

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ОЦЕНИВАНИЮ ЭНЕРГО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С КОГЕНЕРАЦИОННО- ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ И ПИКОВЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Предложены методические основы по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности систем энергообеспечения (СЭ) с когенерационно-теплонасосными установками (КТНУ) разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты (ПИТ) с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Ключевые слова: методические основы, энерго-эколого-экономическая эффективность, система энергоснабжения, когенерационно-теплонасосная установка, пиковый источник теплоты.

Введение

Принимая во внимание актуальность энерго- и ресурсосбережения, а также повышение эффективности энергоиспользования в системах теплоснабжения и энергоснабжения, за последние годы вопросам по исследованию энергетической и экономической эффективности СЭ с КТНУ был посвящен ряд публикаций [1 – 11], проведены исследования по разработке методов оценки энергетической и энергоэкономической эффективности применения комбинированных КТНУ в тепловых схемах источников энергоснабжения. В работах [6 – 11] проведено исследование по оценке энергетической и экономической эффективности систем энергоснабжения на основе парокомпрессионных теплонасосных установок (ТНУ), а также когенерационно-теплонасосных установок. В публикациях [6 – 11] подтверждена высокая энергетическая эффективность систем энергоснабжения с КТНУ. В публикациях [7, 11] предложены методические основы по оцениванию энергоэкономической эффективности систем энергоснабжения с КТНУ разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии. В работах [1 – 11] авторы не предлагают методические основы по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Целью исследования является разработка методических основ по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Основная часть

В нашем исследовании предложены методические основы для комплексного оценивания энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ (с приводом от газопоршневого двигателя (ГПД)) разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты (например, водогрейным топливным котлом, электрокотлом, солнечными коллекторами и т. п.). Схемы исследуемых СЭ с КТНУ приведены в работах [1, 12]. Применение указанных СЭ имеет ряд энергетических преимуществ, что определено в публикациях [6, 10].

Кроме энергетических преимуществ, применение СЭ с КТНУ приводит к уменьшению загрязнения окружающей среды (в том числе и теплового) и уменьшению вредных выбросов в атмосферу. Когенерационный привод компрессоров ТНУ в СЭ может быть обеспечен на основе газовых двигателей-генераторов, которые выпускают украинские предприятия: "Первомайскдизельмаш" и ГП "Завод им. В. А. Малышева". В исследованиях [6 – 7, 11] предложены методические основы по оцениванию энергетической и энергоэкономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ.

В работе [7] обоснованы показатели по оценке энергоэкономической эффективности СЭ на основе комбинированных КТНУ и ПИТ с целью определения энергоэффективных и экономически обоснованных режимов работы СЭ на основе комбинированных КТНУ и ПИТ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Как отмечено в работах [6 – 7, 11], энергетическую эффективность СЭ в значительной степени определяет оптимальное распределение нагрузки между элементами СЭ: когенерационно-теплонасосной установкой и пиковым источником теплоты (например, водогрейным топливным котлом, электрокотлом, солнечными коллекторами и т. п.) в составе СЭ и уровней энергоэффективности этих элементов СЭ. Оптимальное распределение тепловой нагрузки между элементами СЭ может быть определено долей нагрузки КТНУ в составе СЭ β [6 – 7, 11], которая равна соотношению тепловых мощностей КТНУ (с учетом мощности утилизационного оборудования когенерационного привода КТНУ на основе исследования [6]) и СЭ.

В наших исследованиях [6 – 7, 11] проанализирована энергетическая эффективность системы «Источник приводной энергии СЭ – СЭ – потребитель теплоты от СЭ» на примере СЭ на основе парокompрессионных ТНУ с когенерационным приводом и пиковых источников теплоты с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ и ПИТ с целью определения энергоэффективных и экономически обоснованных режимов работы СЭ. В работах [6 – 7, 11] предложено осуществлять комплексную оценку энергетической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ по комплексному безразмерному критерию энергетической эффективности СЭ $K_{СЭ}$, который учитывает безразмерные критерии энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ}$ и ПИТ $K_{ПИТ}$ и распределение тепловой нагрузки между этими элементами СЭ. Безразмерный критерий энергоэффективности парокompрессионных КТНУ $K_{КТНУ}$, предложенный и обоснованный в исследованиях [6, 8], был получен на основе уравнения энергетического баланса для системы «Источник приводной энергии КТНУ – КТНУ – потребитель теплоты от КТНУ» с учетом влияния источников приводной энергии парокompрессионных КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к КТНУ.

