

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

Определены основные показатели работы газотурбинных теплоэлектроцентралей. Проведено сравнение эффективности работы ГТУ-ТЭЦ с эффективностью работы отопительных котельных одинаковой тепловой мощности.

Ключевые слова: газотурбинная установка; теплоэлектроцентраль; регенеративный подогреватель; водогрейный котел.

Введение

Комбинированное производство тепловой и электрической энергии (когенерация) предложено еще в начале прошлого столетия и реализовано путем строительства промышленных паротурбинных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Когенерация является перспективной технологией, позволяющей уменьшить расход топлива в энергосистеме и улучшить экологическую обстановку. Она нашла отображение на законодательном уровне [1].

На территории Украины расположено много промышленных ТЭЦ. Однако на сегодняшний день сложилась ситуация, когда уменьшение потребления технологического пара не позволяет достигать проектных тепловых и электрических мощностей. Общеизвестным является тот факт, что более 90% теплоэнергетического оборудования на существующих паротурбинных электростанциях давно исчерпало нормативный ресурс работы. Однако дальнейший подъем экономики страны требует наращивания электрических мощностей. Развитая система централизованного теплоснабжения базируется, преимущественно, на использовании отопительных котельных.

За последние десятилетия стала развиваться газотурбинная технология. Современные газотурбинные установки (ГТУ) отечественного производства имеют коэффициент полезного действия (КПД) не ниже, чем КПД паротурбинных установок. Газотурбинные теплоэлектроцентрали (ГТУ-ТЭЦ) позволяют вырабатывать значительную долю электроэнергии на базе теплового снабжения, которая является одной из составляющих общей проблемы энергосбережения и повысить эффективность использования топлива [2 – 4]. Простейшая схема ГТУ-ТЭЦ состоит из газотурбинной установки и котла-утилизатора теплоты отработанных в ГТУ газов, который выполняет роль газового подогревателя сетевой воды в системе теплофикации.

Специфика работы системы теплофикации заключается в резком изменении сезонных тепловых нагрузок. В отопительный период работы ТЭЦ теплота расходуется на отопление и горячее водоснабжение. При этом ГТУ работает с номинальной нагрузкой. В межотопительный период мощность системы горячего водоснабжения составляет лишь 0,2 – 0,3 тепловой нагрузки отопительного периода. В это время ГТУ будет работать значительно недогружено, что резко уменьшает ее эффективность и приводит к значительному перерасходу топлива. Эта проблема, кстати, касается и работы отопительных котельных.

В связи с вышеизложенным предлагается схема ГТУ-ТЭЦ с регенеративным подогревом воздуха в межотопительный период (рис. 1), что позволяет при помощи регенеративного подогревателя воздуха работать на протяжении года с номинальной нагрузкой. Поэтому ставится задача определить основные показатели работы ГТУ-ТЭЦ, работающей по предложенной тепловой схеме, а также сравнить эффективность ее работы с

эффективностью работы отопительных котельных при условии одинаковых тепловых мощностей.

Основные результаты

Принцип действия предлагаемой ГТУ-ТЭЦ (рис. 1).

