

УДК 621.311.22 : 620.91

А.С. МАЗУРЕНКО, д-р техн. наук, Г.А. БАЛАСАНЯН, канд. техн. наук

Одесский национальный политехнический университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ УСТАНОВКИ КОГЕНЕРАЦИИ И ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

Для интегрированной системы энергопоставки на базе когенерационной установки и гелиоколлектора предложены критерии оценки эффективности и методика оптимизации параметров тепловой схемы. Установлено, что использование интегрированной системы позволяет эффективно покрыть возникающий дефицит тепла в системе и выполнить согласование графиков электрического и теплового нагрузок потребителя за счет аккумуляции тепла от гелиосистемы и когенерационной установки.

For the integrated power grid system that based on the co-generation plant and heliocollector the criteria of estimation of efficiency and method of parameters optimization of thermal chart is proposed. The use of integrated power grid system allows effectively to cover the nascent deficit of heat in the system and execute the alignment of the charts of thermal and electric loads of user due to accumulation of heat from the heliosystem and the co-generation plant.

Когенерационные установки (КУ) малой мощности (до 1-2 МВт) на базе газопоршневых двигателей-генераторов (ГДГ) находят все более широкое применение для автономного энергоснабжения потребителей. Однако, при их использовании, не всегда в полной мере удается реализовать преимущества когенерационных технологий, поскольку существуют ограничения, определяемые [1, 2]:

- несоответствием графиков тепловой и электрической нагрузок потребителя соответствующим графикам КУ;
- значительной суточной и сезонной неравномерностью как электрической, так и тепловой нагрузок потребителя;
- низкой энергетической эффективностью системы в целом, вследствие наличия значительной доли низкопотенциальной энергии на выходе системы в виде тепла на отопление и горячее водоснабжение (ГВС).

При эксплуатации автономных систем теплоснабжения с использованием солнечных коллекторов также существует ряд ограничений, определяемых следующими факторами:

- суточной и сезонной неравномерностью источника тепла;
- наличием значительной стохастической составляющей при прогнозировании энергоэффективности гелиоколлектора на заданном временном интервале;
- необходимостью использования дополнительных и резервных источников энергии для обеспечения бесперебойного функционирования системы;
- длительным сроком окупаемости системы.

Решить задачу повышения эффективности когенерационных установок малой мощности и конкурентоспособности систем альтернативного теплоснабжения возможно за счет внедрения интегрированных систем энергообеспечения (ИСЭ), сочетающих, в частности, когенерационную установку и гелиоколлектор, благодаря чему снимаются ограничения, присущие в отдельности каждой системе.

В рассматриваемом примере объектом энергоснабжения являются два 200-квартирных жилых дома, для автономного энергообеспечения которых используется

когенерационная установка номинальной электрической мощностью $N_{\text{ном}}^{\text{эл}} = 800$ кВт (производитель – Первомайский з-д «Дизельмаш»), основные эксплуатационные показатели которой:

- расход природного газа — $260 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- низшая теплота сгорания газа — $Q_p^{\text{н}} = 32 \text{ МДж}/\text{м}^3$;
- коэффициент избытка воздуха на двигатель КУ — $\alpha = 1,5$;
- номинальный электрический КПД КУ — $\eta_{\text{эл}} = 35 \%$;
- номинальная утилизированная тепловая мощность КУ — $Q_{\text{ном}}^{\text{утил}} = 1100$ кВт.

Указанные потребители характеризуются несоответствием суточных графиков потребления электроэнергии и утилизированного тепла КУ, используемого в летний период для ГВС. Несмотря на то, что для когенерационных установок на базе ГДГ утилизированное тепло соотносится с генерируемой электроэнергией примерно как $1,5 : 1 - 2 : 1$, при условии полного обеспечения объекта теплом на ГВС, генерируемая электрическая мощность часто превышает потребляемую.

