

УДК 620.9; 621.484/484

## ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ ГТУ В КОТЕЛЬНЫХ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

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

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

Запропонована схема котельні середньої потужності з когенераційно-теплонасосною установкою на базі ГТУ для двотрубної системи теплопостачання. Застосування когенераційно-теплонасосних установок без виробництва товарної електроенергії забезпечує значну економію газу та підвищує надійність теплопостачання.

Предложена схема котельной средней мощности с когенерационно-теплонасосной установкой на базе ГТУ для двухтрубной системы теплоснабжения. Применение когенерационно-теплонасосной технологии без производства товарной электроэнергии обеспечивает значительную экономию газа и повышает надежность теплоснабжения.

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. 4, табл. 3, рис. 2.

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

**Вступление.** Наиболее эффективным источником энергии для коммунального хозяйства городов являются ТЭЦ, принцип работы которых основан на комбинированном производстве электрической и тепловой энергии, что обуславливает эффективное использование топлива. Однако капитальная стоимость ТЭЦ достаточно высока, и срок ввода их в эксплуатацию продолжителен. В условиях быстрого хаотического роста городов без планового развития коммунальной энергетической базы эти особенности ТЭЦ провоцируют дефицит электрической и тепловой энергии. И если дефицит электроэнергии может быть восполнен за счет избыточных установленных электрических мощностей, унаследованных Украиной от советских времен, то резерва тепловой энергии нет.

В украинских городах дефицит тепловой энергии восполняется путем строительства котельных, в том числе котельных средней и большой мощности. Капитальная стоимость котельных и срок ввода их в эксплуатацию достаточно низки, что обуславливает приемлемые в Украине сроки их окупаемости. Таким образом, Украина возвращается к раздельному производству электрической и тепловой энергии, что снижает в пределах региона эффективность использования топлива и ведет к его перерасходу. Положение осложняется тем, что речь идет о перерасходе газа, цена которого перманентно растет и которому нет альтернативы использованию в городах по экологическим требованиям. В городских котельных сжигается свыше 30 % импортируемого газа. Уже сегодня вопрос его экономии является остро актуальным.

**Целью работы** является разработка экономически и экологически выгодной технологии производства тепловой энергии с использованием газа.

**Постановка задачи.** В европейских странах значительная экономия газа котельными достигается внедрением когенерационных технологий, в результате чего котельные превращаются в мини-ТЭЦ. В Украине когенерационные технологии не получили достаточного распространения. Однако предложены когенерационно-теплонасосные технологии без производства товарной электроэнергии и осуществляющие их установки (КГ-ТНУ), которые могут компенсировать ущерб, вызванный переходом на раздельное производство энергии [1-3].

В этих технологиях основным источником производства тепловой энергии и экономии газа являются компрессионные тепловые насосы, в то время как когенерационные установки являются только источниками электроэнергии для тепловых насосов и собственных нужд котельных, и дополнительными источниками теплоты. Но именно мощность когенерационных установок в целом определяет товарную тепловую мощность КГ-ТНУ.

В идеальном случае, при котором когенерационно-теплонасосная установка наиболее эффективна, должны соблюдаться два равенства:

$$N_{q,кот} - (N_{q,ТНУ} + N_{q,КГУ}) = 0, \quad (1)$$

$$N_{e,КГУ} - (N_{e,ТНУ} + N_{e,сн}) = 0, \quad (2)$$

где  $N_{q,кот}$  – мощность котельной;  $N_{q,ТНУ}$  – мощность теплонасосной установки;  $N_{q,КГУ}$  – тепловая мощность когенерационной установки;  $N_{e,КГУ}$  – электрическая мощность когенерационной установки;  $N_{e,ТНУ}$  – электрическая мощность, потребляемая теплонасосной установкой;  $N_{e,сн}$  – электрическая мощность собственных нужд котельной.

Степень приближения к равенствам (1) и (2) зави-

сит от оптимальности выбора оборудования когенерационной установки.

Кроме этих условий, выбор оборудования КГ-ТНУ зависит от проектной мощности котельной, наличия достаточной площади промплощадки для размещения оборудования, природы и мощности низкопотенциального теплового источника и других проектных требований. В общем случае, вследствие дискретности мощности выпускаемого энергетического оборудования и недостаточной плотности его мощностного ряда необходимо приближение к равенствам (1) и (2) возможно только при тепловом насосе с регулируемой мощностью и его частичной связью с электрической сетью.

