

ТУРБОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ ГТС УКРАИНЫ

С. А. Кузнецова

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
ОАО «НЭТ»
а/я 17, г. Николаев, Украина, 54030
Контактный тел.: (0512) 37-64-43
E-mail: aootnet@ukr.net

В. И. Избаш

Кандидат технических наук, начальник
Управление эксплуатации и реконструкции компрессорных станций
ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз Украины»
Спуск Кловский, 9/1, г. Киев, Украина, 01021
Контактный тел.: (044) 461-21-76
E-mail: izbash.utg@naftogaz.net

О. С. Кучеренко

Ведущий конструктор
ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект»
пр. Октябрьский, 42а, г. Николаев, Украина, 54018
Контактный тел.: (0512) 49-74-19

Виконана оцінка потреб газокompресорних станцій магістральних газопроводів України в електричних потужностях і розглянуто можливість реалізації цієї потреби за рахунок використання парових і повітряних теплоутилізуючих турбінних установок

Ключові слова: енергозбереження, газокompресорна станція, турбіна

Выполнена оценка потребности газокompресорных станций магистральных газопроводов Украины в электрических мощностях и рассмотрены возможности реализации этой потребности за счет использования паровых и воздушных теплоутилизующих турбинных установок

Ключевые слова: энергосбережение, газокompресорная станция, турбина

The estimation of requirements of gas pumping stations of the Ukrainian gas pipe-line in electrical power is carrying out and possibility of realization of these requirements with use steam and air heat utilization turbine units are presented

Keywords: energy saving, gas pumping station, turbine

Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими заданиями

В настоящее время газокompресорные станции (ГКС) магистральных газопроводов потребляют электроэнергию из магистральной электрической сети. Одновременно в результате эксплуатации газотурбинных газоперекачивающих агрегатов с КПД 0,24-0,30 в окружающую среду выбрасывается значительное количество теплоты с отработавшими газами. Незначительная часть этой теплоты, утилизированная в водогрейных котлах-утилизаторах, используется для отопления помещений и технологических целей на газокompресорных станциях.

В большей мере эта теплота может утилизироваться для выработки электрической энергии на собственные нужды ГКС и поставку ее в магистральную электрическую сеть.

Поэтому выбор энергетических установок, способных эффективно вырабатывать электроэнергию за счет утилизации теплоты газов на выходе из газотурбинных двигателей на газокompресорных станциях является важным научно-техническим заданием.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы

Газотурбинные двигатели с утилизацией теплоты отработавших газов используются в настоящее время в транспортных и стационарных условиях [1, 2, 3, 4]. Утилизация теплоты возможна различными способами в зависимости от теплофизических свойств рабочих тел. Рабочими телами при утилизации теплоты могут быть вода, воздух и низко кипящие жидкости.

Среди большого числа работающих ГКС на магистральных газопроводах всего мира насчитывается до двух десятков газоперекачивающих установок, где установлены паровые теплоутилизующие турбинные установки. Информация об эксплуатации воздушных теплоутилизующих установках на газокompресорных станциях отсутствует. Применение теплоутилизующих установок на н-пентане известно не более чем на десяти ГКС.

Для газотурбинных двигателей в диапазоне мощностей от 6 до 25 МВт достигнутые уровни утилизации теплоты не более 0,3.

Одновременно с решением задач эффективной эксплуатации газотурбинных газоперекачивающих агре-

готов все больше внимание исследователей обращено к проблеме возможности использования низко потенциальной теплоты на ГКС для обеспечения собственных нужд электроэнергией.

Основные результаты исследований сводятся к следующему:

- большинство крупных газоперекачивающих компаний для обеспечения собственных нужд в электроэнергии базируются на стратегии строительства собственных электростанций большой и малой мощности;
- эксплуатация газоперекачивающих агрегатов должна осуществляться с получением максимальной электрической и механической энергий;
- тепловые и вредные выбросы в окружающую среду должны быть максимально снижены при эксплуатации;
- капитальные вложения на эксплуатацию газоперекачивающих агрегатов должны быть минимизированы;
- использование n-пентановых циклов резко ограничивается условиями безопасной эксплуатации.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена данная статья

В приведенных выше результатах отсутствует сравнительная оценка паровых и воздушных теплоутилизирующих турбинных установок, для выработки электроэнергии в условиях газокomppressorных станций и частичной поставки ее в магистральную электрическую сеть.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является обоснование способа утилизации теплоты отработавших газов ГТД для выработки электрической энергии на собственные нужды и поставку ее в магистральную электрическую сеть.

