

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

ОБЛАСТИ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ И ТОПЛИВНЫМИ КОТЛАМИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Предложен подход по определению областей высокой энергоэффективности систем энергообеспечения (СЭ) с когенерационно-теплонасосными установками (КТНУ) малой мощности и топливными котлами (ТК) в системах теплоснабжения при условиях оптимальных режимов работы КТНУ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных теплонасосных установок (ТНУ) малой мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Ключевые слова: область высокой энергоэффективности, энергоэффективность, система энергоснабжения, когенерационно-теплонасосная установка, топливный котел, система теплоснабжения, безразмерный критерий энергетической эффективности.

Введение

Исследование режимов энергоэффективной работы систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками проведено в ряде публикаций [1 – 13]. Исследование и оценка энергоэффективности СЭ с пиковыми источниками теплоты (ПИТ) и комбинированными КТНУ с газопоршневыми двигателями-генераторами (ГПД) проведены в работе [9], определены эффективные режимы работы этих СЭ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии. В исследовании [10] на основе разработанных методических основ проведена оценка энергоэффективности систем энергоснабжения с комбинированными КТНУ и ПИТ при условиях оптимальных режимов работы КТНУ для систем теплоснабжения, определены энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и ПИТ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Согласно [9 – 12], оптимальное распределение нагрузки между КТНУ и ПИТ (например, водогрейным топливным котлом, электрокотлом, солнечными коллекторами и тому подобное) в составе СЭ в значительной степени определяет энергетическую эффективность указанных СЭ. Такое распределение характеризует доля нагрузки КТНУ в составе СЭ β , которую определяют как отношение тепловой мощности КТНУ к тепловой мощности СЭ $\beta = Q_{КТНУ}/Q_{СЕ}$. Оптимальные значения показателя β для СЭ с различными источниками теплоты для КТНУ при переменных режимах работы тепловой сети были определены на основе анализа результатов проведенных исследований [14 – 16].

В работе [9] предложено проводить комплексную оценку энергоэффективности СЭ с КТНУ и ПИТ по комплексному безразмерному критерию энергоэффективности:

$$K_{СЭ} = (1 - \beta) \cdot K_{ПИТ} + \beta \cdot K_{КТНУ}, \quad (1)$$

где $K_{ПИТ}$ – безразмерный критерий энергоэффективности пикового источника теплоты в составе СЭ (водогрейного топливного котла (ТК), электрокотла (ЭК), солнечных коллекторов и тому подобное), $K_{КТНУ}$ – безразмерный критерий энергоэффективности комбиниро-

ванных КТНУ в составе СЭ из исследований [3, 8 – 10].

Предложенный в исследованиях [3, 8 – 10] безразмерный критерий энергоэффективности парокompрессионных ТНУ с когенерационным приводом $K_{КТНУ}$ был получен на основе уравнения энергетического баланса для системы «Источник приводной энергии ТНУ – ТНУ – потребитель теплоты от ТНУ» с учетом влияния источников приводной энергии парокompрессионных ТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ. При условии $K_{КТНУ} = 1$ комбинированная КТНУ передает в СЭ такую же тепловую мощность, которая была затрачена для выработки электроэнергии для привода ТНУ. Чем больше значение этого показателя, тем более эффективной и конкурентоспособной будет СЭ с КТНУ.

В исследовании [9] определены области энергоэффективной работы КТНУ разных уровней мощности, полученные на основе исследования [8] и определенные по безразмерному критерию энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ}$ в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ φ_d и эффективного КПД ГПД $\eta_{ЭД}$. Энергоэффективные режимы работы КТНУ соответствуют условию $K_{КТНУ} > 1$. Полученные в [9] высокие значения безразмерного критерия энергоэффективности для СЭ с КТНУ свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем энергоснабжения.

Безразмерный критерий энергоэффективности пикового источника теплоты – водогрейного топливного котла – в составе СЭ $K_{ПИТ}$, согласно [9], получен на основе уравнения энергетического баланса для систем «Источники 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 (котельной). В работе [10] определено, что энергоэффективность СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами почти в два раза может превышать энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов для работы в системах теплоснабжения.

В исследовании [11] при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ и режимах энергоэффективной работы КТНУ определены области энергоэффективной работы и энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами для разных уровней мощности и энергоэффективности элементов СЭ. Определено, что предложенные в исследовании [11] СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,4$. При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как энергоэффективные системы энергоснабжения.