Таблица 1

Технологические параметры теплоснабжения	Размерность	Отопительный сезон	Межсезонье
Мощность теплоснабжения	МВт	50	10
Мощность отопления	МВт	40	-
Мощность горячего водоснабжения	МВт	10	10
Расход целевого теплоносителя	кг/с	146,9	146,9
Температура в подающей магистрали	°С	130	65
Давление в подающей магистрали	бар	17	17
Температура в обратной магистрали	°С	48,7	48,7
Давление в обратной магистрали	бар	4	4

Температура теплоносителя на выходе из системы отопления 65 °С, что позволяет использовать выходящий из системы отопления теплоноситель в качестве теплового источника ГВС. В этом случае расход теплоносителя в подающей магистрали определяется мощностью системы отопления в отопительный сезон.

В качестве прототипа источника тепловой энергии

Неблагоприятной особенностью для использования КГ-ТНУ в системе теплоснабжения является сезонный характер мощности котельной, что обуславливает простоту части оборудования и необходимость использования теплового насоса с большим диапазоном регулирования мощности или разных тепловых насосов в зависимости от сезона.

**Результаты работы.** В представленной работе рассматривается двухтрубная система теплоснабжения мощностью 50 МВт с мощностью горячего водоснабжения (ГВС) 10 МВт. Параметры системы теплоснабжения представлены в таблице 1.

для рассматриваемой системы теплоснабжения является типовая котельная с возможностью подключения к достаточно мощному источнику низкопотенциальной теплоты в виде бытовых стоков с температурой порядка 15 °С. Схема типовой котельной представлена на рис. 1. Параметры котельной – прототипа в отопительный сезон и межсезонье приведены в таблице 2.

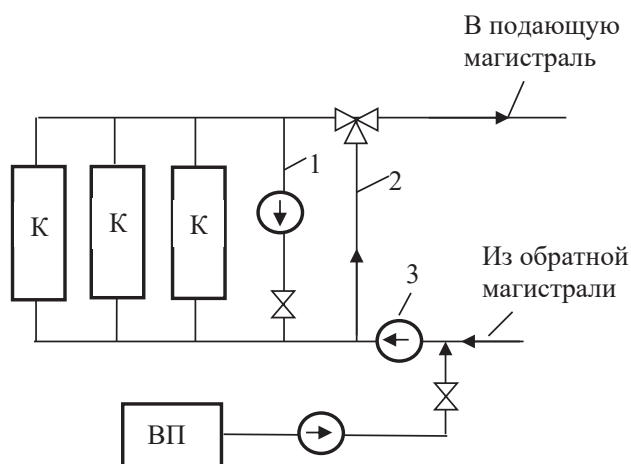


Рис. 1. Котельная – прототип.

*К – отопительные котлы; ВП – система водоподготовки; 1 – рециркуляционный трубопровод; 2 – регулирующий трубопровод; 3 – сетевой насос.*

Альтернативным источником теплоты для рассматриваемой системы теплоснабжения является когенерационно-теплонасосная установка, размещенная в помещении

котельной, Когенерационно-теплонасосная установка для системы теплоснабжения средней мощности может быть создана на базе ГТУ и газопоршневых двигателей (ГПД).

Таблица 2

Технологические параметры котельной	Размерность	Отопительный сезон	Межсезонье
Мощность котельной,	МВт	50	10
Температура обратной воды на входе в котельную	°С	48,7	48,7
Температура котловой воды	°С	130	130
Температура питательной воды	°С	60	60
Давление питательной воды	бар	17	17
Расход питательной воды	кг/с	170,6	34,3
Расход рециркуляционной воды	кг/с	23,6	4,7
Расход воды в регулирующем трубопроводе	кг/с	-	117,5
КПД котлов		0,85	0,85
Расход топлива котельной	кг/с	1,176	0,236
Сезонный расход топлива котельной	кг	$16934 \cdot 10^3$	$3404,0 \cdot 10^3$
Годовой расход топлива котельной	м <sup>3</sup>	$27860,3 \cdot 10^3$	

