %	22		20		19,5		

Таблица 2

Результаты измерений концентрации и объема валового выброса масляных паров при изменении режима работы газоперекачивающего агрегата

Трубопровод эжекции масляных паров		Отсоединен	Присоединен
Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	NO	30,3	30,9
	NO <sub>2</sub>	20,8	21,3
	CO	294,6	279,1
Валовый выброс, т/год	NO	4,44	4,77
	NO <sub>2</sub>	11,47	11,71
	CO	96,72	91,66
Σ		112,63	102,17
Δ, %		4	

Исходя из того, что температура топливоздушнoй смеси непосредственно влияет на ее процесс горения, были произведены замеры при различных температурах топливного газа. Результаты представлены в рисунке 2 и таблице 3.

Таблица 3

Результаты замеров при различной температуре воздушной смеси

Температура топливного газа, °C		18	20	26	28	30	32	36
Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	NO	39,1	41,3	45,1	45,9	45,9	46,2	46,4
	NO <sub>2</sub>	15,9	15,6	12,8	11,7	10,8	10,3	10,6
	CO	286	271	242	228	219	210	203
Валовый выброс, т/год	NO	5,15	5,35	5,55	5,55	5,49	5,49	5,53
	NO <sub>2</sub>	13,3	13,8	14,33	14,33	14,18	14,17	14,28
	CO	96,58	91,29	81,53	77,6	73,69	70,66	68,31
Σ		115,02	110,44	101,42	97,15	93,36	90,32	88,11
Δ, %		12...23						

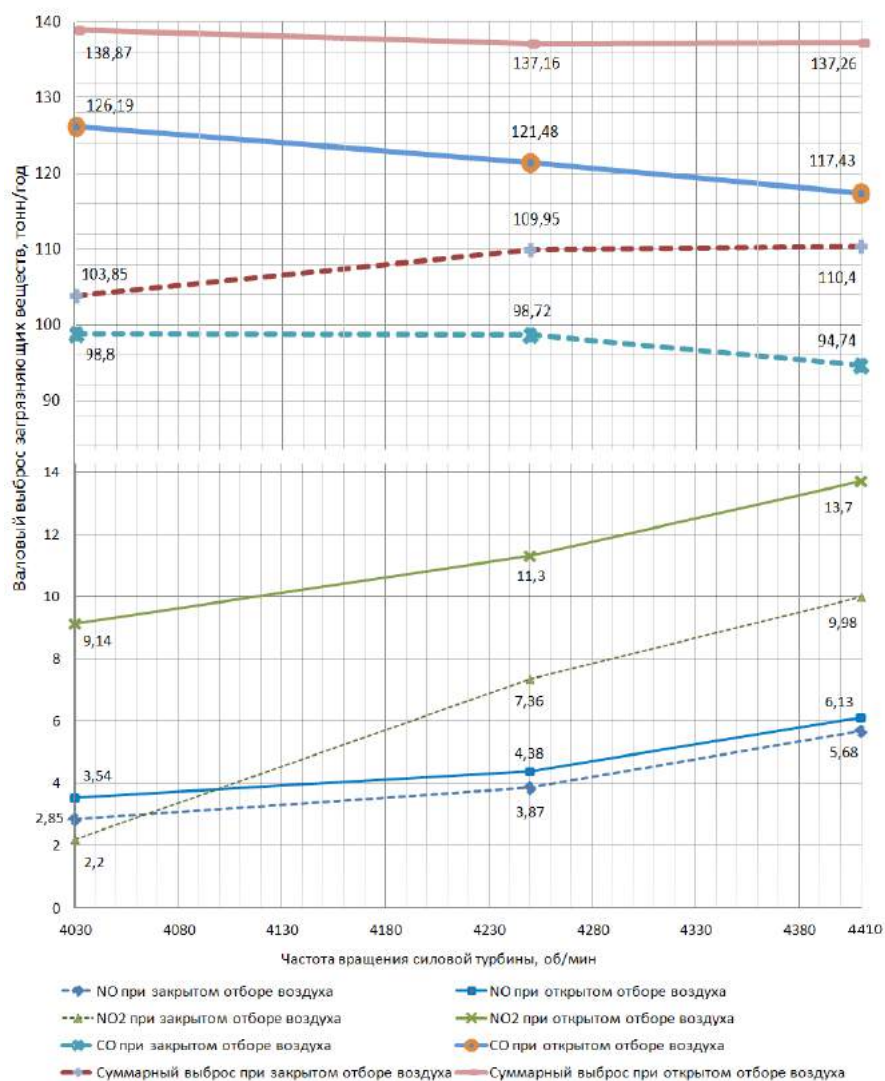


Рис. 1. График зависимости валового выброса загрязняющих веществ ГПА-Ц-16 от частоты вращения свободной турбины

