

УДК 620.9; 621.484/.484

КОТЕЛЬНАЯ С ВНУТРИЦИКЛОВЫМИ КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Билека Б.Д., докт. техн. наук, **Гаркуша Л.К.**

Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина

Запропонована схема котельні великої потужності з когенераційно-теплонасосними установками для двотрубної системи теплопостачання. Застосування когенераційно-теплонасосних установок без виробництва товарної електроенергії забезпечує значну економію газу та підвищує надійність теплопостачання.

Предложена схема котельной большой мощности с когенерационно-теплонасосными установками для двухтрубной системы теплоснабжения. Применение когенерационно-теплонасосной технологии без производства товарной электроэнергии обеспечивает значительную экономию газа и повышает надежность тепло-снабжения.

The scheme of the high power boiler-house with cogeneration heat pumping plants for the two-tube system of heat supply is proposed. The application of cogeneration heat pumping technology without production of goods electrical power provides for the considerable economy of gas and increases the reliability of heat supply.

Библ. 6, табл. 2, рис. 1.

Ключевые слова: котельная, двухтрубная система теплоснабжения. когенерационно-теплонасосная технология, газотурбинная установка, котел-утилизатор, тепловой насос.

ГТУ – газотурбинная установка;

ТН1 – тепловой насос отопительного сезона;

ТН2 – тепловой насос неотапливаемого сезона;

ПС – продукты сгорания;

К – теплофикационный котел.

В больших городах централизованное энергоснабжение базируется на ТЭЦ, принцип работы которых основан на комбинированном производстве тепловой и электрической энергии, который гораздо эффективнее их раздельного производства. Основными недостатками ТЭЦ являются высокая капитальная стоимость и длительность периода ввода в эксплуатацию. Для коммунального хозяйства Украины, постоянно испытывающего нехватку средств на модернизацию и развитие теплоэнергетики, эти недостатки ТЭЦ в условиях быстро растущих городов чреваты порождением энергетического дефицита. И если возникающий дефицит в электроэнергии восполняется за счет избыточных электрических мощностей в Украине, доставшихся в наследство от Советского Союза, то для восполнения дефицита в тепловой энергии резервов нет. В украинских городах этот дефицит восполняется путем строительства котельных, в том числе котельных большой проектной мощности. Строительство котельных обходится гораздо дешевле ТЭЦ, и сроки ввода их в эксплуатацию тоже значительно ниже. Таким образом, в интере-

сах сегодняшнего дня Украина возвращается к раздельному производству тепловой и электрической энергий, и газ, сжигаемый в котельных, используется неэффективно, что в перспективе означает его перерасход. Но газ является не только наиболее ценным энергетическим топливом, позволяющим использовать наиболее эффективные энергетические технологии – газотурбинные, парогазовые, обеспечивающие значительную экономию топлива и существенный экологический эффект, но и ценным сырьем для химической промышленности, моторным и бытовым топливом, находит применение в производстве сельскохозяйственной продукции. Широкое использование газа порождает его дефицитность и высокую стоимость. Газ необходимо экономить.

Наиболее эффективной технологией генерации теплоты, обеспечивающей значительную экономию газа в котельных (до 15...60 %), является когенерационно-теплонасосная технология [1-3] при условии полного потребления котельной производимой когенерационной установкой электроэнергии. При этом не ставится цель превращения

котельной в мини-ТЭЦ с производством товарной электроэнергии, что является целью применения когенерационных технологий. В предлагаемой когенерационно-теплоснабжающей технологии процесс производства электроэнергии является чисто внутрицикловым процессом при производстве теплоты и служит для питания электроэнергией компрессионных теплоснабжающих установок и вспомогательных систем котельной.

Внутрицикловые когенерационно-теплоснабжающие технологии наиболее перспективны в котельных большой мощности. Принципиальная схема котельной, использующей когенерационно-теплоснабжающую технологию для подготовки теплоносителя при двухтрубной системе теплоснабжения, представлена на рисунке. Схема котельной содержит две технологических линии подготовки теплоносителя – для отопительного и неотопительного сезонов. И хотя параметры теплоносителя на выходе этих линий одинаковы, эти линии имеют существенно различную тепловую мощность, различную схему и режим работы.

Составляющими технологической линии отопительного сезона являются когенерационно-теплоснабжающая установка, состоящая из когенерационной установки на базе ГТУ с электрогенераторами и котлом-утилизатором 1, тепловой насос большой мощности (ТН1), теплофикационные котлы (К) и система трубопроводов с вентилями, регулирующими направление движения теплоносителя. Технологическая линия отопительного сезона производит теплоноситель как для системы отопления, так и для системы горячего водоснабжения и работает в двух режимах – дневном и ночном. При дневном режиме работы теплоноситель поступает из обратной магистрали с температурой порядка 50 °С в тепловой насос, который является первой ступенью подогрева теплоносителя, после теплового насоса поступает в котел-утилизатор, который является промежуточной ступенью нагрева с использованием выхлопных газов ГТУ, после которой для догрева до температуры в подающей магистрали (150 °С) поступает в теплофикационные котлы.