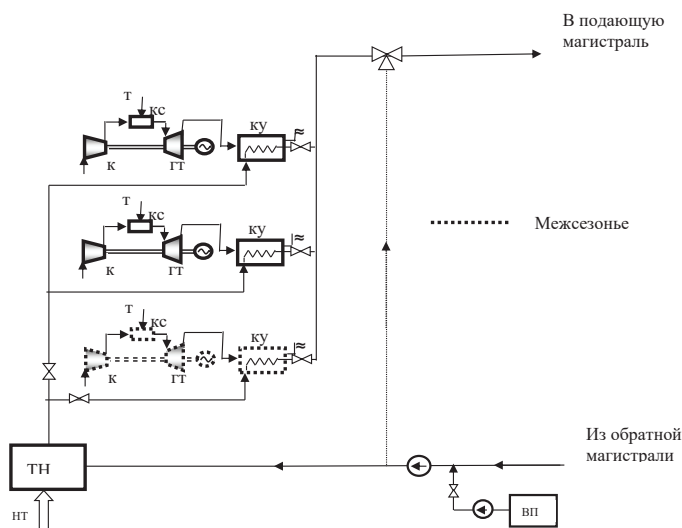


Рис. 2. Принципиальная схема котельной с КГ-ТНУ на базе ГТУ.

*К – компрессор ГТУ; КС – камера сгорания ГТУ; ГТ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; Т – топливо; ТН – компрессионный тепловой насос; НТ – низкотемпературная теплота; ВП – система водоподготовки.*

Схема КГ-ТНУ на базе ГТУ является наиболее простой и представляет последовательное соединение теплового насоса и утилизаторов КГУ, в котором тепловой насос является первой ступенью подогрева целевого теплоносителя. Преимуществом КГ-ТНУ на базе ГТУ является практическая неограниченность температурного диапазона теплового насоса в отличие от КГ-ТНУ

на базе ГПД, при которой второй ступенью подогрева теплоносителя является система охлаждения двигателя с жестко заданной начальной температурой теплоносителя. Это обуславливает усложнение структуры теплового насоса и схемы подогрева целевого теплоносителя в целом. Преимуществом КГ-ТНУ на базе ГТУ является и большая компактность установки, что может быть

существенным при модернизации уже существующих котельных. Более благоприятными являются и экологические последствия.

Принципиальная схема котельной с КГ-ТНУ на базе ГТУ в отопительный сезон и межсезонье представлена на рис. 2.

Когенерационная установка КГ-ТНУ состоит из 3-х модульных когенерационных установок на базе ГТУ Объединения «Заря-машпроект» [4]. Из них 2 модульных установки UGT6000C с электрической мощностью каждая 6000 кВт и тепловой 9200 кВт и 1

модульная установка UGT2500C с электрической мощностью 2500 кВт и тепловой 4700 кВт. В отопительный сезон работают 2 модульных установки UGT6000C. В межсезонье – 1 модульная установка UGT2500C. При этом электрическая мощность UGT2500C является избыточной и 700 кВт необходимо направить в сеть или использовать на дополнительные собственные нужды в межсезонье.

В таблице 3 представлены основные параметры котельной с КГ-ТНУ в отопительный сезон и межсезонье.

Таблица 3

Технологические параметры	Размерность	Отопительный сезон	Межсезонье
<i>Когенерационная установка</i>		2 модульных КГУ UGT6000C	1 модульная КГУ UGT2500C
Электрическая мощность	кВт	12000	2500
КПД электрический	%	30,5	27
Электрическая мощность, отданная в сеть	кВт	-	700
Тепловая мощность	кВт	18400	4700
Расход топлива	кг/с	0,786	0,185
<i>Тепловой насос</i>			
Мощность	кВт	31605	5323
Потребляемая электрическая мощность	кВт	11522	1477
Коэффициент трансформации		2,74	3,60
Мощность испарителя	кВт	21235	3994
Температура в конденсаторе	°С	102,4	61,9
Расход воды	кг/с	146,9	146,9
Температура воды на входе	°С	48,7	48,7
Температура воды на выходе	°С	100,0	57,3

Экономия топлива котельной в отопительный сезон в сравнении с котельной-прототипом составляет 33,2 %. В межсезонье – 21,3 %. Годовая экономия топлива составляет 31,1 %.

Тепловая мощность КГ-ТНУ может быть меньше заданной мощности котельной. В этом случае в тепловой схеме котельной должен присутствовать дополнительный нагреватель в качестве третьей ступени подогрева целевого теплоносителя. При этом экономия газа котельной снижается. Поэтому мощностные показатели когенерационной установки должны выбираться так, чтобы тепловая мощность КГ-ТНУ максимально приближалась к заданной мощности котельной.