Для покрытия пиковых тепловых нагрузок в неотапительный период, особенно для южных регионов Украины, предлагается использовать интегрированную систему энергоснабжения (рис. 1), которая включает в себя КУ на базе ГДГ и гелиоколлектор соответствующей площади с двумя баками-аккумуляторами — для отдельного аккумулирования тепла гелиосистемой (бак № 1) и когенерационной установкой, с последующим сливом нагретой за день воды в бак-аккумулятор когенерационной установки (бак № 2) [3].

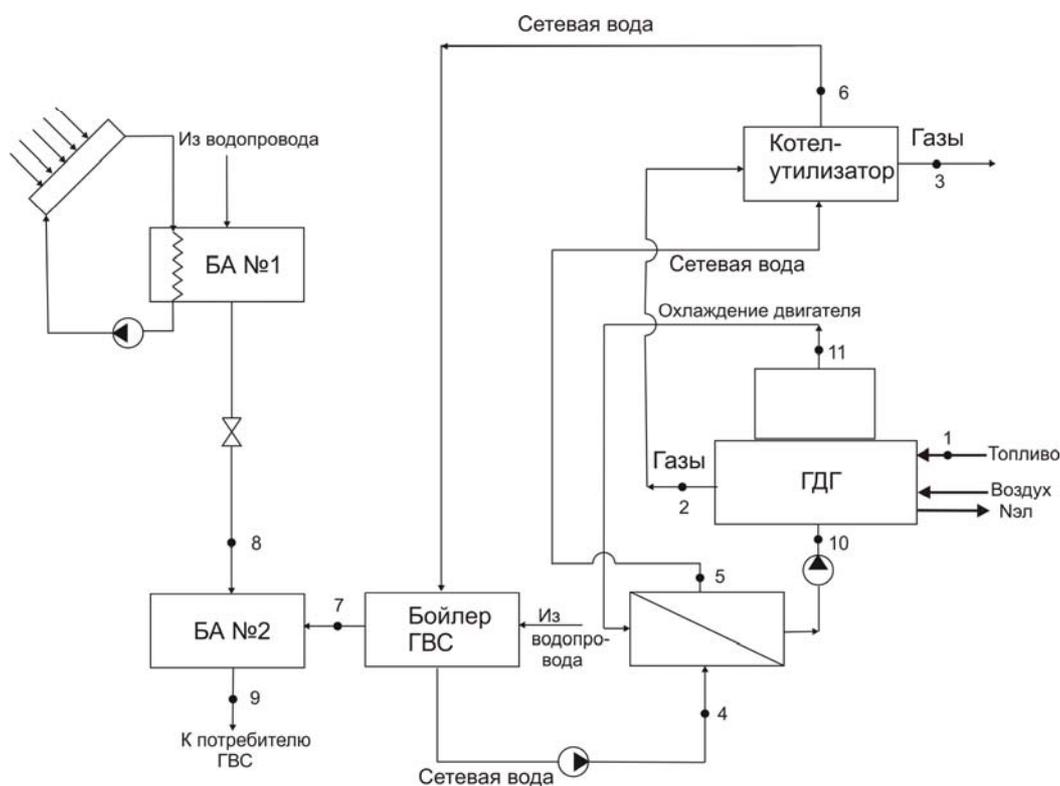


Рис. 1. Интегрированная система энергоснабжения на базе установки когенерации малой мощности и гелиоколлектора

Наличие в рассматриваемой интегрированной системе двух и более видов энергетической продукции, нескольких, отличных по природе и потенциалу источников энергии, затрудняет анализ ее эффективности, требует выбора критериев оценки принимаемых схемных и технологических решений.

В настоящее время для оценки эффективности когенерационных установок малой мощности широко используются методы, основанные на энергетическом балансе, в частности, метод «равноценности теплоты и работы» [4], метод эксергетического баланса [5], характеризующий степень совершенства процесса эксергетическим КПД, коэффициент преобразования энергии $\eta_{\text{эн}}$, который отражает эффективность преобразования подводимой к системе тепловой энергии (энергии топлива, тепла от альтернативных источников и др.) в организованные виды энергии: электроэнергию, тепло на ГВС, отопление, холод и т.д.