Достижение указанной цели сводится к решению следующих задач:

- оценка потребностей газокomppressorных станций магистральных газопроводов Украины в электрических мощностях;
- сравнительный анализ применения паровых и воздушных теплоутилизирующих турбинных установок с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами;
- определение технико-экономических показателей теплоутилизирующих турбинных установок.

Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов

Оценка потребностей газокomppressorных станций магистральных газопроводов Украины в электрических мощностях

Потребность в электрической энергии газокomppressorными станциями (ГКС) определена на основе

анализа годовых объемов потребления электрической энергии этих (газокomppressorных) станций из магистральных электрических сетей.

Результаты этого анализа представлены на диаграмме рис. 1. На рисунке по оси абсцисс отложены диапазоны необходимых электрических мощностей для станций, а по оси ординат – процентное содержание станций от их общего числа в газотранспортной системе Украины.

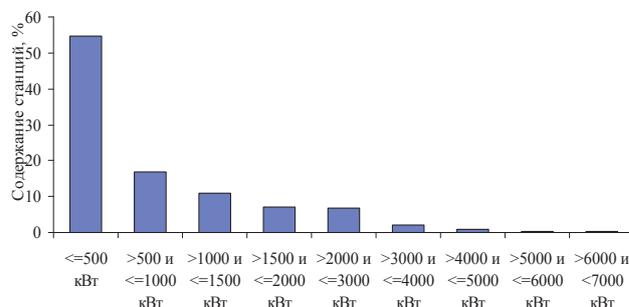


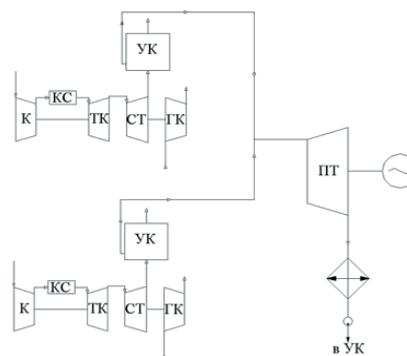
Рис. 1. Диаграмма потребностей газокomppressorных станций Украины в электрической мощности их от общего числа

Приведенные данные свидетельствуют о том: 55% – ГКС потребляют электрические мощности до 500 кВт; 17% ГКС – в диапазоне от 500 до 1000 кВт; 11% ГКС – от 1000 до 1500 кВт; 7% ГКС – от 1500 до 2000 кВт; 7% ГКС – от 2000 до 3000 кВт; 2% ГКС – от 3000 до 4000 кВт; 1% ГКС – от 4000 до 5000 кВт; меньше 1% ГКС – от 5000 до 6000 кВт; меньше 1% ГКС – свыше 6000 кВт.

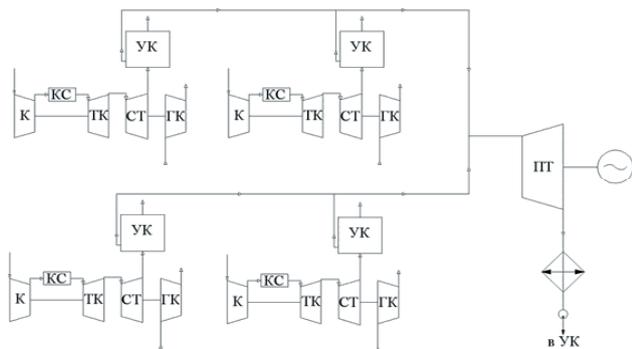
На основании изложенного выше, можно предположить, что мощностной ряд теплоутилизирующих турбинных установок для выработки электроэнергии будет следующим – 1500, 2500, 5000 кВт. При составлении такого ряда учтены собственные потребности газокomppressorных станций и возможность поставки электроэнергии в магистральную электрическую сеть по двум вводам на ГКС.

Сравнительный анализ применения паровых и воздушных теплоутилизирующих турбинных установок с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами

Возможные тепловые схемы паровых и воздушных теплоутилизирующих турбинных установок для производства электрической энергии на ГКС магистральных газопроводов представлены на рис. 2 и 3.



а



б

Рис. 2. Тепловые схемы паровых теплоутилизирующих турбинных установок:

а – с индивидуальной паровой турбиной; б – с общей паровой турбиной:

К – компрессор; КС – камера сгорания; ТК – турбина компрессора; СТ – силовая турбина; ГК – газовый компрессор; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина

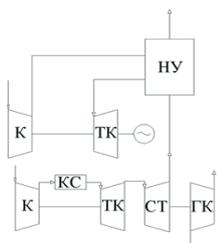


Рис. 3. Тепловая схема воздушной теплоутилизирующей турбинной установки: НУ – нагреватель утилизатор

Для реализации паровых теплоутилизирующих турбинных установок (ПТТУ) на выходе каждого газотурбинного двигателя устанавливается котел-утилизатор (КУ) для генерации водяного пара. Водяной пар, полученный в каждом котле-утилизаторе, может направляться непосредственно на индивидуальную паровую турбину (ПТ) (см. рис. 2а) или после смешения - на одну паровую турбину (см. рис. 2б).