Для режимов энергоэффективной работы КТНУ в СЭ и при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ в исследовании [12] определены области энергоэффективной работы и энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами в системах теплоснабжения для разных уровней мощности и энергоэффективности элементов СЭ.

В работах [1 – 13] авторами не определены области высокой энергоэффективности систем энергоснабжения с КТНУ малой мощности и ТК в системах теплоснабжения при условиях оптимальных режимов работы КТНУ, с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ малой мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Целью исследования является определение областей высокой энергоэффективности систем энергоснабжения с КТНУ малой мощности и ТК в системах теплоснабжения, при условиях оптимальных режимов работы КТНУ, определение высокоэффективных режимов работы СЭ с КТНУ малой мощности и ТК с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ малой мощности, с

учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Основная часть

В исследовании проведена оценка высокоэффективных режимов работы систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками малой мощности и топливными котлами при работе в системах теплоснабжения. Исследовали энергоэффективность систем энергоснабжения с парокompрессионными ТНУ малой мощности (до 1 МВт) с когенерационным приводом от газопоршневого двигателя-генератора. Пиковыми источниками теплоты в СЭ были предусмотрены топливные котлы. Исследуемые СЭ с комбинированными КТНУ и ТК могут полностью или частично обеспечивать собственные нужды в электрической энергии и обеспечивать потребности отопления и горячего водоснабжения потребителей. Схемы систем энергоснабжения с комбинированными КТНУ малой мощности и ТК приведены в работах [1, 17]. Методические основы по оцениванию энергоэффективности СЭ с КТНУ и ТК для систем теплоснабжения изложены в исследованиях [10, 12].

Области высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК для теплоснабжения могут быть определены из зависимостей, предложенных в исследовании [12], при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > 1$ для режимов энергоэффективной работы КТНУ в СЭ. При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, которые могут составить конкуренцию современным высокоэффективным электрическим и топливным котлам в системах теплоснабжения и энергоснабжения. В нашем исследовании области высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения определены при условиях оптимальных режимов работы КТНУ на основе исследований [8 – 12].

Предложенный подход по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения имеет ряд преимуществ:

- учитывает переменные режимы работы СЭ для теплоснабжения на протяжении года с изменением распределения нагрузки между парокompрессионными КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами в СЭ;

- позволяет определить области и режимы высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами для теплоснабжения, при которых энергоэффективность исследуемых СЭ значительно превышает энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов;

- предложенные в [9, 10, 12] методические основы и приведенные в настоящей статье результаты исследований могут быть использованы для определения областей высокой энергоэффективности СЭ с ТК и парокompрессионными КТНУ малой мощности с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями в системах теплоснабжения;

- позволяет разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ малой мощности и ТК с разными схемными решениями для систем теплоснабжения.

Применение предложенных подходов по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения продемонстрируем на конкретных примерах.

На рис. 1 – 2 показаны результаты исследований по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК в системах теплоснабжения для случаев переменной нагрузки КТНУ в составе СЭ и оптимальных значений доли нагрузки КТНУ β , для режимов энергоэффективной работы КТНУ на основе результатов исследований [8 – 12]. Исследованы значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК для случаев сезонной переменной нагрузки КТНУ в составе СЭ для оптимальных значений доли нагрузки КТНУ в диапазоне $\beta = 0,16...0,63$

[14 – 16], что соответствует температурным режимам работы системы теплоснабжения. Исследование проведено для режимов энергоэффективной работы КТНУ с $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 2,1$ (при условии максимальной эффективности ГПД) и с $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 1,6$ (при условии минимальной эффективности ГПД) на основе результатов исследований [8 – 9]. Указанные значения критериев энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ}$ соответствуют значениям действительного коэффициента преобразования КТНУ в пределах $\varphi_d = 3,0 \dots 5,4$ для КТНУ малых мощностей, согласно [9]. При условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > 1$ предложенные в этом исследовании зависимости определяют области высокой энергоэффективности исследуемых СЭ для работы в системах теплоснабжения.

