

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

ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ НА БАЗЕ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Определены основные показатели работы отопительной котельной и ГТУ-ТЭЦ, созданной на базе этой котельной. Проведено сравнение показателей работы котельной и ГТУ-ТЭЦ.

Ключевые слова: газовая турбина, газотурбинная установка, водогрейный котел, котел-утилизатор.

Введение

Вопросом энергосбережения в процессах производства электроэнергии и теплоты стали уделять должное внимание, а экономия топливных ресурсов приобрела приоритетное значение, что нашло отражение на законодательном уровне [1]. Это объясняется как значительным подорожанием топлива, так и низкой эффективностью его использования. Всё вышеотмеченное обуславливает импорт около 50 % необходимого топлива, преимущественно, природного газа.

Решение накопленных проблем возможно лишь в случае применения новых технологий в процессах энергоснабжения. По статическим данным, на потребности теплоснабжения расходуется около 95 млн. тонн условного топлива и только 35 тонн – на производство электроэнергии. В связи с этим становится очевидным, что основное внимание в решении проблемы повышения эффективности использования топливных ресурсов необходимо уделять сектору теплоснабжения.

Наиболее перспективным способом энергосбережения является комбинированное производство электроэнергии и теплоты. На сегодняшний день все большее внимание акцентируется на использование газотурбинных установок (ГТУ). На Украине создана необходимая материальная база ГТУ с мощностями 2,5 – 135 МВт, коэффициенты полезного действия (КПД) которых составляют 0,32 – 0,36. Современные типоразмеры ГТУ предусматривают работу как на газообразном, так и на жидком топливе.

Создание газотурбинных теплоэлектроцентралей (ГТУ-ТЭЦ) на базе отопительных котельных не только повышает надежность электроснабжения в данном регионе, но избавляет от необходимости оплачивать потери электроэнергии в электросетях. Кроме того, создание ГТУ-ТЭЦ содействует уменьшению дефицита резервных регулировочных мощностей в энергосистемах. Автономные ГТУ-ТЭЦ комплектуются несколькими модулями. Оборудование ГТУ-ТЭЦ имеет небольшие габаритные размеры, а его монтаж производится без значительных финансовых и трудовых затрат. В большинстве случаев обеспечивается дистанционное управление работой энергетического оборудования, а также программирование режимов работы в какой-либо период. Опыт эксплуатации ГТУ подтвердил, что их работа отличается простотой управления, низкой себестоимостью выработанной электроэнергии [2 – 6].

Особенностью комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на ГТУ-ТЭЦ является то, что производство определенной тепловой мощности Q тесно связано с производством электрической мощности N . При этом повышение КПД газотурбинной установки при условии $N=\text{const}$ приводит к уменьшению тепловой мощности. Условия работы водогрейных котлов отличаются значительными диспропорциями тепловой нагрузки в отопительный и межотопительный периоды работы. Эффективность работы ГТУ достигается в случае её номинальной загрузки. В связи с этим целесообразным вариантом

создания ГТУ-ТЭЦ является случай, при котором ГТУ работает с полной электрической мощностью круглогодично и обеспечивает постоянную мощность горячего водоснабжения от котла-утилизатора.

Принимая во внимание вышеизложенное, ставилась задача определить показатели работы ГТУ-ТЭЦ для описанного варианта.

Основные результаты

Принципиальная тепловая схема ГТУ-ТЭЦ, созданной на базе водогрейной котельной, показана на рис. 1. Система теплоснабжения двухтрубная закрытого типа. Расчетная температура прямой и обратной сетевой воды выбрана равной 120°C и 60°C соответственно. Газотурбинная надстройка котельной включает компрессор (11), камеру сгорания (12), газовую турбину (13), электрогенератор (14) и котел-утилизатор (15). Рассматривалась двухсезонная работа ГТУ-ТЭЦ. В отопительный период работали водогрейные котлы и ГТУ. В межотопительный период работала только ГТУ с котлом-утилизатором. Через котел-утилизатор (15) насосом (9) прокачивается обратная сетевая вода, которая подогревается от 60° до 120°C и направляется в линию прямой сетевой воды. Эта вода в подогревателе (8) подогревает водопроводную воду, которой снабжаются потребители горячей воды. Срок отопительного и межотопительного периода составлял 4500 и 3700 часов, соответственно. Топливо – природный газ с теплотой сгорания $Q_n^p = 33,4 \text{ МДж/м}^3$ и стоимостью 1400 грн. за 1000 м^3 . Стоимость потребляемой и отпущенной электроэнергии 700 грн. и 450 грн. за МВт·час соответственно. Стоимость отпущенной теплоты 300 грн. за 1 МВт·час. Электрическая мощность собственных нужд котельной и ГТУ-ТЭЦ определялась по методике, изложенной в [7].