#### **Выводы**

1. Когенерационно-теплонасосная установка для системы теплоснабжения средней мощности может быть выполнена как на базе газовых турбин, так и на

базе газопоршневых двигателей. При этом когенерационно-теплонасосная установка на базе газотурбинных двигателей обладает лучшими массогабаритными и экологическими показателями.

2. Применение когенерационно-теплонасосной технологии на базе ГТУ в котельных средней мощности позволяет экономить значительное количество газа (до 30 %) и повышает надежность работы котельной.

3. Эффективность когенерационно-теплонасосных технологий в значительной степени зависит от оптимальности выбора мощностных показателей когенерационной установки.

4. В общем случае максимальная эффективность КГ-ТНУ может быть достигнута при оптимальном выборе когенерационной установки и использовании теплового насоса с регулируемой мощностью и с частичной связью с электрической сетью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Д.Білека, Р.В.Сергиенко, В.Я.Кабков. Экономичность когенерационных и комбинированных 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.Білека, 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 «Турбомашины», Россия, Рыбинск Ярославской обл., - 351 с.

### THE FUEL ECONOMICITY OF COGENERATION-HEAT PUMP TECHNOLOGIES ON THE BASIS OF GAS TURBINE INSTALLATIONS IN MEDIUM CAPACITY BOILER-HOUSES

**Bileka B.D., Garkusha L.K.**

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

**Objective.** Estimation of fuel economy of cogeneration-heat pump technologies on the basis of gas turbine installations (GTI) in medium capacity boiler-houses operating on gas.

**Results.** Significant gas savings in the production of thermal energy by heating boiler-houses is associated with the use of compression heat pumps. However, the practical application of heat pump technology at a high cost of circuit electricity is economically inexpedient.

The way out from this situation is the use in heat pump technology as a source of electric power for heat pumps of cogeneration plants producing electricity, the cost of which is much lower than the cost of circuit electricity (cogeneration-heat pump technologies). At the same time, the optimal variant of these technologies when using them in boiler-houses is intra-cycle technologies without the production of marketable electricity. In boiler houses of medium capacity, it is possible to use cogeneration-heat pump technologies based on GTI, that is technologically and constructively simple enough, since these installations have good overall parameters and the utilization system based on GTI is practically not connected with the temperature range of having a special purpose heat carrier.

#### Conclusions.

1. The cogeneration and heat pump plant for a medium-power heat supply system can be made both on the basis of

gas turbines and on the basis of gas piston engines. At the same time, the cogeneration-heat pump plant based on gas turbine engines has the best mass-size and environmental indicators

2. The use of cogeneration and heat pump technology on the basis of gas turbines in medium-power boiler houses allows to save a considerable amount of gas (up to 30 %) and improves the reliability of the boiler house operation.

3. The efficiency of cogeneration and heat pump technologies depends to a large extent on the optimality of the choice of power parameters of the cogeneration plant.

4. In general, the maximum efficiency of KG-TNU can be achieved with an optimal choice of cogeneration unit and the use of a heat pump with a regulated power with a partial connection to the electrical network.

References 4, tables 3, figures 2.

**Key words:** boiler-house, two-pipe system of heat supply, cogeneration and heat pump technology, gas turbine unit, waste heat boiler, heat pump.

1. Bileka B.D., Cergienko R.V., Kabkov V.Ya. Cost-effectiveness of cogeneration and combined cogeneration-heat pump plants with gas piston and gas turbine engines. Aerospace machinery and technology, 7 (74), 2010. p.1–3 (Ukr)

2. Patent of Ukraine for Utility Model No. 78343. Hot water supply system with high power boiler. Bileka B.D., Garkusha L.K., Babak S.V., 11.03.2013, Bul. No 5 (Ukr)

3. Snezhkin Yu.F., Ulanov M.M., Chalayev D.M. Heat Pump Technologies – an Effective Way of Energy Saving. Promyshlennaya teplotehnika [Industrial Heat Engineering], No. 7, 2013 (Ukr)

4. The catalog of power equipment. "Turbines and Diesels", 2007, «Turbomashiny», Russian, Rybinsk, 351 p.

Отримано 15.02.2018

Received 15.02.2018