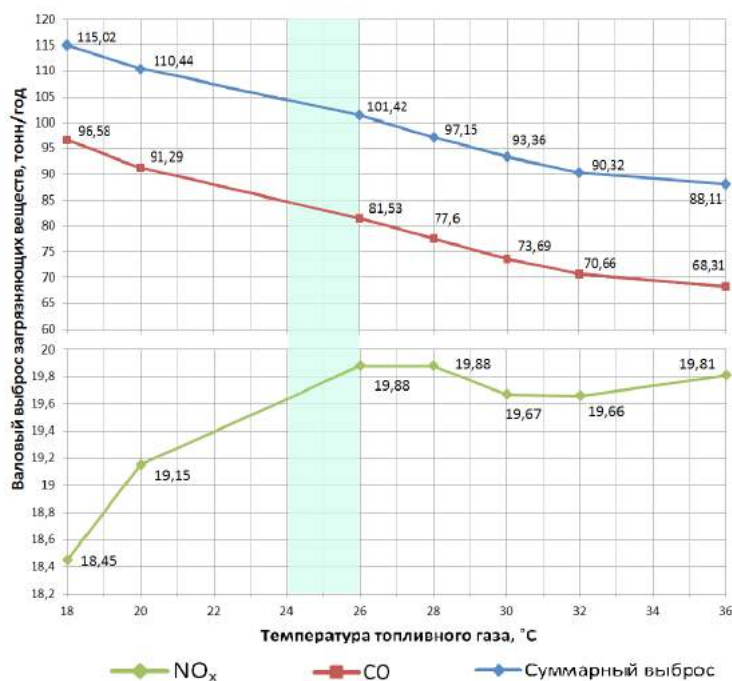


Рис. 2. График зависимости валового выброса загрязняющих веществ от температуры топливного газа

Минимальная температура топливного газа, установленная заводом изготовителем для двигателя НК-16СТ составляет 18 °С. Используемый для подогрева топливного газа теплообменник может подогревать его только до 26 °С. Дальнейшее повышение температуры еще больше сокращает объем вредных выбросов, но для этого необходимо запускать дополнительное оборудование – подогреватель газа ПТПГ-30, который является дополнительным источником вредных выбросов. Поэтому оптимальная рабочая зона температуры топливного газа находится в диапазоне от 24-26 (см. рисунок 2).

В ходе анализа работы газоперекачивающего агрегата было выявлено что, не меняя конструкции агрегата и не воздействуя на технологический режим его работы, можно влиять на объем валовых выбросов загрязняющих веществ в выхлопных газах газотурбинной установки.

Концентрация вредных выбросов в выхлопных газах газотурбинной установки изменяется пропорционально изменению частоты вращения свободной турбины и эти изменения не существенны. При отсоединении труб эжекции от выхлопной шахты общая концентрация вредных веществ в выхлопных газах изменилась незначительно, при этом появился дополнительный выброс масляных паров в атмосферу. В то время как отбор горячего воздуха и регулирование температуры топливного газа оказывают значительное влияние на выбросы в атмосферу. Валовый выброс вредных веществ при закрытом отборе воздуха уменьшился более чем на 20%.

Для реализации этих выводов рекомендуется выполнить следующие мероприятия:

1. рационально использовать отбор циклового воздуха за осевым компрессором на собственные нужды;
2. поддерживать температуру топливного газа в диапазоне 24-26 °С.

Реализуя представленные в работе рекомендации, удастся достичь более экологичного режима работы газоперекачивающего агрегата без каких-либо материальных затрат. Валовый выброс вредных веществ при этом может уменьшиться более чем на 20%.

#### Литература

1. Воздействие на окружающую среду ПАО «Газпром»// Официальный сайт ПАО «Газпром», [электронный ресурс]. URL. <https://goo.gl/d3XnxL> (дата обращения: 05.01.2017)
2. Двигатель НК-16СТ Руководство по технической эксплуатации. Книга 1./ г.Самара, СНТК им. Н. Д. Кузнецова, 1982. – Разд. 1-5, 1035 с
3. Нагнетатель центробежный НЦ-16-56/1,44. Техническое описание/ г.Казань, ЗАО НИИ «Турбокомпрессор», 1995. – 114 с.
4. Б.П. Поршаков, А.А. Апостолов, В.И. Никишин. Газотурбинные установки: -М: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. –240 с.
5. СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам». – М.:, ОАО «Газпром», 2010 – 7 с.
6. СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-038-2005 «Инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях»: Введ. 15.12.2005. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – 31 с, [электронный ресурс], URL. <https://goo.gl/ji1Uz5> (дата обращения: 05.01.2017).
7. СТО Газпром 2-3.5-039-2005 «Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов»: Введ. 25.10.2005. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – 69 с, [электронный ресурс], URL. <https://goo.gl/k1PFqd> (дата обращения: 05.01.2017).