В тепловой схеме воздушной теплоутилизирующей турбинной установки на выходе каждого газотурбинного двигателя устанавливается нагреватель-утилизатор (НУ) сжатого воздуха, который связан с компрессором и турбиной ВТТУ.

Расчет эффективности турбинных теплоутилизирующих установок выполнен на базе ГТД, выпускаемых ГП НПКГ "Зоря"-Машпроект" мощностью от 6 МВт до 25 МВт (см. табл. 1 и 2). При расчетах использованы следующие исходные данные: КПД электрогенераторов – 0,94...0,95; КПД редукторов с числом оборотов выходного вала 3000 об/мин – 0,90...0,91; КПД мультипликаторов с числом оборотов выходного вала 3000 об/мин – 0,95...0,96, эффективность нагревателя-утилизатора – 0,85 [5, 6, 7, 3, 8].

Для сравнения эффективности применения турбинных теплоутилизирующих установок различных тепловых схем используется показатель относительной электрической мощности, определяемый как отношение электрической мощности полученной на электрогенераторе к мощности газотурбинного двигателя.

Таблица 1

Результаты расчетов основных показателей ПТТУ

Наименование	Значение			
	UGT 6000	UGT 10000	UGT 16000	UGT 25000
1. Идентификатор ГТД	UGT 6000	UGT 10000	UGT 16000	UGT 25000
2. Мощность ГТД, кВт	6500	10500	15520	25680
3. КПД ГТД, %	31,5	36,0	30,6	35,6
4. Температура газа на выходе из ГТД, К	703	763	623	758
5. Расход газа на выходе из ГТД, кг/с	31,0	36,0	96,0	87,5
6. Идентификатор УК	КУП 2000	КУП 2000	КУП 7800	КУП 7800
7. Параметры пара на выходе из УК				
$t_p, ^\circ\text{C}$	410	410	350	350
$p_p, \text{МПа}$	2,5	2,5	4,0	4,0
$G_p, \text{т/ч}$	10,4	15,6	18,5	34,7
8. Идентификатор ПТ при работе от одного УК	К-1,5-2,35	К-2,5-2,4	К-3,7-4,2	К-6-1,6
9. Мощность ПТ, кВт	1500	2500	3700	6000
10. Электрическая мощность, кВт	1282	2152	3259	5472
11. Относительная электрическая мощность	0,197	0,205	0,210	0,213
12. Идентификатор ПТ при работе от двух УК	К-3-2,35	К-6-2,35	К-6-3,55	К-12-3,92
13. Мощность ПТ, кВт	3000	6000	6000	12000
14. Электрическая мощность, кВт	2565	5130	5472	10944
15. Относительная электрическая мощность	0,198	0,244	0,176	0,213
16. Идентификатор ПТ при работе от трех УК	К-6-2,35	Т-10/11-5,2/0,2	К-12-3,92	К-15,8-1,4
17. Мощность ПТ, кВт	6000	10000	12000	15800
18. Электрическая мощность, кВт	5130	8550	10944	14410
19. Относительная электрическая мощность	0,26	0,27	0,235	0,187

Результаты исследований показывают, что применение паровых теплоутилизирующих турбинных установок позволяет при утилизации теплоты от одного газотурбинного двигателя дополнительно производить от 1,3 до 5,5 МВт электрической энергии; от двух двигателей одной мощности – до 10,9 МВт - и от трех двигателей одной мощности – до 14,4 МВт.

Таблица 2

Результаты расчетов основных показателей с ВТТУ

Наименование	Значение			
	1	2	3	4
1. Идентификатор ГТД	UGT 16000	UGT 25000	UGT 16000	UGT 25000
2. Мощность ГТД, кВт	15520	25680	15520	25680
3. КПД ГТД, %	30,6	35,6	30,6	35,6
4. Температура газа на выходе из ГТД, К	623	758	623	758
5. Расход газа на выходе из ГТД, кг/с	96,0	87,5	96,0	87,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
6. Тип схемы	Простого цикла		С инжектированием капель воды в компрессор с расходом 2% от расхода воздуха	
7. Мощность воздушных теплоутилизирующих турбинных установок, кВт	1804	4263	2995	5780
8. Электрическая мощность, вырабатываемая установкой с учетом потерь в передачах электрогенераторах, кВт	1542	3645	2561	4942
9. Относительная электрическая мощность	0,099	0,142	0,165	0,192

С изменением мощности газотурбинного двигателя изменяется относительная электрическая мощность. Для газотурбинных двигателей мощностью 6 и 10 МВт эффективнее использовать тепловую схему с одной общей паровой турбиной. Это позволит повысить относительную электрическую мощность, а также применять серийно выпускаемые паровые турбины производства ЗАО "Невский турбинный завод" и ОАО "Калужский турбинный завод".