При решении задач оптимизации параметров рабочих тел, теплоносителей, характеристик оборудования, выбора рациональной структуры систем энергоснабжения, нашли применение термоэкономические методы, одним из разновидностей которых является эксергоэкономический метод, суть которого заключается в разбивке системы на отдельные энергопреобразующие компоненты, для каждого из которых записывается уравнение баланса стоимости, показывающее, что сумма стоимостей, связанных с процессом транспорта эксергии, равна сумме стоимостей всех видов эксергии плюс соответствующая стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание [6]:

$$\sum_e C_{e,k} + C_{w,k} + Z_k = C_{q,k} + \sum_i C_{i,k}, \quad (1)$$

где $C_{e,k}$, $C_{i,k}$ — соответственно входная и выходная стоимости потоков эксергии в k -м компоненте;

$C_{w,k}$ — стоимость потока эксергии, связанная с затратой работы в компоненте;

$C_{q,k}$ — стоимость потока эксергии, связанная с выводом тепла из компонента;

Z_k — стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание k -го компонента.

Уравнения балансов стоимости для всех компонентов образуют систему линейных уравнений, решение которой определяет стоимость каждого материального и энергетического потока в системе.

При решении данной задачи учитываются также зависимости технологических параметров системы от капитальных затрат на устранение термодинамической неэффективности оборудования и эксплуатационные издержки. Эффективность этих затрат оценивается по эксергоэкономическому фактору:

$$f = \frac{Z}{Z + c_{\text{вх}} \cdot D}, \quad (2)$$

где Z — стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание;

$c_{\text{вх}}$ — стоимость единицы эксергии на входе в систему;

D — деструкция эксергии в компоненте.

Система уравнений для эксергоэкономического анализа тепловой схемы ИСЭ, приведенной на рис. 1, включает в себя:

— уравнение баланса стоимости газопоршневого двигателя-генератора (ГДГ):

$$C_1 + Z_{ГДГ} = C_2 + (C_{11} - C_{10}) + N_{эл} \cdot C_w, \quad (3)$$

где C_w — стоимость одного кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой КУ, грн/(кВт·ч);

$N_{эл}$ — электрическая мощность ГДГ, кВт;

— уравнение баланса стоимости котла-утилизатора:

$$C_2 - C_3 + Z_{КУ} = C_6 - C_5; \quad (4)$$

— уравнение баланса стоимости бойлера горячего водоснабжения:

$$C_7 = C_6 - C_4 + Z_B; \quad (5)$$

— уравнение баланса стоимости промежуточного теплообменника:

$$Z_{ПТ} + C_{11} - C_{12} = C_5 - C_4; \quad (6)$$

— уравнение баланса стоимости гелиосистемы:

$$Z_{ГС} + Z_{БА1} = C_8; \quad (7)$$

— уравнение баланса стоимости БА № 2:

$$Z_{БА2} + C_8 - C_7 = C_9, \quad (8)$$

где $C_k, k = \overline{1,11}$ — стоимости соответствующих потоков, грн/ч;

$Z_{ГДГ}, Z_{КУ}, Z_B, Z_{ПТ}, Z_{ГС}, Z_{БА1}, Z_{БА2}$ — соответственно стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание ГДГ, котла-утилизатора, бойлера, промежуточного теплообменника, гелиосистемы, БА № 1 и БА № 2, грн/ч;

