

УДК 621.311.22:330.131.5

Г.А. Баласанян, канд. техн. наук, доц., Одес. нац. политехн. ун-т

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Г.А. Баласанян. Економічна ефективність інтегрованих систем енергопостачання на базі когенераційних установок та альтернативних джерел енергії. Запропоновано методику оцінювання економічної ефективності інтегрованих систем енергопостачання (ІСЕ) на базі когенераційних установок та альтернативних джерел тепла. Досліджено економічну ефективність ІСЕ з геліоколектором в залежності від частки заміни тепла в системі альтернативним джерелом і цін на паливо. Підтверджено економічну доцільність використання низькопотенційних джерел тепла для зниження витрати палива при енергозабезпеченні комунальних і промислових споживачів.

G.A. Balasanian. Economic efficiency of integrated systems of energy supply on the basis of co-generation facilities and alternative energy sources. The method of evaluating economic efficiency of the integrated systems of energy supply (ISE) on the basis of co-generation facilities and alternative sources of heat is offered. The economic efficiency of ISE with heliocollector depending on the share of replacement of heat in the system by an alternative source and fuel prices is explored. Financial viability of the use of low-potential sources of heat is confirmed, as it reduces of fuel rate at energy supply of communal and industrial users.

Одним из путей повышения эффективности использования первичного топлива является внедрение современных энергосберегающих когенерационных технологий для обеспечения потребностей промышленного и коммунального секторов.

Когенерационные установки (КУ) малой мощности (до 1...2 МВт) на базе газопоршневых двигателей для автономного энергоснабжения потребителей не всегда позволяют полностью реализовать преимущества когенерации вследствие существования ряда ограничений [1, 2].

Решить задачу повышения эффективности когенерационных установок малой мощности и конкурентоспособности систем альтернативного теплоснабжения возможно за счет внедрения интегрированных систем энергообеспечения (ИСЭ), сочетающих когенерационные установки и дополнительные (альтернативные) источники тепла, которые, благодаря своим природным особенностям, способны снять ограничения, присущие в отдельности каждой системе [3].

Наличие в 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.

Для оценки энергетической эффективности ИСЭ используется ряд методов, включая эксергетические, эксергоэкономические и др., которые позволяют решить задачу оптимизации параметров рабочих тел, теплоносителей, характеристик оборудования, а также выбора рациональной структуры интегрированных систем [4, 5].

Для оценки экономической эффективности капиталовложений в ИСЭ различных классов предлагается использовать показатель приведенных затрат, который обеспечивает минимальные расходы на производство, транспорт и потребление энергии и представляет собой сумму расходов расширенного производства, необходимых для получения определенной энергетической продукции на протяжении заданного интервала времени [6, 7].

Для каждого класса ИСЭ приведенные затраты состоят из двух составляющих

$$Z = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{эк}},$$

где $Z_{пр}$ — производственная составляющая, отображающая расходы на создание и эксплуатацию определенного класса ИСЭ с учетом нормируемых отчислений на капиталовложения, грн/год;

$Z_{эк}$ — экологическая составляющая, отображающая общегосударственные расходы на защиту окружающей среды при эксплуатации ИСЭ, грн/год.

Экономический эффект от использования ИСЭ определяется как разность приведенных затрат базовой (при отдельной генерации) Z_1 и интегрированной системой энергоснабжения Z_2

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = (Z_{пр1} - Z_{пр2}) + (Z_{эк1} - Z_{эк2}), \text{ грн/год,}$$

где индексы “1” и “2” соответственно относятся к базовому варианту и варианту энергообеспечения от ИСЭ.

Производственная составляющая рассчитывается на основании показателя экономической эффективности приведенных затрат, грн/год:

— для базового варианта

$$Z_{пр}^б = I_a^б + I_{тпл}^б + I_{тр}^б + I_{зп}^б + I_{сн}^б + I_{пр}^б + E_n K^б$$

— для варианта энергообеспечения от ИСЭ

$$Z_{пр}^{ИСЭ} = I_a^И + I_{тпл}^И + I_{тр}^И + I_{зп}^И + I_{сн}^И + I_{пр}^И + E_n K^И,$$

где $I_a^б, I_{тпл}^б, I_{тр}^б, I_{зп}^б, I_{сн}^б, I_{пр}^б, I_a^И, I_{тпл}^И, I_{тр}^И, I_{зп}^И, I_{сн}^И, I_{пр}^И$ — соответственно амортизационные отчисления, топливная составляющая эксплуатационных расходов, расходы на текущий ремонт, заработную плату, стоимость энергии на собственные нужды, прочие расходы для базового варианта и варианта ИСЭ, грн/год;

$K^б, K^И$ — соответственно капитальные вложения на базовый вариант и вариант ИСЭ, грн;

E_n — нормативный коэффициент, 1/год;

“б” и “И” — индексы, которые соответственно относятся к базовому варианту и ИСЭ.