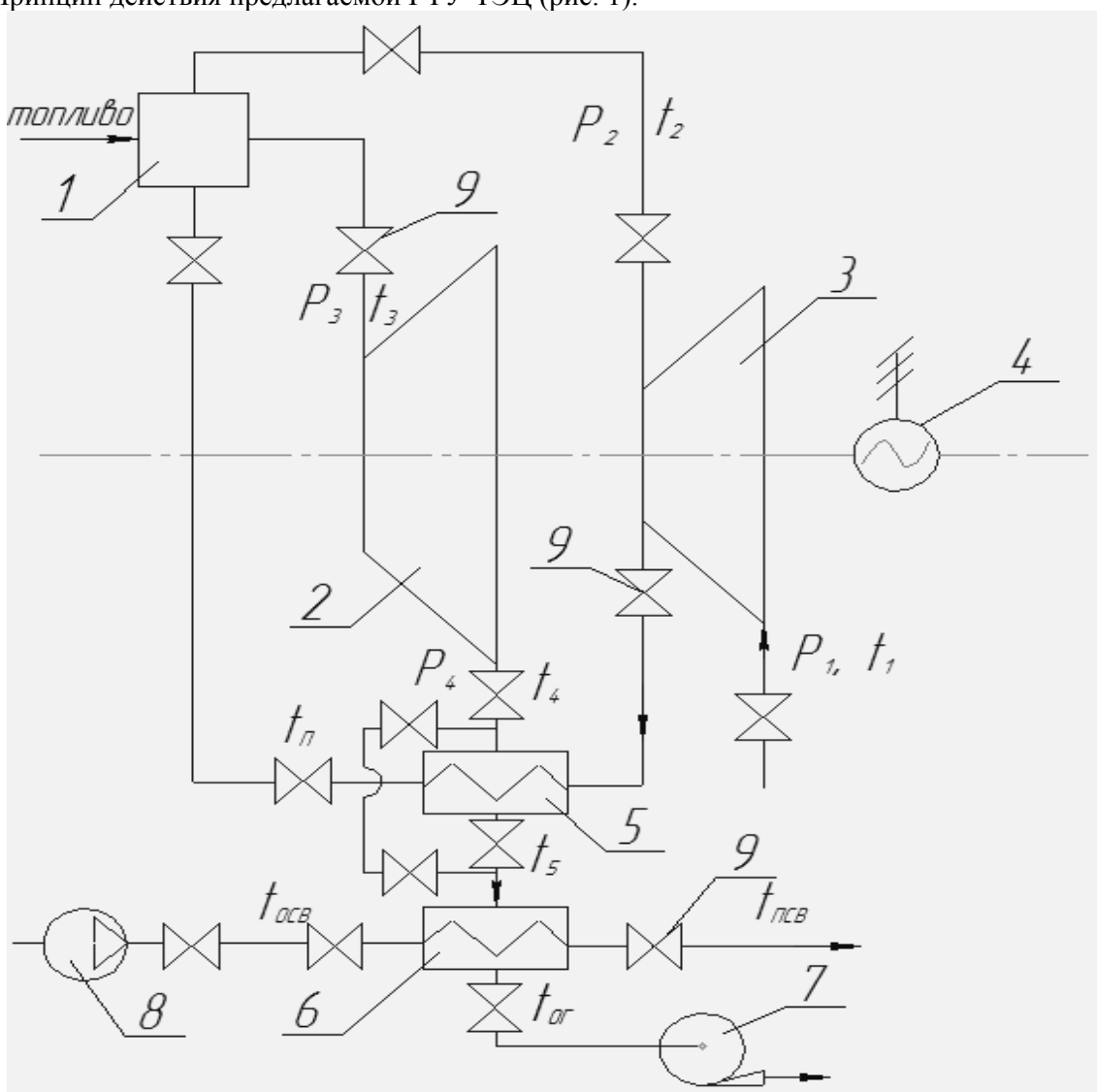


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ГТУ-ТЭЦ с регенерацией теплоты: 1 – камера сгорания; 2 – газовая турбина; 3 – компрессор; 4 – электрогенератор; 5 – регенеративный подогреватель воздуха; 6 – подогреватель сетевой воды; 7 – дымосос; 8 – сетевой насос; 9 – запорная арматура.

В отопительный период компрессор ГТУ (3) сжимает атмосферный воздух с температурой t_1 , вследствие чего его давление и температура увеличиваются до значений P_2 и t_2 , соответственно. Сжатый воздух направляется в камеру сгорания (1), куда также поступает рабочее топливо. Продукты сгорания (дымовые газы) с параметрами P_3 и t_3 поступают в газовую турбину (2), где расширяются до параметров P_4 , t_4 , выполняя механическую работу вращения вала, которая в электрогенераторе (4) превращается в электрическую энергию. Отработанные в ГТУ газы с температурой t_4 поступают в подогреватель сетевой воды (6), где, охлаждаясь до температуры $t_{ог}$, подогревают сетевую воду системы теплофикации от температуры $t_{осв}$ до температуры $t_{псв}$. Отходящие газы дымососом (7) удаляют в дымовую трубу.