— дополнительные уравнения стоимости для рассматриваемой схемы:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_w = \frac{C_2}{E_2}, \\ \frac{C_2}{E_2} = \frac{C_3}{E_3}, \\ \frac{C_{11} - C_{10}}{E_{11} - E_{10}} = C_w, \\ \frac{C_6}{E_6} = \frac{C_4}{E_4}, \\ \frac{C_4}{E_4} = \frac{C_5}{E_5}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Целевая функция, значение которой минимизируется, равна суммарной стоимости энергетических «продуктов» системы (электроэнергии и тепла на ГВС) и определяется выражением:

$$C_{\Sigma} = C_w \cdot N_{эл} + C_9 \rightarrow \min . \quad (10)$$

Результатом решения задачи являются оптимальные значения потоков эксергии, стоимости потоков эксергии, других технологических параметров в каждой точке тепловой схемы энергопреобразующей системы (таблица 1).

Таблица 1.

№ точки	Наименование потока	Массовый расход, кг/с	Температура, С	Эксергия потока, кВт	Стоимость единицы эксергии, грн/(кВт·ч)	Стоимость потока, грн/ч
1	Топливо	0,062	15	2424	0,051	123,0
	Воздух	1,256	15	0	0	0,00
2	Продукты сгорания после ГДГ	1,312	593,4	391,1	0,094	36,63
3	Продукты сгорания после котла-утилизатора	1,312	170	46,5	0,094	4,35
4	Сетевая вода на промежуточный теплообменник	10	45	73,32	0,265	19,4
4	Сетевая вода после бойлера	10	45	73,32	0,265	19,4
5	Сетевая вода после промежуточного теплообменника	10	61,3	156,51	0,217	33,9
6	Сетевая вода после котла-утилизатора	10	75,9	257,21	0,265	68,0
6	Сетевая вода на бойлер	10	75,9	257,21	0,265	68,0
	Водопроводная вода на бойлер	7,7	15	0	0	0,00
7	Вода на ГВС после бойлера	7,7	55	93,31	0,604	56,3
	Водопроводная вода на БА №1	2,58	15	0	0	0,00
8	Водопроводная вода после БА №1	2,58	55	31,11	0,341	10,6
9	Горячая вода на ГВС	10,3	55	124,42	0,542	67,4
10	Вода перед ГДГ	20	70,0	427,24	0,003	1,5
11	Вода после ГДГ	20	78,1	549,69	0,024	12,9
	Электрическая мощность, кВт	–	–	800	0,0936	74,92

Результаты расчета эффективности элементов системы на основе эксергоэкономического анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Наименование компонента	Деструкция эксергии, кВт, $E_{D,k}$	Эксергетическая эффективность, ϵ_k	Кап. затраты и обслуживание Z_k , грн/ч	Эксергоэкономический фактор, f_k
ГДГ	1111	0,542	30,29	0,416
Котел-утилизатор	243,9	0,292	1,86	0,075
Бойлер	90,6	0,507	7,68	0,243
Вся система	1531	0,376	42,62	0,472

На рис. 2 представлена зависимость основных показателей энергетической эффективности ИСЭ с гелиоколлектором: эксергетического КПД — η_e , коэффициента преобразования тепла в эксергию — $\eta_{эн}$, эксергоэкономического фактора — f и коэффициента использования теплоты топлива $\eta_{КИТ}$ от коэффициента замещения альтернативным источником тепла $K_{зам}$.