Безразмерный критерий энергоэффективности электрокотла в качестве пикового источника теплоты в составе СЭ $K_{ПИТ}$, предложенный в исследовании [6], был получен на основе уравнения энергетического баланса для систем «Источник электрической энергии – электрический котел – потребитель теплоты от СЭ» с учетом влияния источников энергии для пикового электрокотла и с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении электрической

энергией электрокотла. Безразмерный критерий энергоэффективности водогрейного топливного котла в качестве пикового источника теплоты в составе СЭ $K_{ПИТ}$, предложенный в исследовании [6], был определен на основе уравнения энергетического баланса для систем «Источник электрической энергии и топлива – топливный котел – потребитель теплоты от СЭ» с учетом влияния источников энергии для пикового топливного котла и с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении электрической энергией котла. Согласно исследованию [6], для случаев использования альтернативных пиковых источников теплоты в СЭ (например, солнечных коллекторов для СЭ с КТНУ небольшой мощности) значение безразмерного критерия энергоэффективности ПИТ в СЭ $K_{ПИТ}$ будет равно КПД альтернативного пикового источника теплоты $\eta_{АПИТ}$ или КПД дополнительной системы с альтернативным пиковым источником теплоты $\eta_{АПИТ}^c$.

Комплексный безразмерный критерий энергоэффективности СЭ $K_{СЭ}$, предложенный в исследованиях [6 – 7], используют для выбора наиболее эффективного ПИТ для определенного вида СЭ с КТНУ. В работе [6] отмечено, что комплексный безразмерный критерий энергоэффективности СЭ $K_{СЭ}$ используют для выбора наиболее эффективного пикового источника теплоты для определенного вида СЭ с КТНУ и энергоэффективных режимов работы указанных СЭ при условии $K_{СЭ} > 1$.

В исследовании [7] предложено осуществлять комплексную оценку энергоэкономической эффективности СЭ на основе КТНУ и ПИТ по комплексному обобщенному безразмерному критерию энергоэкономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ, который имеет вид:

$$K_{СЭ}^{эн.эк.} = K_{СЭ} + \Delta E_i^{СЭ} = (1 - \beta) \cdot K_{ПИТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{СЭ}, \quad (1)$$

где $\Delta E_i^{СЭ}$ – относительная экономическая эффективность (в долях) для СЭ на основе КТНУ и ПИТ для i -го режима работы СЭ, которую определяют следующим образом:

$$\Delta E_i^{СЭ} = \frac{(E_{ИТ})_i - (E_{СЭ})_i}{(E_{ИТ})_i}, \quad (2)$$

где $(E_{ИТ})_i$ – эксплуатационные затраты для i -го режима работы замещаемого источника тепловой энергии (ИТ), $(E_{СЭ})_i$ – эксплуатационные затраты для i -го режима работы СЭ.

Как отмечено в [7, 11], экономически эффективные режимы работы СЭ с КТНУ будут обеспечены при условии $\Delta E_i^{СЭ} > 0$. Энергоэффективные и экономически обоснованные режимы работы СЭ с комбинированными КТНУ и ПИТ будут обеспечены при условии $K_{СЭ}^{эн.эк.} > 1$. Чем больше будет значение показателя $K_{СЭ}^{эн.эк.}$, тем более энергоэффективными, экономически эффективными и конкурентоспособными будут СЭ с КТНУ и ПИТ.

Методические основы по оцениванию энергоэффективности СЭ с КТНУ и ПИТ изложены в исследованиях [6, 8 – 10, 13 – 16]. Методические основы по оцениванию энергоэкономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ представлены в исследованиях [7, 11]. Методические основы по оцениванию энергоэкологической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ (частный случай СЭ с КТНУ и ПИТ – теплонасосная станция) на природных и промышленных источниках теплоты при переменных режимах работы изложены в исследовании [17]. Методические основы по оцениванию энергетического, экологического и экономического аспектов эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ (частный случай СЭ с КТНУ и ПИТ – теплонасосная станция) на природных и промышленных источниках теплоты представлены в исследованиях [18 – 19].