В межотопительный период сжатый компрессором воздух направляется сначала в

регенеративный подогреватель (5), где подогревается до температуры t_n , а затем поступает в камеру сгорания (1). Дымовые газы с температурой t_4 направляются в регенеративный подогреватель (5), где охлаждаются до температуры t_5 . Далее они направляются в сетевой подогреватель (6), где подогревают воду, которая идет на горячее водоснабжение.

Вариантные расчеты тепловых схем выполнялись для ГТУ различных мощностей отечественного производства, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ГТУ

Показатели	Тип ГТУ/номер варианта				
	ГТД-6001	ГТУ-9,5	ГТД-16	ГТД-25	ГТД-60
	1	2	3	4	5
Электрическая мощность, МВт	6,7	8,8	17	27,5	60
Мера повышения давления в компрессоре	16,6	21,7	17,8	21,8	15
Температура газов, °С: перед турбиной, за турбиной.	1000 415	1120 480	1000 420	1250 490	1170 490
Коэффициент полезного действия	0,315	0,32	0,35	0,36	0,34

Расчеты выполнялись для условий: топливно-природный газ с теплотой сгорания 33,4 МДж/кг³; цена топлива – 1400 грн. за 1000 м³; цена отпущенной и потребляемой электроэнергии – 400 и 700 грн. за 1 МВт·час, соответственно; цена отпущенной теплоты – 220 грн. за 1 МВт·час; продолжительность отопительного и межотопительного периодов – 4500 и 3500 час. соответственно; доля мощности горячего водоснабжения от общей мощности теплофикации – 0,27; температурный режим работы тепловой сети в отопительный и межотопительный период – 120/60°С и 80/40°С соответственно; температура отходящих газов – 130°С. Расчеты выполнялись по методикам, изложенным в [5]. Температура газов за подогревателем (6) определялась из теплового баланса подогревателя. Температура подогретого воздуха t_n выбиралась с учетом обеспечения температурного напора ($\Delta t=70^\circ\text{C}$) на выходе газов из подогревателя (5). Расчетные показатели работы ГТУ-ТЭЦ для вариантов, показанных в табл. 1, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели работы ГТУ-ТЭЦ по периодам

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Отопительный период					
Расход рабочего топлива, тис. м ³	10316,16	13337,46	23554,03	37049,43	85584,61
Затраты на топливо, млн. грн.	11,716	18,672	32,976	51,869	119,818
Мощность системы теплофикации, МВт	10,385	14,08	22,61	37,04	88,21
Отпущенная теплота, ГВт·час	46,7325	63,36	101,745	166,68	396,90
Выручка за теплоту, млн. грн.	10,281	13,939	22,384	36,669	87,318
Электроэнергия собственных нужд, МВт	0,2692	0,319	0,649	0,8068	1,745
Отпущенная электроэнергия, ГВт·час	28,938	38,164	73,539	120,119	262,147
Выручка за электроэнергию, млн. грн.	11,575	15,265	29,415	48,047	104,858
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	10,146	10,536	18,823	32,847	72,358

Продолжение табл. 2

Межотопительный период					
Мощность системы горячего водоснабжения, МВт	2,8	3,8	6,1	10	23,8
Подогрев воздуха в подогревателе, °С	60	65	60	70	70
Коэффициент полезного действия ГТУ	0,35	0,355	0,386	0,395	0,375
Расход рабочего топлива, тис. м ³	7219,8	92,61	16608	26,129	60303,6
Затраты на топливо, млн. грн.	10,11	12,964	23,249	36,575	84,042
Отпущенная теплота, ГВт·час	9,8	13,3	21,35	35,0	83,3
Выручка за теплоту, млн. грн.	2,156	2,926	4,697	7,7	18,326
Электрическая мощность собственных нужд, МВт	0,224	0,255	0,5	0,646	1,538
Отпущенная электроэнергия, ГВт·час	22,664	29,908	57,750	93,989	204,617
Выручка за электроэнергию, млн. грн.	9,065	11,632	23,1	37,595	81,846
Разница между выручками и затратами, млн. грн.	1,111	1,594	4,548	8,72	16,3
Годовая разница между выручкой и затратами млн. грн.	11,257	12,126	23,371	41,567	88,658