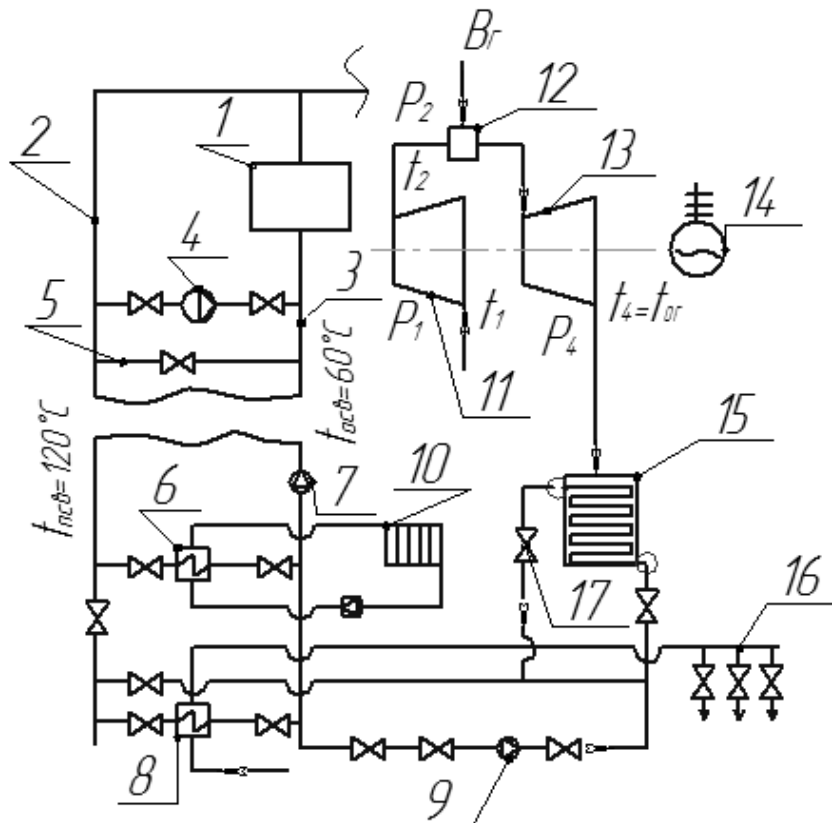


Рис. 1. Принципиальная схема котельной ГТУ-ТЭЦ с закрытой системой теплоснабжения:

- 1 – водогрейный котел; 2 – магистраль прямой сетевой воды; 3 – линия обратной сетевой воды; 4 – насос рециркуляции; 5 – линия перетока; 6 – сетевой подогреватель системы отопления; 7 – сетевой насос;
- 8 – подогреватель воды системы горячего водоснабжения; 9 – насос; 10 – потребители системы отопления;
- 11 – компрессор ГТУ; 12 – камера сгорания; 13 – газовая турбина; 14 – электрогенератор; 15 – котел-утилизатор; 16 – потребители горячей воды; 17 – запорная арматура

В качестве примера сравним показатели работы водогрейной котельной и ГТУ-ТЭЦ с тепловой мощностью $Q_{тф} = 48$ МВт. При этом отопительная мощность составляет $Q_{от} = 35$ МВт, а мощность горячего водоснабжения составляет $Q_{свс} = 13$ МВт. В котельной установлены типовые водогрейные котлы ПТВМ-30 с номинальной мощностью $Q_n = 34,7$ МВт и коэффициентом полезного действия $\eta_k = 0,915$. В отопительный период работы котельной должны работать два котла с коэффициентом загрузки $k_z = Q_{тф} / (2 \cdot Q_k) = 48 / (2 \cdot 34,7) = 0,69$. В этом случае ККД котлов снижается и составляет 0,89.