Годовой экономический эффект по производственной составляющей приведенных затрат

$$\Delta Z_{пр} = Z_{пр}^б - Z_{пр}^И, \text{ грн/год.}$$

Соответственно экономия расходов на топливо при использовании ИСЭ определяется из выражения

$$\Delta Z_{тпл} = Z_{тпл}^б - Z_{тпл}^И = \Delta V Z_{тпл}, \text{ грн/год,}$$

где $Z_{тпл}$ — замыкающие затраты потребителя на топливо, грн/т.у.т.

Замыкающие затраты потребителя на условное топливо $Z_{тпл}$ учитывают расходы на добычу, транспортировку топлива до узловой станции $Z_{тпл0}$, затраты на региональное $Z_{р\text{тпл}}$ и внутреннее распределение топлива $Z_{в\text{тпл}}$, т.е.

$$Z_{тпл} = Z_{тпл0} + Z_{р\text{тпл}} + Z_{в\text{тпл}}.$$

Капитальные вложения в ИСЭ представляются в виде

$$K^И = k^{\text{доп}} Q^{\text{доп}} + k^{\text{КУ}} N_{эл}^{\text{ном}} + k^{\text{др}} (Q^{\text{доп}} + N_{эл}^{\text{ном}}), \text{ грн,}$$

где $k^{\text{доп}}$ — удельные капитальные вложения в дополнительный (альтернативный) источник тепла, которые зависят от его природы и потенциала, грн/кВт;

$k^{\text{КУ}}$ — удельные капитальные вложения в когенерационную установку, как составную часть ИСЭ, грн/кВт;

$k^{\text{др}}$ — удельные капитальные вложения на систему КИПиА и другие вспомогательные системы, которые зависят от мощности ИСЭ, грн/кВт;

$Q_{эл}^{доп}$, $N_{эл}^{ном}$ — соответственно сезонная тепловая мощность дополнительного источника тепла и номинальная электрическая мощность КУ, кВт.

Если производственную составляющую выразить через технико-экономические показатели системы, то выражение для определения производственной составляющей проведенных затрат, отнесенных к единице энергетических продуктов системы примет вид

$$Z_{пр} = I_{КУ} (1 - \varphi) + C, \text{ грн/кВтч}$$

где φ — коэффициент замещения тепловой нагрузки объекта за счет дополнительного (альтернативного) источника;

$I_{КУ}$ — относительные приведенные затраты на когенерационную установку, грн/кВтч;

C — приведенные затраты на дополнительный источник тепла, грн/кВтч, определяемые из выражений, грн/кВтч:

$$I_{КУ} = Z_{тпл} \frac{3600}{\eta_{КИТ} Q_n^p} + a_A (1 + a_{ТР}) \frac{k^{КУ}}{h} + b_{эл}^{КУ} \Pi_{эл} + E_n \frac{k^{КУ}}{h} + n^{КУ} \Phi (1 + a_{пр}),$$

где $\eta_{КИТ}$ — коэффициент использования теплоты топлива КУ;

Q_n^p — теплота сгорания условного топлива, кДж/кг;

$a_{ТР}$, a_A — соответственно доля отчислений на текущий ремонт и амортизацию;

h — число часов использования установленной мощности КУ, ч/год;

$b_{эл}^{КУ}$ — относительный расход электроэнергии на собственные нужды КУ, кВтч/кВтч;

$\Pi_{эл}$ — цена на продаваемую в энергосистему электроэнергию, грн/кВтч.

Φ — относительный фонд заработной платы, грн/(чел год);

$n^{КУ}$ — штатный коэффициент КУ, чел/кВтч;

$a_{пр}$ — доля прочих затрат на оплату труда.

$$C = \delta (k^{дп} + k^{доп}) + n^{доп} \Phi (1 + a_{пр}) + b_{эл}^{доп} \Pi_{эл},$$

где $\delta = \frac{a_A (1 + a_{ТР}) + E_n}{h}$,

$n^{доп}$ — штатный коэффициент дополнительного источника тепла, чел/кВтч;

$b_{эл}^{доп}$ — относительный расход электроэнергии на собственные нужды дополнительного источника тепла, кВтч/кВтч.