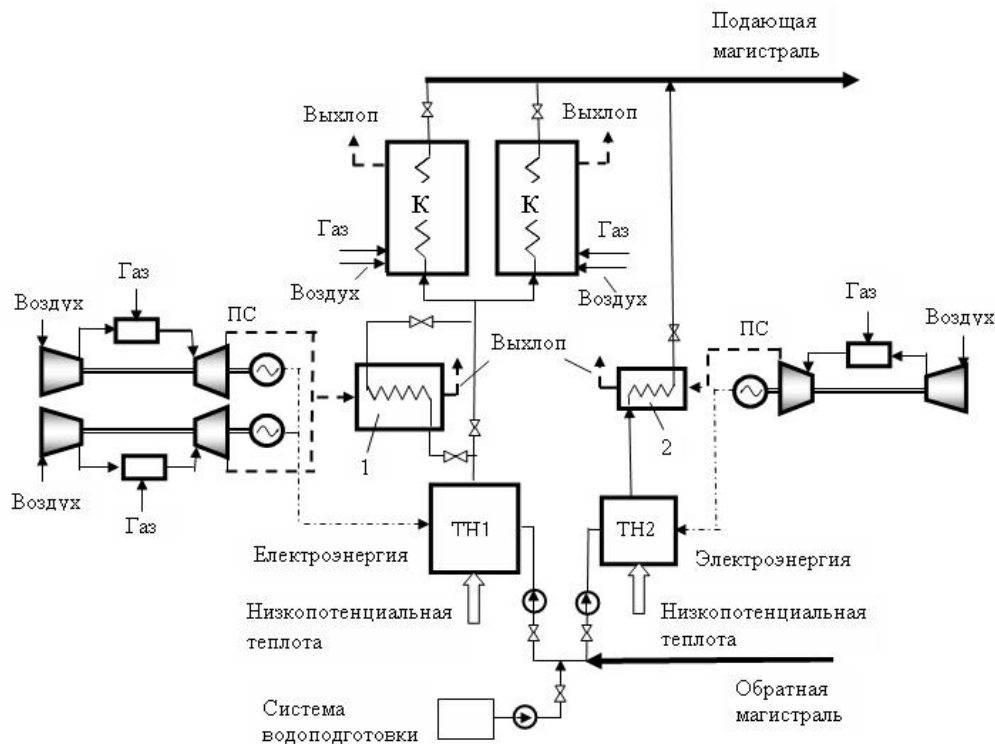


Схема котельной с внутрицикловой когенерационно-теплоснабжающей установкой.
К – теплофикационный котел; ПС – продукты сгорания ГТУ; ТН1, ТН2 – тепловые насосы технологических линий отопительного и неотопительного сезонов соответственно;
1, 2 – котлы-утилизаторы когенерационных установок технологических линий отопительного и неотопительного сезонов соответственно.

В ночное время технология подготовки теплоносителя упрощается. Отключается когенерационная установка и теплоноситель после теплового насоса поступает непосредственно в теплофикационные котлы. При этом тепловой насос и все вспомогательное оборудование котельной потребляют электроэнергию из сети по ночному тарифу.

Технологическая линия неотапительного сезона представлена когенерационно-теплонасосной установкой меньшей мощности, состоящей из когенерационной установки на базе ГТУ с электрогенераторами и котлом-утилизатором 2 и теплового насоса (ТН2). Технологическая линия готовит теплоноситель для системы горячего водоснабжения и работает круглосуточно в стационарном режиме, обеспечивающим наибольшую эффективность использования когенерационно-теплонасосных установок. Для обеспечения стационарной работы когенерационных установок в системе горячего водоснабжения должны быть предусмотрены тепловые аккумуляторы, используемые в европейских странах при применении тепловых насосов.

Ключевыми элементами в обеих технологических схемах, обеспечивающими экономию топлива, являются компрессионные теплонасосные установки, питающиеся электроэнергией, производимой когенерационными установками, и являющиеся первой ступенью подогрева теплоносителя, поступающего в котельную из обратной магистрали. Котел-утилизатор когенерационной установки в отопительной линии является промежуточной ступенью подогрева теплоносителя, а теплофикационные котлы – конечной ступенью. В технологической линии подготовки теплоносителя для системы горячего теплоснабжения котел-утилизатор когенерационной установки является конечной ступенью подогрева теплоносителя. При этом тепловой мощности котлов-утилизаторов практически достаточно для догрева теплоносителя до проектной температуры в подающей магистрали.