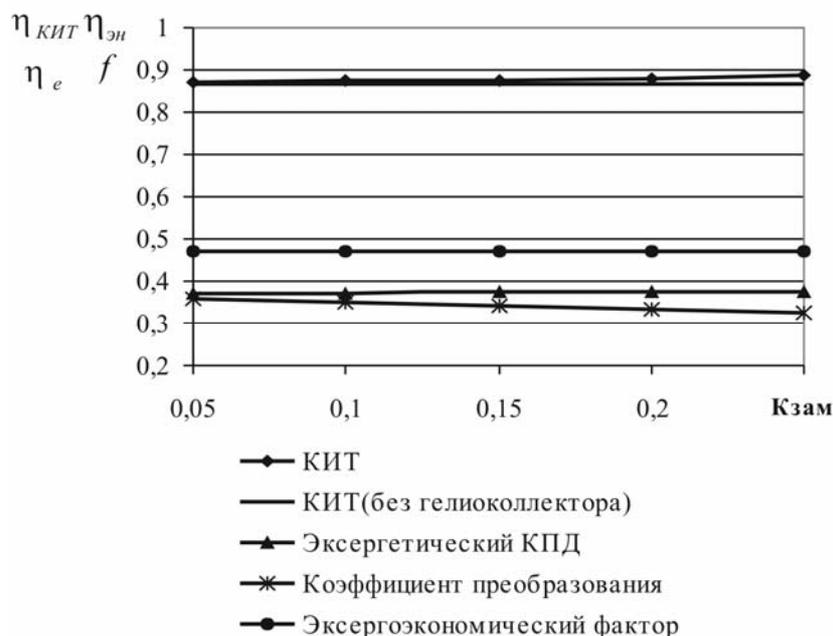


Рис. 2. Зависимость показателей эффективности ИСЭ с гелиоколлектором от коэффициента замещения альтернативным источником

При сравнении соответствующих показателей с системой когенерации без гелиоколлектора можно отметить определенный рост коэффициента использования теплоты $\eta_{КИТ}$ — от 0,865 до 0,886 при соответствующем увеличении $K_{зам}$ и эксергетического КПД η_e — от 0,368 до 0,376, что связано с уменьшением доли использования органического топлива в системе и соответствующим уменьшением деструкции эксергии в системе. Как видно, рост показателей энергетической эффективности системы составляет всего 2-3 %, что объясняется низким эксергетическим потенциалом «продукта» на выходе системы (тепла на ГВС).

Выводы

1. Для интегрированной системы энергоснабжения на базе когенерационной установки и гелиоколлектора, характеризующейся наличием отличных по природе и потенциалу источников энергии, предложены критерии оценки эффективности и методика оптимизации параметров тепловой схемы, которая может быть рекомендована для анализа принимаемых схемных и технологических решений для сложных энергопреобразующих систем.

2. Исследования энергетической эффективности системы, сочетающей когенерационную установку и гелиоколлектор, подтвердили возможность создания более гибких и эффективных систем, использующих альтернативные источники тепла для снижения потерь, неизбежных при преобразовании эксергии топлива в энергетически «малоценные» продукты для коммунально-бытовых потребителей.

3. Установлено, что использование ИСЭ с гелиоколлектором позволяет эффективно и полностью покрывать возникающий дефицит тепла при работе системы по электрическому графику нагрузки при снабжении потребителя теплом на ГВС в летние месяцы и до 70 % — в осенне-весенние месяцы, а также согласовать графики электрической и тепловой нагрузок потребителя за счет аккумулялирования тепла от гелиосистемы и КУ

Литература

1. *Баласаян Г. А., Мазуренко А. С.* Согласование графиков тепловой и электрической нагрузок для систем когенерации малой мощности // Пром. Теплотехника. – 2005. – № 3. – с. 32-39.

2. *Баласаян Г. А., Мазуренко А. С.* Оптимизация параметров тепловой схемы интегрированной системы энергоснабжения // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2006. – Вып. 1(23). – с. 43-48.

3. *Баласаян Г. А., Мазуренко А. С.* Использование аккумулялирования тепла при согласовании графиков тепловой и электрической нагрузок когенерационных установок // Интегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 3. – с. 27-33.

4. *Басок Б. И.* Анализ когенерационных установок. 1. Классификация и основные показатели / Б. И. Басок, Е. Т. Базеев, В. М. Диденко, Д. А. Коломейко // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28. – № 3-4. – с. 83-89.

5. *Бродянский В. М.* Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия, 1973. – 226 с.

6. *Джордж Тсатсаронис.* Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. – Одесса: ООО «Студия «Негоциант»», 2002. – 152 с.

© Мазуренко А.С., Баласаян Г.А., 2007