На рис. 1 показана область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом для теплоснабжения при условии минимальной эффективности ГПД и ТК. В этом исследовании, согласно [3, 8], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{ЭД} = 0,31$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0,8$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена топливная котельная с $\eta_{ТК} = 0,8$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности топливного котла будет составлять $K_{ПТТ}^{ТК} = 0,8$. Для исследованных высокоэффективных режимов работы СЭ для систем теплоснабжения значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 1,01 \dots 1,304$ при условии $\beta = 0,421 \dots 0,63$ и могут составлять $K_{СЭ} = 1,6$ [10 – 11] при условии $\beta = 1$.

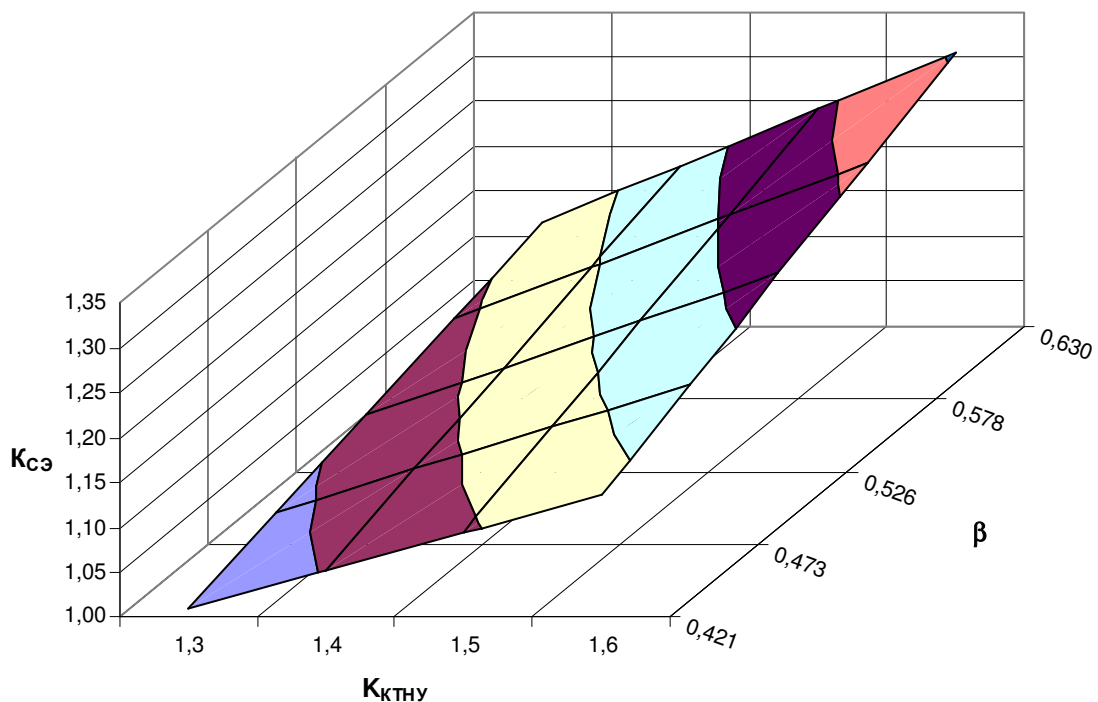


Рис. 1. Область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности для теплоснабжения при условии минимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

Как видно из рис. 1, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 1,01 \dots 1,115$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,3$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,3$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 1,053 \dots 1,304$. Ре-

жимы высокой энергоэффективности этих СЭ обеспечиваются при условиях энергоэффективных режимов работы КТНУ со значениями показателя энергоэффективности $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$.

На рис. 2 показана область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом для теплоснабжения при условии максимальной эффективности ГПД и ТК. В этом исследовании, согласно [3, 8], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{ЭД} = 0,42$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0,8$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена топливная котельная с $\eta_{ТК} = 0,9$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности топливного котла будет составлять $K_{Пит}^{ТК} = 0,9$. Для исследованных режимов работы СЭ для систем теплоснабжения значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 1,01 \dots 1,656$ при условии $\beta = 0,264 \dots 0,63$ и могут составлять $K_{СЭ} = 2,1$ [9] при условии $\beta = 1$.