Следует отметить, что в работах [17 – 19] не проведены комплексные исследования по оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ разных уровней мощности и ПИТ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых

источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

В нашем исследовании предложено осуществлять комплексную оценку энерго-эколого-экономической эффективности СЭ на основе КТНУ и ПИТ по комплексному обобщенному безразмерному критерию энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ:

$$K_{СЭ}^{компл} = K_{СЭ} + \Delta E_i^{СЭ} + \Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ} = (1 - \beta) \cdot K_{ПИТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{СЭ} + \Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ}, \quad (3)$$

где $\Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ}$ – относительная экологическая эффективность (в долях) для СЭ на основе КТНУ и ПИТ для i -го режима работы СЭ, которую определяют следующим образом:

$$\Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ} = \frac{(\mathcal{E}K_{ИТ})_i - (\mathcal{E}K_{СЭ})_i}{(\mathcal{E}K_{ИТ})_i}, \quad (4)$$

где $(\mathcal{E}K_{ИТ})_i$ – количество вредных выбросов в атмосферу для i -го режима работы замещаемого источника тепловой энергии (ИТ), $(\mathcal{E}K_{СЭ})_i$ – количество вредных выбросов в атмосферу для i -го режима работы СЭ с КТНУ и ПИТ.

Показатель относительной экологической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ $\Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ}$ оценивает уменьшение вредных выбросов в атмосферу (в долях) от применения СЭ с КТНУ и ПИТ для i -го режима работы СЭ по сравнению с работой альтернативного замещаемого источника тепловой энергии. Учитывают вредные выбросы в атмосферу при сжигании топлива в котлах, а также вредные выбросы при производстве электроэнергии на электростанциях или в источнике приводной энергии КТНУ.

Как отмечено в исследовании [6], энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и ПИТ будут обеспечены при условии $K_{СЭ} > 1$. Как указано в работах [7, 11], экономически эффективные режимы работы СЭ с КТНУ и ПИТ будут обеспечены при условии $\Delta E_i^{СЭ} > 0$. В нашем исследовании определено, что экологически безопасные и эффективные режимы работы СЭ с КТНУ и ПИТ будут обеспечены при условии $\Delta \mathcal{E}K_i^{СЭ} > 0$. Указанные показатели разных аспектов эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ также используют для выбора наиболее эффективного пикового источника теплоты для определенного вида СЭ с КТНУ и энерго-эколого-экономически эффективных режимов работы указанных СЭ при условии $K_{СЭ} > 1$.

Экологически безопасные, энергоэффективные и экономически обоснованные режимы работы СЭ с комбинированными КТНУ и ПИТ будут обеспечены при условии $K_{СЭ}^{компл} > 1$. Чем больше будет значение показателя $K_{СЭ}^{компл}$, тем более энергоэффективными, экологически безопасными, экономически эффективными и конкурентоспособными будут СЭ с КТНУ и ПИТ.

Предложенные методические основы по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ имеют ряд преимуществ:

- учитывают энергетическую эффективность и уровни мощности элементов СЭ;
- учитывают режимы работы парокompрессионных ТНУ;
- учитывают энергетическую эффективность ПИТ в СЭ и вид потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергией ПИТ и СЭ;
- учитывают экологическую эффективность ПИТ в СЭ и вид потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергией ПИТ и СЭ;
- учитывают энергетическую эффективность переменных режимов работы СЭ с изменением распределения нагрузки между парокompрессионными КТНУ и ПИТ в СЭ;
- позволяют оценивать комплексное влияние на энергетическую, экологическую и экономическую эффективность СЭ с КТНУ и ПИТ таких факторов: переменных режимов рабо-

ты СЭ, пиковых источников теплоты СЭ, источников приводной энергии парокompрессионных КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ и СЭ;

— позволяют комплексно оценивать энерго-эколого-экономическую эффективность значительного количества вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ при переменных режимах работы;

— могут быть использованы для выбора наиболее энергоэффективного, экологически безопасного и экономически обоснованного ПИТ для определенного вида СЭ;

— предложенные методические основы могут быть использованы для комплексного оценивания энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с ПИТ и КТНУ с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями ТНУ.

Применение предложенных методических основ по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ продемонстрируем на конкретных примерах.