Из табл. 2 видно, что, благодаря применению регенерации теплоты в межотопительный период, коэффициент полезного действия ГТУ повышается на 3,5%. Вместе с тем экономность работы ГТУ-ТЭЦ в этот период ухудшается вследствие меньшего производства тепловой энергии и соответственно выручки за нее. В отопительный период работы ГТУ-ТЭЦ выручка за отпущенную электроэнергию превышает выручку за теплоту, что объясняется значительно большей стоимостью электроэнергии по сравнению со стоимостью теплоты. В целом более экономно работают ГТУ с более высокими значениями КПД и с большей электрической мощностью.

Сравним показатели работы ГТУ-ТЭЦ с показателями работы отопительной котельной с одинаковой тепловой мощностью. Для примера приведем значения основных показателей работы котельной с котлом ПТВМ-20 для отопительного периода, тепловая мощность которого равна тепловой мощности ГТУ-ТЭЦ с газовой турбиной ГТД-16 (вариант 3 в табл. 2). В процессе расчетов определялась электрическая мощность собственных нужд котельной (вентилятора, дымососа котла, сетевого насоса и вспомогательных насосов). Коэффициент полезного действия котла равен 0,91. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели работы котельной

Показатели	Числовые значения
Тепловая мощность, МВт	22,61
Расход рабочего топлива, тис. м ³	11985,275
Затраты на топливо, млн. грн.	16,779
Отпущенная теплота, ГВт·час	101,745
Выручка за теплоту, млн. грн.	22,384
Электрическая мощность собственных нужд, МВт	0,308
Потребляемая электроэнергия, ГВт·час	1,386
Затраты на электроэнергию, млн. грн.	0,9702
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	4,6348

Сравнивая показатели работы отопительной котельной и ГТУ-ТЭЦ с тепловой мощностью 22,61 МВт, видим, что разница между выручкой и затратами в котельной в четыре раза меньше, чем в ГТУ-ТЭЦ. Это обусловлено тем, что в ГТУ-ТЭЦ выручка за

отпущенную электроэнергию соразмерна с затратами на топливо. Для того, чтобы достичь подобной экономности работы котельной, цену за отпущенную теплоту необходимо поднять почти в два раза. Следовательно, в условиях существенного повышения цен на энергетическое топливо и электроэнергию, работа ГТУ-ТЭЦ становится значительно экономнее, чем работа отопительных котельных. Отметим также, что применение ГТУ-ТЭЦ улучшает надежность электроснабжения в регионе, не связано с потерями электроэнергии в электролиниях и способствует уменьшению дефицита электрорегулирующих мощностей в энергосистеме.

Выводы

1. Применение регенерации теплоты отработанных в ГТУ газов в межотопительный период работы позволяет повысить коэффициенты полезного действия ГТУ и осуществлять работу ГТУ-ТЭЦ с полной электрической нагрузкой.

2. В условиях существенного повышения цен на энергетическое топливо и электроэнергию работа ГТУ-ТЭЦ становится значительно экономнее работы отопительных котельных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. – 2005. – № 20. – С. 278 – 285.

2. Долінський А. А. Когенерація – нові потужності для енергетики / А. А. Долінський, В. Н. Кліменко // Енергозбереження Поділля. – 2004. – № 2. – С. 53 – 59.

Жарков С. В. О перспективах оборудования отопительных ТЭЦ в России / С. В. Жарков // Газотурбинные технологии. – 2007. – № 2. – С. 12 – 17.

4. Чепурной М. Н. Эффективность применения ГТУ-ТЭС / М. Н. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение. – 2006. – № 10. – С. 24 – 26.

5. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ. – 2009. – 114 с.

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

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

Винницкий национальный технический университет.