

УДК 697.34

Соломин И.Н. – младший научный сотрудник

E-mail: solill@yandex.ru

Даминов А.З. – кандидат технических наук

E-mail: daminov@list.ru

Камалов Р.Ф. – кандидат технических наук

E-mail: rustemran@mail.ru

Исследовательский центр проблем энергетики ФГБУ науки Казанского научного центра РАН

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

Садыков Р.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Утилизация и преобразование невостребованной тепловой энергии в теплоснабжающих системах от районных котельных

Аннотация

В статье рассмотрена возможная схема утилизации и преобразования теплоты уходящих дымовых газов районной газифицированной котельной. Предложена схема котельной с ОЦР-установкой на примере действующей районной котельной г. Казани. Проведен расчет режимов работы котельной с установкой на различных нагрузках, а также оценка эффективности применения ОЦР-установки в качестве утилизационной установки теплоты уходящих дымовых газов. Предложена зависимость для определения эксергетического КПД котельной с целью оценки эффективности ее работы.

Ключевые слова: система теплоснабжения, котельная, комбинированный источник энергоснабжения, органический цикл Ренкина.

В настоящее время существует тенденция активного использования децентрализованных комбинированных источников электро- и теплоснабжения, устанавливаемых как в существующих отопительных котельных, так и на вновь строящихся источниках тепла (мини-ТЭЦ).

Создание таких небольших энергоисточников имеет ряд преимуществ. Среди них основными являются короткие сроки строительства, повышение надежности теплоснабжения потребителей, снижение инерционности теплового регулирования и потерь в тепловых сетях, относительно сетей подключенных к крупным системам теплоснабжения и ТЭЦ.

При проектировании мини-ТЭЦ на базе существующих котельных необходимо учитывать, что тепловая энергия является первичной, а электрическая – вторичной. Но с учетом специфики российского рынка энергоресурсов (и не только российского), экономия электроэнергии является одной из важнейшей энергосберегающей составляющей повышения эффективности теплоснабжения потребителей и собственного энергообеспечения (источника) [1]. Это вытекает из анализа формирования цен (тарифа) на единицу мощности электрической и тепловой энергии. Поэтому теплоснабжающим организациям зачастую выгодно жертвовать некоторым количеством тепловой энергии, а в следствие этого природным газом, как основным топливом, в пользу выработки электричества для собственного обеспечения. Но, при этом также существует возможность использования невостребованной тепловой энергии на теплоисточнике, что делает производство некоторой части электроэнергии практически беззатратным.

Для производства электроэнергии на источниках теплоснабжения наибольшее распространение получили схемы с газопоршневыми (ГПУ) и газотурбинными (ГТУ) установками. Когенерационная установка обеспечивает, прежде всего, производство электроэнергии. Задачу получения тепла с гораздо меньшими капитальными затратами и

большей эффективностью может дать современный газовый котел, имеющий КПД на уровне 89÷92 %. При этом использование ГПУ и ГТУ влечет обязательный отвод тепла от установок для их эффективной работы. Данное тепло, в силу большой разницы в КПД с водогрейным котлом – основным теплоисточником, целесообразно преобразовывать для более «глубокого» производства электроэнергии.

В качестве установок для утилизации невостребованного тепла в зарубежных странах с развитыми отраслями тепловой энергетики активно используют установки, работающие по органическому циклу Ренкина (ОЦР). Данные установки способны утилизировать (преобразовывать) тепловую энергию различных теплоносителей (вода, пар, уходящие газы и т.д.), поэтому они совместимы с широким спектром основного теплоэнергетического оборудования. По этой причине ОЦР-установки все чаще становятся необходимым элементом автономной силовой установки любого типа. При этом тепловая энергия, подводимая к испарителю ОЦР-установки, не теряется безвозвратно, а используется для нагрева теплоносителя системы теплоснабжения и воды на нужды горячего водоснабжения.