На рис. 1 и 2 показаны результаты оценки энерго-эколого-экономической эффективности вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ. В нашем исследовании значения безразмерного критерия энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ определены при условиях изменения доли нагрузки КТНУ в диапазоне $\beta = 0,1 \dots 1,0$. Исследования проводили для режимов энергоэффективной работы КТНУ с $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 2,1$ (при условиях максимальной эффективности ГПД) и с $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 1,6$ (при условиях минимальной эффективности ГПД) на основе результатов исследований [6, 8].

На рис. 1 показана область энергоэкономичной и экологически безопасной работы СЭ с использованием теплоты грунта с КТНУ малой мощности и пиковым электрическим котлом, с потреблением электрической энергии от КТНУ. Эта область определена по показателю энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ из формулы (3) при условиях минимальной эффективности ГПД и пикового электрического котла.

В нашем исследовании, согласно [6, 8], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{ЭД} = 0,31$, значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0,8$. Пиковым источником теплоты в СЭ предусмотрена электрическая котельная с $\eta_{ЭК} = 0,9$. Значение безразмерного критерия энергоэффективности электрического котла в случае потребления электроэнергии от КТНУ, согласно [6], составляет $K_{ПИТ}^{ЭК} = 0,223$. С целью оценивания относительной экологической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ как альтернативный источник теплоты предусмотрена электрическая котельная соответствующей мощности.

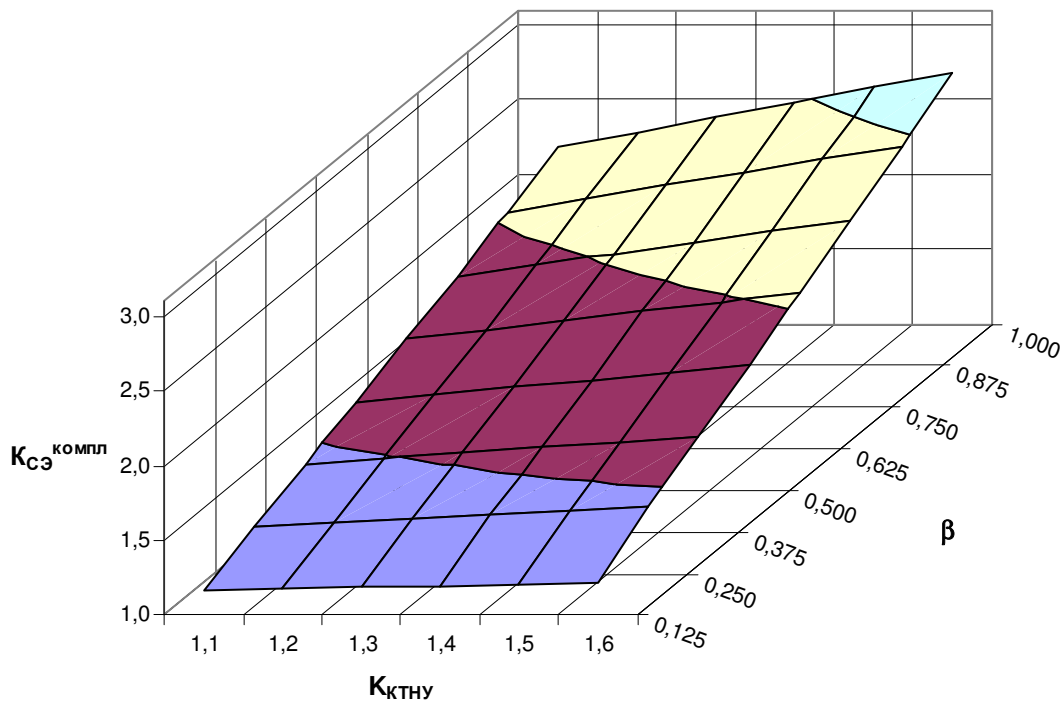


Рис. 1. Область энергоэкономичной и экологически безопасной работы СЭ с использованием теплоты грунта с КТНУ малой мощности и пиковым электрическим котлом при условиях минимальной эффективности ГПД и пикового электрического котла и потреблением электрической энергии от КТНУ

На рис. 2 показана область энергоэкономичной и экологически безопасной работы СЭ с использованием теплоты сточных вод с КТНУ большой мощности и пиковым топливным котлом на природном газе. Эта область определена по показателю энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ из формулы (3) при условиях максимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла. В нашем исследовании, согласно [6, 8], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,42$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,9$. Пиковым источником теплоты в СЭ предусмотрена топливная котельная с $\eta_{тк} = 0,9$. Значение безразмерного критерия энергоэффективности топливного котла, согласно [6], составляет $K_{пит}^{тк} = 0,9$. С целью оценивания относительной экологической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ как альтернативный источник теплоты предусмотрена топливная котельная соответствующей мощности на природном газе.