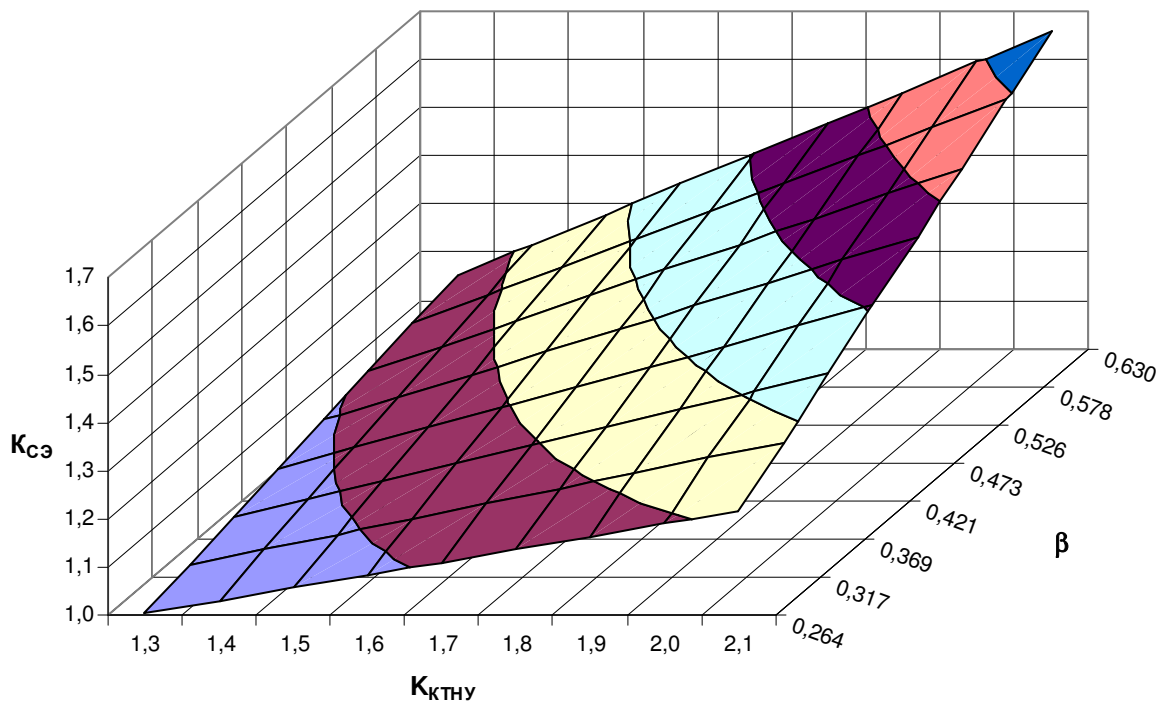


Рис. 2. Область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности для теплоснабжения при условии максимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

Как видно из рис. 2, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 1,01 \dots 1,152$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,3$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,3$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 1,032 \dots 1,656$. Режимы высокой энергоэффективности этих СЭ обеспечиваются при условии энергоэффективных режимов работы КТНУ со значениями показателя энергоэффективности $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$.

Следует отметить, что зависимости, показанные на рис. 1 – 2, получены для режимов энергоэффективной работы КТНУ на основе результатов исследований [8 – 12].

Зависимость, показанная на рис. 1, определяет область высокой энергоэффективности СЭ

с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом (котельной) для теплоснабжения при условии минимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной). При условиях $\beta = 0,421 \dots 0,63$ и $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$ указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность почти в полтора раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов.

Зависимость, показанная на рис. 2, определяет область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом (котельной) для теплоснабжения при условии максимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной). При условиях $\beta = 0,264 \dots 0,63$ и $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность более, чем в полтора раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов. Исследованные СЭ могут составить конкуренцию современным высокоэффективным электрическим и топливным котлам в системах теплоснабжения и энергоснабжения.

В работе [10] определено, что исследованные СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут высокоэффективными в системах теплоснабжения, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,4$, что соответствует результатам исследований, показанным на рис. 1 – 2. В исследовании [12] определено, что при условии максимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,16 \dots 0,26$ в зависимости от уровня мощности КТНУ. При условии минимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные в [12] СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,32 \dots 0,37$ в зависимости от уровня мощности КТНУ.

В нашем исследовании определено, что при условии максимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами будут обеспечивать высокую энергоэффективность, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,264$. При условии минимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами будут обеспечивать высокую энергоэффективность, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,421$.

