

М. М. Чепурной, к. т. н., доц.; О. В. Куцак; И. Н. Дымнич

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ОТРАБОТАВШИХ В ГПУ ГАЗОВ НА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЯХ

Определены условия создания тепловых электрических станций (ТЭС) с газопаровыми энергоблоками на газоперекачивающих станциях, а также показатели эффективности их работы.

Ключевые слова: газовая турбина, паровая турбина, газопаровая установка, котел-утилизатор.

Введение

В настоящее время перспективность применения газопаровых установок (ГПУ) в теплоэнергетике является общепризнанной [1 – 5]. Создание ГПУ на базе газотурбинных установок (ГТУ) позволяет увеличить выработку электроэнергии, повысить эффективность использования топлива и снизить количество вредных выбросов в атмосферу. В Украине создана необходимая материальная база для внедрения газопаровых технологий в энергетическую отрасль. На энергомашиностроительных предприятиях г. Николаева, Харькова, Запорожья разработаны и серийно изготавливаются ГТУ мощностью от 2,5 до 135 МВт с коэффициентом полезного действия от 0,3 до 0,36, которые позволяют обеспечить необходимую эффективность, небольшие удельные стоимости, эксплуатационные расходы и концентрации вредных выбросов в окружающую среду. Работа современных ГТУ характеризуется достаточно высокими (400 – 500°C) температурами отработавших в газовых турбинах газов. Поэтому использование таких ГТУ в энергетике предусматривает, прежде всего, утилизацию теплоты отработавших в ГТУ газов, при помощи которой достигается значительная экономия рабочего топлива.

Газовая промышленность является одним из наибольших потребителей природного газа, стоимость которого постоянно возрастает. Поэтому вопросам его экономии и рационального использования должно уделяться большое внимание. Сегодня теплота отработанных в ГТУ газов на газоперекачивающих станциях практически не используется [6]. Одним из способов экономии газа с одновременным наращиванием электрической мощности энергосистемы, а также снижение себестоимости транспортировки газа является применение газопаровых установок, которые работают по бинарному циклу. На газоперекачивающих станциях преимущественно работают агрегаты, выпущенные в 80-х годах прошлого столетия, которые теперь меняются на более современные. Характеристики последних приведены в табл. 1. ГПУ на базе газоперекачивающих станций могут быть созданы в случае утилизации теплоты отработавших в ГТУ газов в котлах-утилизаторах (КУ), которые генерируют водяной пар определенного давления $P_{ку}$ и температуры $t_{ку}$. Типы и конструкции КУ приведены в [7].

Таблица 1

Характеристики некоторых ГТУ для газоперекачивающих агрегатов

Показатели	Тип газоперекачивающего аппарата		
	ГПУ-10А	ГПА-Ц-16А	ГПУ-25
Полезная мощность, МВт	10	16	25
Степень повышения давления в компрессоре	17	18,1	21,8
Коэффициент полезного действия			
Температура газов, °С:	0,34	0,34	0,34
перед турбиной	1120	1183	1220
за турбиной	480	480	485

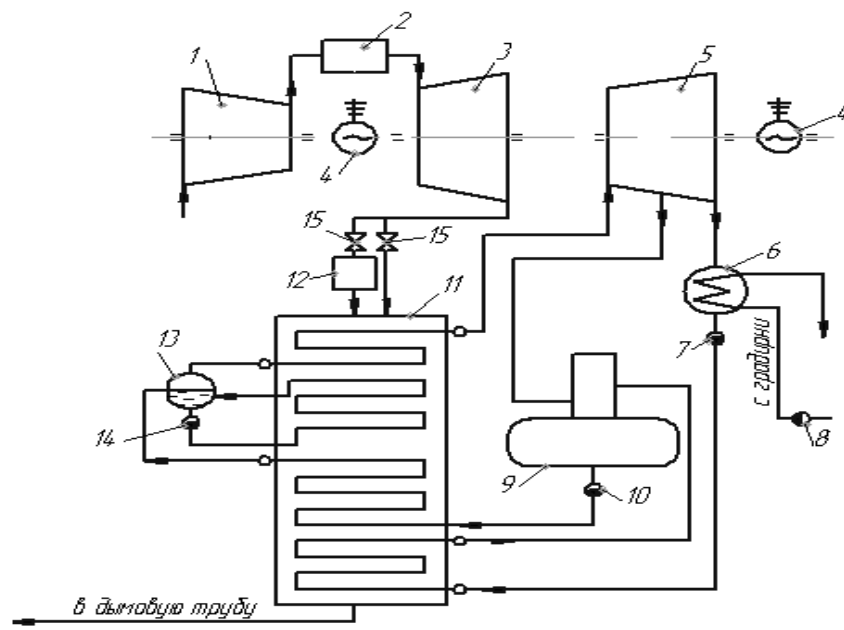


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ГПУ: 1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4 – электрогенератор; 5 – паровая турбина; 6 – конденсатор; 7 – конденсационный насос; 8 – циркуляционный насос; 9 – деаэратор; 10 – питательный насос; 11 – котел-утилизатор; 12 – устройство для дополнительного сжигания топлива; 13 – барабан-сепаратор; 14 – насос рециркуляции; 15 – шиббер

Котел-утилизатор снабжается устройством – блоком для дополнительного сжигания топлива (БДС), при помощи которого в случае необходимости может быть повышена температура отработавших в ГТУ газов на входе в КУ. Дожигание осуществляется без дополнительной подачи воздуха в среду отработавших продуктов сгорания топлива. Последние, как известно, [3 – 6] являются забалластированными продуктами сгорания окислитель, в котором содержится от 13 до 15% кислорода. Такой способ дополнительного сжигания газообразных топлив существенно уменьшает образование оксидов азота [8].