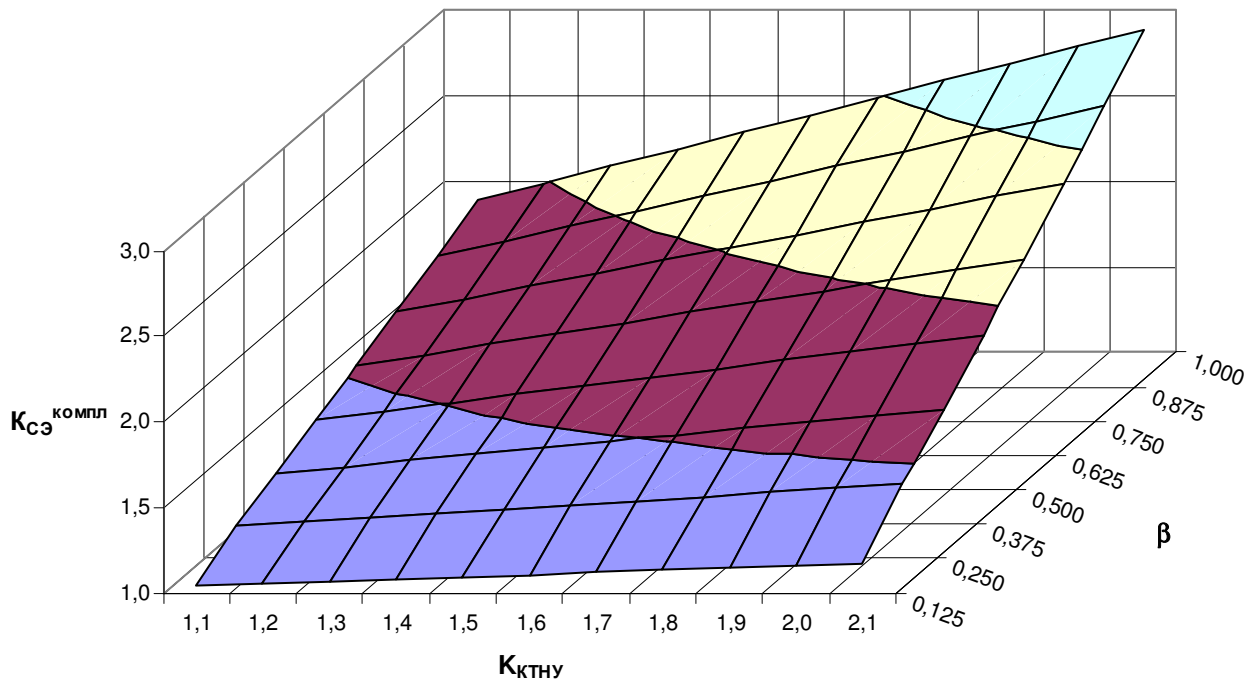


Рис. 2. Область энергоэкономичной и экологически безопасной работы СЭ с использованием теплоты сточных вод с КТНУ большой мощности и пиковым топливным котлом при условиях максимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

Предложенные методические основы позволяют определить области высокой энергоэкономической эффективности и экологически безопасной работы СЭ с КТНУ и ПИТ и разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ и ПИТ.

Для практического применения предложенных методических основ по комплексному оцениванию энерго-эколога-экономической эффективности разных вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ мы предлагаем использовать результаты исследований [6 – 11, 13 – 19].