В межотопительный период работает один котел с коэффициентом загрузки $k_z = Q_{гвп} / Q_k = 13 / 34,7 = 0,37$. При этом КПД котла значительно уменьшается и равен лишь 0,7. Показатели работы котельной рассчитывались по [7], а их значения сведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели работы водогрейной котельной

Показатели	Числовые значения
Отопительный период	
Расход рабочего топлива, тис. м ³	25868,262
Затраты на топливо, млн. грн.	36,215
Электрическая мощность собственных нужд, МВт	1,82
Потребленная электроэнергия, МВт·час	8190
Затраты на электроэнергию, млн. грн.	5,733
Затраты на электроносители, млн. грн.	41,948
Отпущенная тепловая энергия, МВт·час	216000
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	64,8
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	22,852
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	37,92
Межотопительный период	
Расход рабочего топлива, тис. м ³	7512,48
Затраты на топливо, млн. грн.	10,517
Электрическая мощность собственных нужд, МВт	0,77
Потребленная электроэнергия, МВт·час	2849
Затраты на электроэнергию, млн. грн.	1,994
Затраты на электроносители, млн. грн.	12,511
Отпущенная тепловая энергия, МВт·час	48100
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	14,432
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	1,921
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	49
Годовой период работы	
Затраты на топливо, млн. грн.	46,732
Затраты на потребление электроэнергии, млн. грн.	7,727
Затраты на электроносители, млн. грн.	54,459
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	79,232
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	24,773
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	42,9

Из табл. 1 видно, насколько эффективнее работает котельная в отопительный период. Это объясняется как меньшим сроком работы котельной в межотопительный период, так и относительным увеличением расхода топлива на котел, что обусловлено существенным снижением КПД котла вследствие его неполной загрузки.

Для создания ГТУ-ТЭЦ необходимо подобрать типоразмер газовой турбины при условии, что мощность котла-утилизатора должна быть равна мощности горячего водоснабжения,

т. е. $Q_{ку} = Q_{звс}$. Ориентировочно (с дальнейшим уточнением) выбираем газотурбинную установку типа ГПУ-10-А с характеристиками: электрическая мощность $N_g = 10$ МВт; температура газов за турбиной $t_4 = 450^\circ\text{C}$; коэффициент полезного действия $\eta_r = 0,35$. В соответствии с [7] определяем.

Расход рабочего топлива на турбину, $\text{м}^3 / \text{с}$

$$B_z = N_g / (\eta_z \cdot Q_n^p) = 10 / (0,35 \cdot 33,4) = 0,8554. \quad (1)$$

Мощность отработавших в ГТУ газов, МВт

$$Q_{oz} = (1 - \eta_z) \cdot N_g / \eta_z = (1 - 0,35) \cdot 10 / 0,35 = 18,5714. \quad (2)$$

Температуру газов за котлом-утилизатором принимаем на 85°C больше температуры обратной сетевой воды, т. е. $t_{кв} = 60^0 + 85^0 = 145^0\text{C}$.

Коэффициент утилизации теплоты газов в котле утилизаторов

$$\psi = (t_4 - t_{кв}) / (t_4 - t_{oc}) = (450 - 145) / (450 - 15) = 0,7014, \quad (3)$$

где t_{oc} – температура окружающей среды, которая по международным правилам составляет 15°C .

Тепловая мощность котла-утилизатора, МВт

$$Q_{ку} = Q_{oz} \cdot \psi = 18,5714 \cdot 0,7014 = 13,02. \quad (4)$$

Поскольку мощность котла-утилизатора равна мощности горячего водоснабжения, то выбранный тип ГТУ вполне подходит для создания ГТУ-ТЭЦ на базе водогрейной котельной, а в дальнейших уточнениях нет необходимости.

Таким образом, мощность системы горячего водоснабжения в отопительный и межотопительный периоды работы ГТУ-ТЭЦ обеспечивается котлом-утилизатором выбранной газотурбинной установки. В отопительный период покрытие мощности теплофикации в 48 МВт обеспечивается работой одного котла ПТВМ-30, работающего с номинальной нагрузкой, и работой ГТУ-10-А с котлом-утилизатором. Показатели работы ГТУ-ТЭЦ сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели работы ГТУ-ТЭЦ