В г. Казани действует мини-ТЭЦ на базе ГПУ электрической мощностью 0,3 МВт по адресу Каштановая, д. 18. Котельная оснащена четырьмя котлами: 1 котел марки КВГМ-10, 3 котла марки ТВГ-8М. Максимальный КПД котлов данных марок имеет свое максимальное значение в номинальном режиме (близком к максимальной нагрузке), и составляет 89,3 %. В данном режиме работы котлов температура уходящих газов составляет 178°C. Минимальная необходимая температура уходящих на входе в дымовую трубу, при которой исключено образование конденсата, составляет 110°C. Следовательно, существуют резервы для использования дополнительной тепловой энергии посредством утилизации теплоты уходящих газов.

С этой целью предложена схема котельной с ОЦР-установкой для утилизации теплоты уходящих дымовых газов котельной и системы охлаждения двигателя ГПУ (рис. 1).

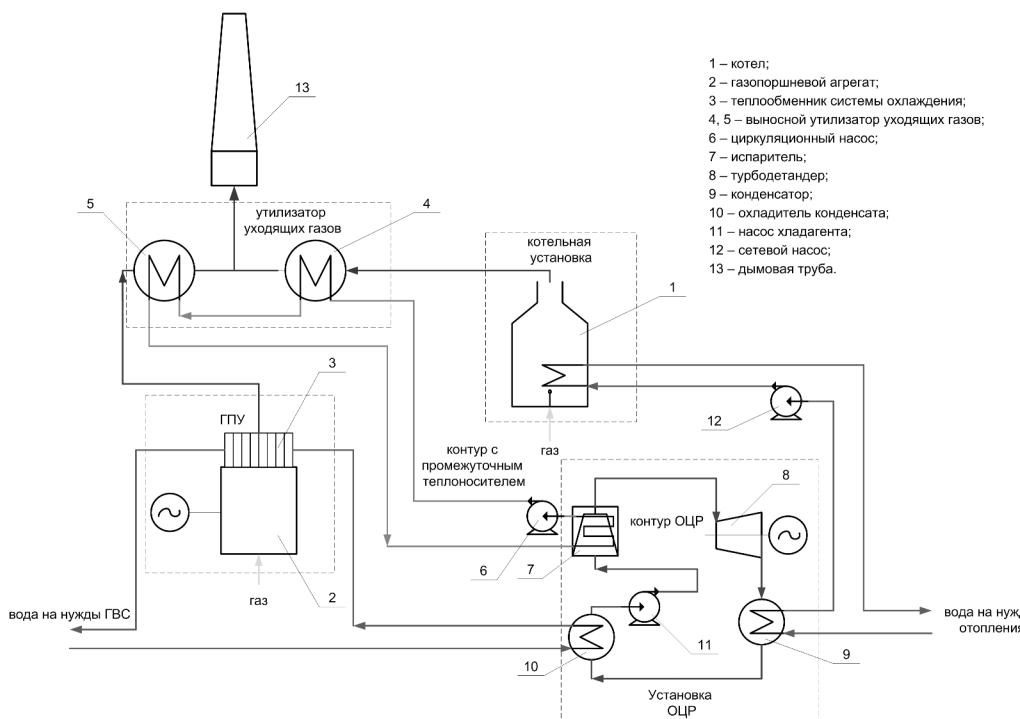


Рис. 1. Технологическая схема котельной с ГПУ и ОЦР-установками

В качестве утилизационной установки была рассчитана ОЦР-установка мощностью 0,3 МВт с рабочим телом R245fa. Разработка схемы утилизации и расчет установки производился совместно с инженерами шведской компании Svenska Rotor Maskiner (SRM).