Произведенный в КУ водяной пар поступает в паровую турбину, где расширяется до конечного давления P_k , совершая механическую работу вращения вала с электрогенератором. Отработанный в турбине пар направляется в конденсатор, где конденсируется и конденсатным насосом перекачивается в котел-утилизатор. Таким образом, на базе ГТУ с котлом-утилизатором создается комбинированная газопаровая установка с бинарным (газовым и паровым) циклом, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

В этой работе ставилась задача определения показателей работы ГПУ, созданных на основе ГТУ, которые используются на газоперекачивающих станциях и характеристики которых приведены в табл. 1.

Основные результаты

Для утилизации теплоты отработавших в ГТУ газов и генерации водяного пара выбран котел-утилизатор типа КГТ-50/39-50, который генерирует перегретый пар с параметрами: $P_{ку} = 3,9$ МПа, $t_{ку} = 440$ °С. Паротурбинным приводом электрогенератора выбрана турбина К-11-10 П электрической мощностью 12 МВт. Параметры пара перед турбиной равны: $P_0 = 3,5$ МПа, $t_0 = 435$ °С. Система технического водоснабжения – обратная с градирней. Конечное давление пара на входе в конденсатор составляет 5 кПа. Деаэрация питательной воды осуществляется в деаэраторе атмосферного давления, который запитан паром из отбора турбины с давлением 0,12 МПа. Для обеспечения рекомендованной разности температур между теплоносителями [7] температура газов на входе в котел-утилизатор из БДС

составляла 540°C, а на выходе из КУ – 133°C. Понятно, что для достижения температуры 540°C необходимо сжигать дополнительно рабочего топлива B_{δ} в БДС, или определенную долю $\delta = B_{\delta} / B_{\text{зту}}$, где $B_{\text{зту}}$ – расход топлива на ГТУ. Величина B_{δ} определялась из балансового уравнения БДС.

$$G_{\text{ог}} \cdot h_{\text{ог}} + B_{\delta} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} = (B_{\delta} + G_{\text{ог}}) \cdot h'_{\text{ку}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{ог}}$ – расход отработавших в ГТУ газов; $h_{\text{ог}}$ и $h'_{\text{ку}}$ – энтальпия отработавших в ГТУ газов и продуктов сгорания после БДС (на входе в котел-утилизатор), соответственно; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания рабочего топлива.

Правая часть (1) представляет собой тепловую мощность продуктов сгорания на входе в КУ $Q'_{\text{ку}}$. Тепловая мощность, утилизированная в КУ (мощность котла-утилизатора) будет равна

$$Q_{\text{ут}} = Q'_{\text{ку}} \cdot \psi, \quad (2)$$

где $\psi = (t'_{\text{ку}} - t''_{\text{ку}}) / (t'_{\text{ку}} - t_{\text{ок}})$; $t'_{\text{ку}}$ и $t''_{\text{ку}}$ – температура газов на входе в КУ и на выходе из него, соответственно; $t_{\text{ок}}$ – температура окружающего воздуха, которая по международным правилам ISO-23-14 равна 15 °C.

Топливо – природный газ с теплотой сгорания 33,4 МДж/м³. Методика расчетов ГПУ без дополнительного сжигания топлива и с дополнительным сжиганием топлива в БДС приведена в [3]. Результаты расчетов ГПУ для выбранных типов ГТУ, котла-утилизатора и паровой турбины сведены в табл. 2. Расчеты выбросов оксидов азота и двуокиси углерода выполнены по методикам [9, 10].