Когенерационная установка в линии отопительного сезона в ночное время отключается, а тепловой насос и вспомогательное оборудование котельной используют сетевую электроэнергию по ночному тарифу. Теплоноситель после теплового насоса для догрева до температуры в по-

дающей магистрали поступает непосредственно в теплофикационные котлы, тепловая мощность которых в ночные часы увеличивается.

В качестве примера была рассмотрена схема котельной с внутрицикловой когенерационно-теплонасосной установкой мощностью 300 МВт при мощности горячего водоснабжения 60 МВт для двухтрубной системы теплоснабжения. Показатели котельной представлены в таблице 1.

При расчете использовались данные по газотурбинным установкам ГП НПКГ «Зоря – Машпроект» [4]. В качестве низкопотенциального источника для теплонасосной установки рассматривались канализационные стоки [5]. При оценке затрат электроэнергии на собственные нужды котельной учитывались расход электроэнергии на работу котлов (3,9 % от мощности котлов) [6], на работу тепловых насосов и прокачку теплоносителей – целевого и низкопотенциального для теплового насоса.

Ниже приведены результаты сравнительного анализа показателей рассмотренной и типовой теплофикационной котельной (таблица 2). Расход газа обычной котельной такой же мощности с современными котлами с КПД 92 % при номинальной нагрузке в отопительный период составляет 23450 кг/час, в неотапительный период на горячее водоснабжение – 4691 кг/час. Среднегодовой расход газа – 14071 кг/час. Таким образом, применение рассмотренной когенерационно-теплонасосной технологии приводит к значительной экономии газа котельной. Источники экономии газа – использование даровых низкопотенциальных источников теплоты и теплоты сбросных газов ГТУ. Наименьший расход газа достигается в ночное время отопительного сезона (40,4 %), когда котельная потребляет электроэнергию из сети по ночному тарифу. Среднегодовая экономия газа котельной при этом составляет – 23,9 %. В том случае, если котельная не потребляет электроэнергии из сети, экономия газа котельной в отопительный сезон составляет 14,8 %, а годовая экономия – 16,8 %.

Дополнительное оборудование, устанавливаемое в котельной при использовании когенерационно-теплонасосной технологии (газовые турбины, котлы-утилизаторы, тепловые насосы) при стоимости ГТУ 550 \$/кВт, котла-утили-

затора 23,3 \$/МВт, теплового насоса 150 \$/кВт (при оценке окупаемости с учетом только стоимости дополнительного оборудования).
 при годовой экономии газа 23,9 % и стоимости газа 350 \$/1000 м³ окупается за 4,6 лет

Таблица 1

Технологические параметры	Отопительный сезон		Неотопительный сезон
	Дневное время	Ночное время	
Котельная			
Мощность котельной, МВт	300	300	60
Расход теплоносителя, кг/с	716	716	143,2
Температура в подающей магистрали, °С	150	150	151,6
Давление в подающей магистрали, МПа	2,5	2,5	2,5
Температура в возвратной магистрали, °С	50	50	50
Давление в обратной магистрали, МПа	0,5	0,5	0,5
Мощность теплофикационных котлов, МВт	102,7	179,5	
КПД теплофикационных котлов	92 %	92 %	
Расход топлива котлами, кг/с	2,23	3,90	
Расход топлива котельной, кг/с	5,56	3,90	1,14
Среднесуточный расход газа котельной, кг/с	5,01		1,14
Среднегодовой расход газа котельной, кг/с	3,07		
Тепловой насос			
Рабочее тело	R142	R142	R142
Мощность теплового насоса, МВт	127,7	126,5	39,8
Потребляемая электрическая мощность, МВт	42,6	39,6	14,7
Коэффициент трансформации	3,00	3,04	2,71
Расход теплоносителя, кг/с	716	716	143,2
Температура в испарителе, °С	5	5	5
Температура в конденсаторе, °С	95,7	93,5	117,7
Температура теплоносителя на входе, °С	50	50	50
Температура теплоносителя на выходе, °С	92,6	93,5	116,3
Когенерационная установка			
Газотурбинная установка	UGT 25000		UGT 6000
Электрическая мощность ГТУ, МВт	25		6
Тепловая мощность ГТУ	34,8		9,2
Расход топлива ГТУ, кг/с	1,667		0,476
Число газотурбинных установок	2		1
Производство электроэнергии, МВт	50		6
Расход газа когенерационной установкой, кг/с	3,334		1,139
Тепловая мощность котла-утилизатора, МВт	69,6		9,2

Экономия газа связана не только со значительным экономическим эффектом, обуславливающим снижение себестоимости товарной тепловой энергии, но и означает существенное снижение степени загрязнения окружающей среды. Кроме этих преимуществ рассмотренной технологии, необходимо отметить, что котельная при этом

практически независима от электрической сети, что обеспечивает высокую надежность теплоснабжения. Это важное преимущество для котельной большой мощности. Известны случаи, когда обесточивание крупной котельной в отопительный период приводило к серьезным последствиям.