Тогда годовой экономический эффект за счет производственной составляющей определяется из выражения, грн/кВтч:

$$\begin{aligned} \Delta Z_{пр} = & \frac{Z_{тпл} 3600}{Q_n^p} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\Sigma}} - \frac{1 - \varphi}{\eta_{КИТ}} \right) + (n^E + n^T - n^{КУ}) \Phi (1 + a_{пр}) + \\ & + [b_{эл}^E + b_{эл}^T - b_{эл}^{КУ} (1 - \varphi) - b_{эл}^{доп}] \Pi_{эл} + E_n \frac{k^E + k^T - k^{КУ}}{h} + \\ & + a_A (1 + a_{ТР}) \frac{k^T + k^E - k^{КУ}}{h} - [\delta (k^{дп} + k^{доп}) + n^{доп} \Phi (1 + a_{пр})], \text{ грн/кВтч,} \end{aligned}$$

где η_{Σ} — результирующий КПД системы при раздельной генерации электроэнергии и тепла,

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\eta_{КИТ}}{\frac{\eta_e^{КУ}}{\eta_e \eta_{тр}} + \frac{\eta_r^{КУ}}{\eta_r}},$$

$\eta_e^{КУ}$, η_e — соответственно электрические КПД КУ и ТЭС конденсационного типа;

η_r^{KY}, η_r — соответственно КПД выработки тепла КУ и котельной;

$\eta_{тр}$ — коэффициент, характеризующий эффективность транспорта электроэнергии в сетях;

n^E, n^T — соответственно штатные коэффициенты для ТЭС и котельной, чел/кВтч;

$b_{эл}^E, b_{эл}^T$ — соответственно относительный расход электроэнергии на собственные нужды для ТЭС и котельной, кВтч/кВтч;

k^E, k^T — соответственно удельные капитальные вложения в ТЭС и котельную, грн/кВт.

При сравнении эффективности базового варианта и ИСЭ с одинаковой энергетической нагрузкой необходимо учитывать, что для ИСЭ достигается снижение уровня загрязнения окружающей среды как за счет когенерационных технологий, так и за счет использования альтернативных источников.

Экологическая составляющая приведенных затрат при использовании ИСЭ, которая учитывает уменьшение уровня загрязнения, складывается из:

— уменьшения выбросов по сравнению с традиционными установками;

— уменьшения влияния на окружающую среду за счет снижения расхода кислорода на сжигание топлива;

— уменьшения расходов на рекультивацию и отчуждение земли под шахты;

— увеличение расходов на отчуждение земли при использовании альтернативных источников энергии.

Экологическая составляющая приведенных затрат определяется как

$$Z_{эк} = Y_{\text{топл}}^{KY} B^{KY} (1 + K_{ИСЭ} - \phi), \text{ грн/кВтч,}$$

где $Y_{\text{топл}}^{KY}$ — убытки от сжигания условного топлива КУ, грн/кг;

B^{KY} — годовой расход условного топлива КУ, кг/год;

$K_{ИСЭ}$ — безразмерный коэффициент, характеризующий расход условного топлива на создание ИСЭ,

$$K_{ИСЭ} = \frac{b^{ИСЭ}}{b},$$

b — удельный расход условного топлива на производство энергии для базового варианта, кг/кВтч;

$b^{ИСЭ}$ — удельный расход условного топлива на создание ИСЭ, кг/кВтч.

Итоговое уравнение для оценки приведенных затрат, отнесенных к единице произведенной энергии с учетом экологической составляющей, можно записать в виде

$$Z_{пр} = I_{КУ} (1 - \phi) + C + Y_{\text{топл}}^{KY} B^{KY} (1 + K_{ИСЭ} - \phi), \text{ грн/кВтч,}$$

а годовой экономический эффект, соответственно,

$$\Delta Z = [I_B - I_{КУ} (1 - \phi)] - C + \frac{(Y_{\text{топл}}^B - Y_{\text{топл}}^{KY} (1 - \phi))(B^B - B^{KY} (1 - \phi))(1 + (K_B - K_{ИСЭ}))}{E^{\text{год}} + Q^{\text{год}}}, \text{ грн/кВтч,}$$

где $K_B = \frac{b^B}{b}$ — безразмерный коэффициент, характеризующий расход условного топлива на создание базового варианта, кг/кВтч;

b^B — удельный расход условного топлива на создание базового варианта, кг/кВтч;

I_B — относительные приведенные затраты для установок раздельной генерации, грн/кВтч;

B^B — годовой расход условного топлива при раздельной генерации, кг/год;

$Y_{\text{топл}}^B$ — убытки от сжигания условного топлива при раздельной генерации, грн/кг;

$E^{\text{год}}, Q^{\text{год}}$ — соответственно годовая выработка системой электроэнергии и тепла, кВтч.

Технико-экономические характеристики рассматриваемых ИСЭ зависят от большого количества входных стоимостных показателей системы и ее составных частей, поэтому в условиях нестабильной экономической ситуации в Украине и соответственно значительной динамики указанных показателей, возникают определенные трудности при определении оптимальных режимов, параметров и конфигурации тепловых схем ИСЭ.