Показатели	Числовые значения
Отопительный период	
Расход рабочего топлива, тис. м ³	32410
Затраты на топливо, млн. грн.	45,374
Отпущенная тепловая энергия, МВт·час	36810
Выручка за электроэнергию, млн. грн.	16,564
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	64,8
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	35,99
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	39,2
Межотопительный период	
Расход рабочего топлива, тис. м ³	13834,8
Затраты на топливо, млн. грн.	19,368
Отпущенная тепловая энергия, МВт·час	34151
Выручка за электроэнергию, млн. грн.	15,368
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	14,432
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	10,432
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	42,32
Годовой период работы	
Затраты на топливо, млн. грн.	67,742
Выручка за электроэнергию, млн. грн.	31,932
Выручка за отпущенную теплоту, млн. грн.	79,232
Разница между выручкой и затратами, млн. грн.	43,422
Удельный расход условного топлива на производство единицы энергии, кг/ГДж	40,6

Сравнивая данные, приведенные в таблицах 1 и 2, видим, что величина годового удельного расхода условного топлива на выработку единицы энергии в ГТУ-ТЭЦ на 5,66 % меньше, чем отопительной котельной. Об экономической целесообразности создания ГТУ-ТЭЦ свидетельствует и годовая разница между выручкой за энергоносители и расходами на топливо, которая на ГТУ-ТЭЦ в 1,75 раза больше, чем в котельной. Особенно это касается межотопительного периода, где она в пять раз больше. Заметим также, что создание ГТУ-ТЭЦ на базе отопительных котельных не только в какой-то мере решает проблему дефицита электроэнергии в данном регионе, но и улучшает надежность электроснабжения, поскольку последнее осуществляется по месту потребления и не связано с потерями электроэнергии в линиях электропередач.

Для удобства выбора газотурбинных установок с целью создания ГТУ-ТЭЦ по предложенной схеме в табл. 3 приведены основные характеристики и тепловые мощности некоторых ГТУ, которые выпускаются на отечественных энергомашиностроительных предприятиях.

Таблица 3

Характеристики ГТУ и мощности котлов-утилизаторов

Показатели	Тип ГТУ				
	ГТД-2500	ГТД-6001	ГПУ-10-А	ГТД-16	ГТД-25
Электрическая мощность, МВт	2,85	6,7	10	17	27,5
Температура газов, °С:					
перед газовой турбиной;	950	1000	1120	1000	1250
за газовой турбиной	445	415	450	420	490
Коэффициент полезного действия	0,285	0,315	0,34	0,35	0,36
Расход рабочего топлива, кг/с	0,390	0,7259	1,004	1,657	2,607
Коэффициент утилизации теплоты в котле-утилизаторе	0,697	0,675	0,7014	0,679	0,726
Мощность котла-утилизатора, МВт	5,01	9,834	13,02	21,437	35,508

Выводы

1. Теплоэлектроцентраль на базе водогрейной котельной может быть легко создана из энергетического оборудования, которое серийно выпускается на отечественных энергомашиностроительных предприятиях.
2. Создание ГТУ-ТЭЦ, которая круглогодично работает с номинальной мощностью, вполне целесообразно, поскольку обеспечивает прибыль в 1,75 раз большую, чем в котельных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради, 2005. – № 20. – С. 278 – 285.
2. Котлер В. Р. Мини-ТЭЦ: зарубежный ответ / В. Р. Котляр // Теплоэнергетика, 2006. – № 8. – С. 69 – 72.
3. Евенко В. И. Анализ топливной экономичности газотурбинных ТЭЦ / В. И. Евенко // Теплоэнергетика, 2006. – № 10. – С. 74 – 78.
4. Басок Б. И. Сравнительный анализ решений когенерационных установок / Б. И. Басок, Д. А. Коломейко // Промышленная теплотехника, 2006. – т. 28. – № 5. – С. 77 – 82.
5. Демидов О. И. Использование газотурбинных установок при реконструкции ТЭЦ промышленно-отопительного типа / О. И. Демидов, А. Г. Кутахов, В. М. Корень // Промышленная энергетика, 2004. – № 2. – С. 19 – 25.
6. Чепурной М. Н. Теплофикационные когенерационные установки на базе ГТУ / М. Н. Чепурной, В. В. Бужинский, В. А. Рейсиг // Промышленная теплотехника, 2002. – т. 24. – № 6. – С. 47 – 50.
7. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 114 с.

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

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

Винницкий национальный технический университет.