Установка состоит из испарителя 7, турбодетандера 8, конденсатора 9, охладителя конденсата 10 и насоса 11.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты расчетов ОЦР-установки

	Греющая сторона (термическое масло TRANSCAL)				Сторона охлаждения (вода)				Выработка электроэнергии	
	Нагрузка котлов	G [м ³ /ч]	T _{вх} [°C]	T _{вых} [°C]	Q [кВт]	G [м ³ /ч]	T _{вх} [°C]	T _{вых} [°C]	Q [кВт]	Мощность [кВт эл]
Нагрузка 1 (летняя)	140	130	110,0	1864	140	45	56,0	1646	226,9	215,6
Нагрузка 2	140	140	116,0	2235	140	45	57,5	2011	258,3	245,3
Нагрузка 3 (номинальная)	140	145	119,0	2416	140	45	58,5	2203	271,3	257,8
	Потеря давления 50 кПа				Потеря давления 75 кПа				Рабочее тело R245fa	

Установка рассчитывалась на три нагрузки: при работе двух котлов ТВГ-8М и ПГУ в номинале, трех котлов и ГПУ в номинале и при полной тепловой загрузке котельной. В случае «Нагрузки 1» (летний режим) производилось переключение тепловой сети котельной Липатова, д. 7 через перемычку на работу от котельной Каштанова, д. 18 для загрузки котлов до номинального значения.

На различных нагрузках электрический КПД ОЦР-установки будет различным, в силу повышения температуры на стороне греющего контура (рис. 2).

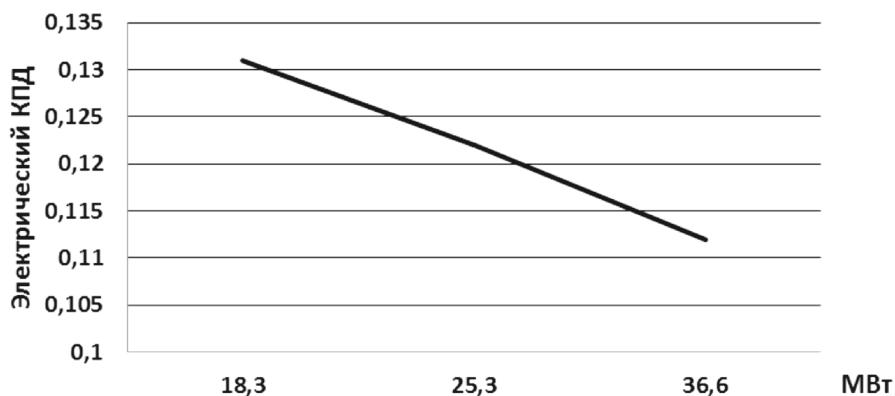


Рис. 2. Зависимость электрического КПД ОЦР-установки от нагрузки котельной

Основным показателем, по которому оценивалась эффективность работы всей котельной, был выбран общий КПД, объединяющий тепловой КПД и электрический. Данный КПД называется эксергетическим. В общем виде он записывается [2]:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}} = \frac{N_e + E_Q}{B_e Q_n^p}, \quad (1)$$

где $E_{\text{вых}}$, $E_{\text{вх}}$, E_Q – соответственно эксергия на выходе и входе в систему и эксергия теплоты, Вт; N_e – электрическая мощность системы, Вт; B_e – расход топлива на выработку единицы эксергии, кг/с; Q_n^p – теплотворная способность топлива, Дж/кг.

Для анализа работы котельной из (1) можно вывести зависимость для определения эксергетического КПД с ОЦР-установкой:

$$\eta_e = \frac{N_e^{\text{ПУ}} + E_Q^{\text{КУ}} + N_e^{\text{ОЦР}} + E_Q^{\text{ОЦР}}}{(B_e^{\text{ПУ}} + B_m^{\text{КУ}})Q_n^p}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что затрачиваемая энергия для производства тепловой и электрической мощности складывается из затрат энергоресурсов для ГПУ и котельной установки. А общий эксергетический КПД при использовании ОЦР-установки увеличивается на величину:

$$\frac{N_g^{OCP} + E_Q^{OCP}}{(B_e^{GPPY} + B_m^{KY})Q_n^p}. \quad (3)$$

С учетом затрачиваемой электроэнергии на перекачку промежуточного теплоносителя (термического масла), доля увеличения эксергии и КПД котельной на различных нагрузках аналогично электрическому КПД несколько падает (табл. 2).