Приведенная методика расчета позволяет учесть влияние основных входных стоимостных показателей системы в конкретных условиях ее применения.

Срок окупаемости системы $T_{\text{окуп}}$

$$T_{\text{окуп}} = \frac{(k^{\text{КУ}} + k^{\text{доп}})}{\Delta Z \cdot 8760}, \text{ ГОД},$$

где 8760 — число часов в календарном году.

Оценка влияния на экономические показатели относительных капитальных затрат на дополнительный источник тепла $k^{\text{доп}}$ детерминировано может быть выполнена только для ИСЭ с гелиоколлектором, для которого они, в основном, определяются стоимостью 1 м^2 его поверхности, поэтому на рисунках 1 и 2 соответственно графически представлены зависимости удельного экономического эффекта ΔZ и срока окупаемости системы $T_{\text{окуп}}$ от коэффициента замещения дополнительного источника ϕ при изменении затрат на топливо, рассчитанные с учетом капитальных вложений в гелиоколлектор (стоимость 1 м^2 гелиоколлектора принята из расчета около 500 грн.).

Приведенные зависимости показывают, что наличие в системе альтернативного источника тепла существенно влияет на экономические показатели когенерационной установки. Так, ощутимый экономический эффект достигается при цене на газ более 1 грн/м^3 , при этом простой срок окупаемости капиталовложений составляет около 3 лет.

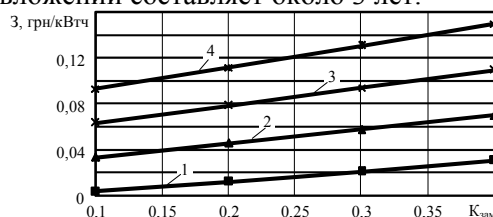


Рис. 1. Зависимость удельного экономического эффекта ΔZ от коэффициента замещения дополнительного источника ϕ для ИСЭ с гелиоколлектором в зависимости от цены газа: 0,5 (1), 0,75 (2), 1 (3), 1,25 грн/м^3 (4)

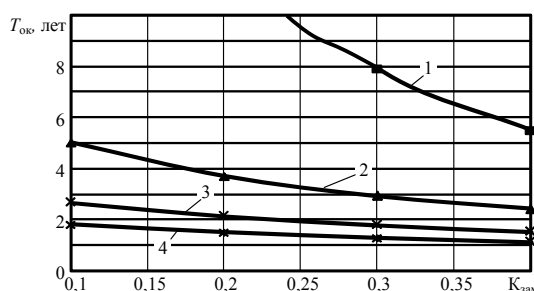


Рис. 2. Зависимость срока окупаемости системы $T_{\text{окуп}}$ от коэффициента замещения дополнительного источника ϕ для ИСЭ с гелиоколлектором в зависимости от цены газа: 0,5 (1), 0,75 (2), 1 (3), 1,25 грн/м^3 (4)

Таким образом, для интегрированных систем энергоснабжения на базе установок когенерации, характеризующихся наличием нескольких видов энергетической продукции и несколькими, отличными по природе и потенциалу источниками энергии, предложена методика оценки

экономической эффективности, которая может быть использована для анализа принимаемых схемных и технологических решений.

Установлено, что наличие в системе альтернативного источника тепла существенно влияет на экономические показатели ИСЭ, а экономическая целесообразность использования ИСЭ с гелиоколлектором обеспечивается при цене на газ 1 грн/м³ и выше.

Литература

1. Баласанян Г.А. Согласование графиков тепловой и электрической нагрузок для систем когенерации малой мощности / Баласанян Г.А., Мазуренко А.С. // Пром. Теплотехника. — 2005. — № 3. — С. 32 — 39.
2. Баласанян Г.А. Оптимизация параметров тепловой схемы интегрированной системы энергообеспечения / Баласанян Г.А., Мазуренко А.С. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2006. — Вып. 1(23). — С. 43 — 48.
3. Долинский А.А. Основные положения проекта “Когенерация – аккумулярование – тепловые насосы” (Использование летней теплоты когенерационных ТЭС для теплоснабжения в отопительный сезон) / Долинский А.А., Накорчевский А.И. // Пром. теплотехника. — 2006. — № 4. — С. 72 — 79.
4. Баласанян Г.А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2006. — № 3. — С. 9 — 12.
5. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. — Одесса: ООО “Студия “Негоциант”, 2002. — 152 с.
6. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. — М.: ЦНИИПИ, 1977. — 198 с.
7. Табунщиков Ю.А. Оценка экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин // АВОК. — 2005. — № 7. — С. 10 — 22.

Поступила в редакцию 1 ноября 2006 г.