Выводы

В статье предложены методические основы по комплексному оцениванию энерго-эколога-экономической эффективности систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками разных уровней мощности и пиковыми источниками теплоты с учетом комплексного влияния переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты в СЭ, источников приводной энергии КТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Предложенные методические основы по комплексному оцениванию энерго-эколога-экономической эффективности СЭ с КТНУ и ПИТ имеют ряд преимуществ:

- учитывают энергетическую эффективность и уровни мощности элементов СЭ;
- учитывают режимы работы парокompрессионных ТНУ;
- учитывают энергетическую эффективность ПИТ в СЭ и вид потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергией ПИТ и СЭ;
- учитывают экологическую эффективность ПИТ в СЭ и вид потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергией ПИТ и СЭ;
- учитывают энергетическую эффективность переменных режимов работы СЭ с изменением распределения нагрузки между парокompрессионными КТНУ и ПИТ в СЭ;
- позволяют оценивать комплексное влияние на энергетическую, экологическую и экономическую эффективность СЭ с КТНУ и ПИТ таких факторов: переменных режимов рабо-

ты СЭ, пиковых источников теплоты СЭ, источников приводной энергии парокompрессионных КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ и СЭ;

— позволяют комплексно оценивать энерго-эколого-экономическую эффективность значительного количества вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ при переменных режимах работы;

— могут быть использованы для выбора наиболее энергоэффективного, экологически безопасного и экономически обоснованного ПИТ для определенного вида СЭ;

— предложенные методические основы могут быть использованы для комплексного оценивания энерго-эколого-экономической эффективности СЭ с ПИТ и КТНУ с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями ТНУ.

Предложенные методические основы позволяют определить области высокой энергоэкономической эффективности и экологически безопасной работы СЭ с КТНУ и ПИТ и разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ и ПИТ.

Для практического применения предложенных методических основ по комплексному оцениванию энерго-эколого-экономической эффективности разных вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ мы предлагаем использовать результаты исследований [6 – 11, 13 – 19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко С. Й. Парокompресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
 2. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps [Электронный ресурс] / P. Richard [et. al.] // Energy, sustainability and society. – 2015. – № 5 (16). – Режим доступа до журн. : <https://doi.org/10.1186/s13705-015-0044-x>.
 3. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems / S. Mueller [et. al.] // Energy technology. – 2014. – № 2 (1). – P. 83 – 89.
 4. Билека Б. Д. Когенерационно-теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 52 – 57.
 5. Сафьянц С. М. Исследование схемы источника теплоэлектроснабжения с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов / С. М. Сафьянц, Н. В. Колесниченко, Т. Е. Веретенникова // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 79 – 85.
 6. Энергетическая эффективность систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок и пиковых источников теплоты [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко // Научные труды ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/490>.
 7. Показники енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, В. М. Портнов, А. Д. Волошин // Електронне наукове видання матеріалів XLVI науково-технічної конференції Вінницького національного технічного університету (22 – 24 березня 2017 р., Вінниця). – Режим доступа : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2875/2248>.
 8. Энергетическая эффективность парокompрессионных тепловых насосов с электрическим и когенерационным приводами [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Научные труды ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/469>.
 9. Энергетические преимущества применения парокompрессионных тепловых насосов с электрическим и когенерационным приводами [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Научные труды ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/452>.
 10. Энергетическая эффективность систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Научные труды ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/479>.
 11. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т. 81, Вип. 1. – С. 136 – 141.
 12. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
 13. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Т. 2, Вип. 47. – С. 157 – 162.
 14. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p.
- Научные труды ВНТУ, 2017, № 3

15. Комплексная оценка энергетической эффективности парокомпрессионных теплонасосных станций с когенерационным приводом [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко // Научные труды ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/2>.
16. Энергетическая эффективность теплонасосных станций с разными источниками теплоты при переменных режимах работы [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко, Е. В. Бакум // Научные труды ВНТУ. – 2013. – № 4. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/399>.
17. Энергоэкологическая эффективность теплонасосных станций на природных и промышленных источниках теплоты при переменных режимах работы [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, И. А. Валигура, А. Д. Коваленко // Научные труды ВНТУ. – 2013. – № 2. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/381>.
18. Энергетическая, экологическая и экономическая эффективность парокомпрессионных теплонасосных установок по сравнению с альтернативными источниками теплоснабжения [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, А. М. Слободянюк // Научные труды ВНТУ. – 2014. – № 2. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/417>.
19. Энергетический, экологический и экономический аспекты эффективности теплонасосных станций на природных и промышленных источниках теплоты [Электронный ресурс] / О. П. Остапенко, Е. В. Бакум, А. В. Ющишина // Научные труды ВНТУ. – 2013. – № 3. – Режим доступа до журн. : <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/389>.

Остапенко Ольга Павловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, e-mail: ostapenko1208@gmail.com.

Винницкий национальный технический университет.