Таблица 2

Отопительный сезон	кг/час	Экономия газа, %
Расход газа в дневное время	20030	14,6
Расход газа в ночное время	14029	40,2
Среднесуточный расход газа	18029	23,1
Неотопительный сезон	4100	12,6
Расход газа	3427	26,9
Среднегодовой расход газа	10706	23,9

Выводы

1. Использование в котельных большой мощности, работающих на газе, внутрицикловых когенерационно-теплонасосных установок обеспечивает значительную сезонную и среднегодовую экономию топлива, повышает надежность теплоснабжения, улучшает экологические показатели котельной при приемлемых сроках окупаемости когенерационно-теплонасосного оборудования и позволяет в значительной мере компенсировать перерасход топлива, обусловленный переходом на раздельное производство энергий.

2. Энергосберегающие и экологические показатели котельной с внутрицикловыми когенерационно-теплонасосными установками значительно улучшаются при использовании ночного тарифа в отопительный сезон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Д.Билека, Р.В.Сергиенко, В.Я.Кабков. Экономичность когенерационных и комбиниро-

ванных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями. //Авиационно-космическая техника и технология, 7 (74), 2010. С.1–3.

2. Патент України на корисну модель № 78343 //Система гарячого водопостачання з котельнею великої потужності. // Б.Д.Билека, Л.К.Гаркуша, С.В.Бабак, 11.03.2013, Бюл. № 5.

3. Снежкін Ю.Ф., Уланов М.М., Чалаєв Д.М.. Теплонасосні технології – ефективний шлях енергозбереження // Промышленная теплотехника, № 7, 2013 г.

4. Каталог энергетического оборудования. «Турбины и Дизели»-2007.//ОАО «Турбомашини», Россия, Рыбинск Ярославской обл., .- 351 с.

5. Зимин Л.Б., Фиалко Н.М..Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты канализационных стоков для теплоснабжения социальных объектов //Промышленная теплотехника, № 1, 2008 г.

6. Теплотехнический справочник. Том 1// М.: Энергия, 1975. – 743 с.

THE BOILER-HOUSE WITH INTERSYCLE COGENERATION HEAT PUMPING PLANTS

Bileka B.D., Garkusha L.K.

Institute of Engineering Thermophysics of the
National Academy of Sciences of Ukraine,
vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

In the Ukraine, under condition of the rapidly growing cities the emerging thermal energy shortage is replenished by the construction of boiler-houses including high power gas-fired boilers, In this connection there is an urgent problem of increasing efficiency of using gas under conditions of boiler-house and its economy. The scheme of the high power boiler-house with cogeneration heat pumping plants for the two-tube system of heat supply is proposed. The application of cogeneration heat pumping technology without production of goods electrical power provides for the considerable economy of gas and increases the reliability of heat supply.

References 6, tabl. 2, fig. 1.

Key words: boiler-house, two-tube system of heat

supply, cogeneration heat pumping technology, gas turbine power plant, waste-heat boiler, heat pump.

1. B.D.Bileka, R.V.Sergienko, V.Ja.Kabkov. Jekonomichnost' kogeneracionnyh i kombinirovannyh kogeneracionno-teplonasosnyh ustanovok s gazoporshnevymi i gazoturbinnymi dvigateljami. // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija, 7 (74), 2010. s.1-3.

2. Patent Ukraïni na korisnu model' № 78343 // Sistema garjachogo vodopostachannja z kotel'neju velikoï potuzhnosti. // B.D.Bileka, L.K.Garkusha, S.V Babak, 11.03.2013, Bjul. № 5.

3. Sneezhkin Ju.F., Ulanov M.M., Chalaev D.M.. Teplonasosni tehnologii – effektivnij shljah energoberezhennja // Promyshlennaja teplotehnika, № 7, 2013 g.

4. Katalog jenergeticheskogo oborudovanija. «Turbiny i Dizeli»-2007.//OAO «Turbomashiny», Rossija, Rybinsk Jaroslvskoj obl., .- 351 s.

5. Zimin L.B., Fialko N.M.. Analiz jeffektivnosti teplonasosnyh sistem utilizacii teploty kanalizacionnyh stokov dlja teplosnabzhenija social'nyh ob"ektov // Promyshlennaja teplotehnika, № 1, 2008 g.

6. Teplotehnikeskij spravocnik. Tom 1// M.: Jenergija, 1975. – 743 s.

Получено 16.06.2015

Received 16.06.2015