Таблица 2

Показатели работы газопаровых установок

Показатели	Тип ГТУ		
	ГПУ-10А	ГПА-Ц-16А	ГПУ-25
Расход рабочего топлива на ГТУ, м ³ /с	1,00	1,608	2,44
Расход отработавших в ГТУ газов, кг/с	36,91	57,5	82,1
Мощность отработавших в ГТУ газов, МВт	19,41	31,06	46,428
Дополнительный расход рабочего топлива в БДС, м ³ /с	0,128	0,182	0,211
Доля дополнительного расхода топлива (δ)	0,128	0,114	0,0866
Общий расход рабочего топлива в ГПУ, м ³ /с	1,128	1,788	2,651
Общий расход условного топлива в ГПУ, кг/с	1,285	2,038	3,02
Мощность газов на входе в котел-утилизатор, МВт	23,578	36,738	52,444
Коэффициент утилизации теплоты продуктов сгорания (ψ)	0,775	0,775	0,775
Тепловая мощность котла-утилизатора, МВт	18,36	28,61	40,80
Расход пара в КУ, т/час	23,04	35,82	46,8
Электрическая мощность паротурбинной установки (ПТУ), МВт	5,9	9,1	12,9
КПД ПТУ			
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии в ГПУ, кг/(кВт·час)	0,34	0,34	0,34
КПД ПТУ	0,291	0,292	0,285
Приращение КПД относительно КПД ПТУ, %			
Годовая экономия условного топлива, т	0,4226	0,4212	0,4315
Годовая экономия кислорода, т	8,26	8,12	9,15
Годовое снижение выбросов оксидов азота, т	10145	16510	25240
Годовое снижение выбросов парникового газа, т	13695	22230	33932
	2205	3588	5486
	925,1	1485,9	2271,6

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение тепловых электрических станций (ТЭС) с газопаровыми установками, созданными на базе газоперекачивающих аппаратов с газотурбинными приводами, вполне целесообразно. Такие ТЭС позволяют

генерировать значительные электрические мощности с коэффициентом полезного действия, которые более чем на 8 – 9% превышают КПД тепловых электростанций. На газоперекачивающих станциях, как правило, установлено три (два рабочих и один резервный) газоперекачивающих аппарата с приводом от газовой турбины. Тогда на ТЭС с двумя агрегатами ГПА-10А можно вырабатывать 11,8 МВт электрической мощности; на ТЭС с агрегатами ГПА-16А – 18,2 МВт, а на ТЭС с агрегатами ГПУ-25 – 24 МВт. При этом доля дополнительного сжигания топлива не превышает 0,13, что в соответствии с [3], соответствует её оптимальным значениям. Увеличение коэффициентов полезного действия ГПУ по сравнению с КПД тепловых электростанций обуславливает существенную экономию условного топлива, что, в свою очередь, уменьшает выбросы оксидов азота и двуокиси углерода в атмосферу. Отметим также, что наращивание электрогенерирующих мощностей в энергосистеме не только в какой-то мере решает проблему дефицита маневренных мощностей и электроэнергии в регионе, но и улучшает надежность электроснабжения, поскольку производство электроэнергии осуществляется по месту потребления и не связано со значительными потерями в процессе ее транспортировки по линиям электропередачи.

Выводы

1. Создание тепловых электростанций с газопаровыми установками легко реализуется на базе энергооборудования, которое серийно выпускается и эксплуатируется.
2. Применение газопаровых установок на газоперекачивающих станциях позволяет увеличить маневренные энергогенерирующие мощности в энергосистеме.
3. Использование теплоты отработавших в газотурбинных установках продуктов сгорания топлива повышает эффективность его использования, обуславливает его экономию и уменьшение вредных выбросов в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панасовский О. Г. Программа сохранения и развития энергетики Украины путем объединения парового и газотурбинного циклов / О. Г. Панасовский, Г. И. Кубишко // Энергетика и электрификация, 1997. - № 5. - С. 8 – 12.
2. Ермолаев В. Некоторые аспекты применения ГТУ средней мощности в газопаровых установках утилизационного типа / В. Ермолаев, Ю. Русецкий, О. Шварцман // Газопаровые технологии, 2003. - № 4. - С. 10 – 13.
3. Рейсиг В. А. Энергетические характеристики парогазовых установок с котлами-утилизаторами / В. А. Рейсиг, М. Н. Чепурной, В. В. Бужинский // Пром. Теплотехника, 2003. – Т. 25. - № 1. – С. 61 – 64.
4. Иванов А. П. Энергетические возможности надстройки энергоблоков газотурбинными установками / А. П. Иванов, В. А. Клевцев, А. В. Корячин // Энергосбережение и водоподготовка, 2005. – № 3. – С. 43 – 45.
5. Чепурной М. Н. Эффективность применения ГТУ-ТЭС / М. Н. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение. – 2006. – № 10. – С. 24 – 26.
6. Парфейник В. П. Термодинамическая эффективность газоперекачивающих аппаратов с газотурбинными приводами / В. П. Парфейник, В. И. Еванко // Пром. Теплотехника, 2002. – Т. 22. - № 1. – С. 31 – 36.
7. Резник Н. И. Котлы-утилизаторы АОА «Красный котельщик» для парогазовых и газотурбинных установок / Н. И. Резник, В. В. Иваненко // Теплоэнергетика, 2003. – № 11. – С. 51 – 53.
8. Морозов О. В. Образование оксидов азота при сжигании газа в среде забалластированного окислителя / О. В. Морозов, А. Д. Горбатенко // Теплоэнергетика, 1996. – № 4. – С. 2 – 11.
9. Безгрешнов А. Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах / А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липов, Б. М. Шлейфер. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 238 с.
10. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

Чепурной Марк Николаевич – к. т. н., доцент, профессор кафедры теплоэнергетики;

Куцак Ольга Владимировна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Дымнич Илона Николаевна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения. Винницкий национальный технический университет.