Таблица 2
Доля эксергетического КПД ОЦР-установки

	Доля эксергии теплоты контура ОЦР-установки	Электрическая мощность ОЦР-установки	Общая доля эксергии ОЦР-установки	Доля эксергетического КПД
Нагрузка котлов	Q [кВт]	[кВт эл]	[кВт]	%
Нагрузка 1 (летняя)	1646	140,6	1786,6	9,7
Нагрузка 2	2011	170,3	2181,3	8,6
Нагрузка 3 (номинальная)	2203	182,8	2385,8	6,6

Из табл. 2 видно, что при использовании ОЦР-установки в качестве утилизационной установки теплоты уходящих дымовых газов и системы охлаждения двигателя ГПУ в предложенной схеме возможно повышение эксергетического КПД котельной в пределах 6,6÷9,7 % в зависимости от нагрузки котельной.

Выводы

1. Использование комбинированных установок генерации тепловой и электрической энергии ведет к существенному повышению эффективности теплоснабжения, в особенности в районах, не находящихся в радиусе действия крупных ТЭЦ.

2. Использование ОЦР-установок в качестве утилизационных установок значительно повышает эксергетический КПД котельной.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение № 14.B37.21.0296)

Список библиографических ссылок

- Янчошек Л., Кунц П. Органический цикл Ренкина: использование в когенерации // Турбины и дизели, 2012, № 2. – С. 50-53.
- Зайцев Е.Д. Термодинамический метод расчета удельных расходов топлива на электроэнергию и теплоту, отпускаемую ТЭЦ // Новости теплоснабжения, 2012, № 12 (148), www.ntsn.ru.

Solomin I.N. – junior researcher

E-mail: sol11@yande.ru

Daminov A.Z. – candidate of technical sciences

E-mail: daminov@list.ru

Kamalov R.F. – candidate of technical sciences

E-mail: rustemran@mail.ru

**Research Center for power engineering problems of the FBO science, Kazan
Scientific Center of the RAS**

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Lobachevsky st., 2/31

Sadykov R.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Utilization and conversion of unclaimed thermal energy in heat supply systems of district boiler

Resume

Currently, there is an active tendency to use the combined power plants generate heat and electricity, especially in areas that are not within range of the large thermal power plants. Heat Supply organizations operating district heating plants are often beneficial to sacrifice a certain amount of heat, and in consequence of this natural gas as the main fuel for the benefit of generating electricity for their own consumption. For the production of electricity on heat supply source most widely using schemes with gas piston (HCP) and gas turbine (GT) units. The cogeneration unit provides electricity. The task of generating heat more efficiently can give a modern gas boiler, having efficiency at the level of 89-92 %. Using the gas piston unit and the gas turbine unit entails the removal of heat for their efficient operation. This heat is advisable to convert to electricity. For the utilization of unclaimed heat actively apply units operating on organic Rankine cycle (ORC). These units can dispose the thermal energy of the different heat transfer fluids, so they are compatible with a wide range of main power equipment. For existing boiler plant in Kazan was proposed scheme for utilization of heat of exhaust flue gases and the cooling system of the gas piston unit with using a ORC-installation. To evaluate the efficiency of the boiler room together with the installation was proposed the mathematical definition of dependence energetic efficiency of the scheme. Results showed that with the use of CRO-installation of such boilers is possible to increase his efficiency by up of 9,7 %.

Keywords: heat supply system, boiler, combined power source, the organic Rankine cycle.

Reference list

1. Yanchoshek L., Kunz P. Organic Rankine Cycle: the use of a CHP // Turbines and diesels, 2012, № 2. – P. 50-53.
2. Zaitsev E.D. Thermodynamic method for calculating fuel consumption for electricity and heat which is released CHP // News of heat supply, 2012, № 12 (148), www.ntsn.ru.