Для повышения электрической мощности паровой теплоутилизирующей турбинной установки с котлом-утилизатором КУП 7800 в тепловых схемах (рис. 26) требуют дополнительной разработки паровой турбины на большее давление (4 МПа).

Для принятых газотурбинных двигателей выбранной схемы электрическая мощность, вырабатываемая воздушной теплоутилизирующей турбинной установкой, составляет от 1,5 до 3,6 МВт, а относительная электрическая мощность от 0,1 до 0,14. Применение схемы с инжектированием капель воды позволяет при тех же параметрах газов на выходе из газотурбинного двигателя увеличить вырабатываемую воздушной теплоутилизирующей турбинной установкой электрическую мощность до 2,5...4,9 МВт, и соответственно относительную электрическую мощность до 0,16...0,19.

Сравнение эффективностей теплоутилизирующих турбинных установок показывает, что электрические мощности ПТТУ работающих от двух газотурбинных двигателей мощностью 16 или 25 МВт на одну паровую турбину соответственно равны 3,7 или 6 МВт, в то время как для ВТТУ эти максимальные величины составляют 2,5 и 4,9 МВт. Поэтому для принятия решения о выборе способа утилизации теплоты в условиях газоконденсаторной станции для выработки электрической энергии на собственные нужды и поставку ее в магистральную электрическую сеть необходимы дополнительно учитывать технико-экономические, экологические и другие эксплуатационные показатели.

Определение технико-экономических показателей теплоутилизирующих турбинных установок

По укрупненным предварительным расчетом удельные капиталовложения для ПТТУ мощностью до 5000 кВт могут составить 535 у.е. за кВт электроэ-

нергии с учетом срока ввода в эксплуатацию в течении 1 года. Для ВТТУ мощностью до 2500 кВт могут составить 325 у.е. за кВт электроэнергии с учетом срока ввода в эксплуатацию в течении 1,5 года.

Выводы

1. Для удовлетворения потребностей в электрической энергии газоконденсаторными станциями можно предложить теплоутилизирующие турбинные установки мощностью – 1500, 2500, 5000 кВт.

2. Установки мощностью 1500 и 2500 кВт могут быть реализованы как паровые так воздушные теплоутилизирующие турбинные установки, а при 5000 кВт – только паровые.

3. Для выбора теплоутилизирующей турбинной установки, вырабатывающей электрическую энергию на газоконденсаторной станции, необходимо выполнить технико-экономическое обоснование на базе уточненных исходных данных, полученных в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Дикий Н.А., Пятничко А.И., Карп И.Н. Производство электрической энергии по газопаровому циклу на комбинированном угольном и газовом топливе // Экология и ресурсосбережение. – 2006, – №2, С. 3–7.
2. Г.М. Любчик, А. Реграги, М.В. Литвинова, Ю.Р. Реп'ях Перспективи виробництва електричної та теплової енергії на базі газотурбінних та комбінованих на їх основі установок // Енергетика: економіка, технології, екологія, Науковий журнал. – Київ. – 2008, – №2, С. 44–48.
3. О.С. Кучеренко, С.Н. Мовчан, А.А. Филоненко, В.В. Кузнецов, А.П. Шевцов Перспективы создания и применения воздушных турбинных тепло утилизирующих установок // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. – Харьков. – 2008, – №38, С. 89–96.
4. А.А. Тарелин, В.А. Коваль, Е.А. Ковалева Оценка эффективных путей развития отечественных приводных двигателей для газотранспортной системы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009, – №4/4(40), С.4-8.
5. "Зоря"-Машпроект / ГП НПКГ "Зоря"-Машпроект; Под. ред. Ю.Н. Бондина. – Николаев: "Юг"-Информ", 2004. – 120 с.
6. <http://www.tpkred.ru/catalogue/>.
7. <http://www.energomash.org/rus/catalog/multips/>.
8. Performances and application perspectives of air heat recovery turbine units/ V.V. Romanov, S. N. Movchan, V. N. Chobenko, O. S. Kucherenko, V. V. Kuznetsov, A. P. Shevtsov// Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air, GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-23129.