Предложенные подходы по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК в системах теплоснабжения позволяют определить высокоэффективные режимы работы указанных СЭ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных КТНУ малой мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Полученные в статье научные результаты по определению областей высокой энергоэффективности СЭ позволяют разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК с разными схемными решениями при работе в системах теплоснабжения. С целью определения областей высокой энергоэффективности для разных вариантов СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения, кроме вышеприведенных подходов, предлагаем использовать результаты исследований [1 – 16].

Выводы

Определены области высокой энергоэффективности систем энергоснабжения с КТНУ малой мощности и топливными котлами в системах теплоснабжения, при условиях оптимальных режимов работы КТНУ, определены высокоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ малой мощности и топливными котлами с учетом комплексного влияния переменных режи-

мов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ малой мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Предложенный подход по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения имеет ряд преимуществ:

- учитывает переменные режимы работы СЭ для теплоснабжения на протяжении года с изменением распределения нагрузки между парокompрессионными КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами в СЭ;

- позволяет определить области и режимы высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами для теплоснабжения, при которых энергоэффективность исследуемых СЭ значительно превышает энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов;

- предложенные в [9, 10, 12] методические основы и приведенные в настоящей статье результаты исследований могут быть использованы для определения областей высокой энергоэффективности СЭ с ТК и парокompрессионными КТНУ малой мощности с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями в системах теплоснабжения;

- позволяет разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ малой мощности и ТК с разными схемными решениями для систем теплоснабжения.

Области высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК в системах теплоснабжения в нашем исследовании определены для режимов энергоэффективной работы КТНУ в СЭ и при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > 1$ для разных уровней энергоэффективности элементов СЭ.

При условиях минимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной) определена область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом (котельной) для теплоснабжения, которая соответствует высокоэффективным режимам работы СЭ с КТНУ с $\beta = 0,421 \dots 0,63$ и $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$. Указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность почти в полтора раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов.

При условиях максимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной) определена область высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом (котельной) для теплоснабжения, которая соответствует высокоэффективным режимам работы СЭ с КТНУ с $\beta = 0,264 \dots 0,63$ и $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$. Указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность более, чем в полтора раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов. Исследованные СЭ могут составить конкуренцию современным высокоэффективным электрическим и топливным котлам в системах теплоснабжения и энергоснабжения.

Определено, что:

- при условии максимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами будут обеспечивать высокую энергоэффективность, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,264$;

- при условии минимальной эффективности ГПД и топливного котла исследованные СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми топливными котлами будут обеспечивать высокую энергоэффективность, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,421$.

Предложенные подходы по определению областей высокой энергоэффективности СЭ с КТНУ малой мощности и ТК в системах теплоснабжения позволяют определить высокоэффективные режимы работы указанных СЭ с учетом комплексного влияния переменных ре-

жимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных КТНУ малой мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Полученные в статье научные результаты по определению областей высокой энергоэффективности СЭ позволяют разработать рекомендации по высокоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ малой мощности и пиковыми ТК с разными схемными решениями при работе в системах теплоснабжения. С целью определения областей высокой энергоэффективности для разных вариантов СЭ с КТНУ малой мощности и ТК для систем теплоснабжения, кроме вышеприведенных подходов, предлагаем использовать результаты исследований [1 – 16].

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. Ткаченко С. Й. Комплексні методи оцінки енергоефективності теплонасосних станцій в системах теплопостачання / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 83 – 85.
3. Енергетична ефективність парокompресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419>.
4. Енергетичні переваги застосування парокompресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435>.
5. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.
6. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 64 p.
7. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій з когенераційним приводом [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/2/2>.
8. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/454/452>.
9. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460>.
10. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 2. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470>.
11. Области энергоэффективной работы систем энергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478>.
12. Области энергоэффективной работы систем энергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 4. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/487/486>.
13. Ostapenko O. P. Spheres of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – IV(12). – Issue 110. – 2016. – P. 64 – 67.
14. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Бакум, А. В. Ющишина // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/371/369>.
15. Енергетична ефективність теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко, О. В. Бакум // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/381/379>.
16. Енергоекологічна ефективність теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, І. О. Валігура, А. Д. Коваленко // Наукові праці ВНТУ, 2017, № 1

Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 2. – Режим доступу до журн.:
<http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/363/361>.

17. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.

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

Винницкий национальный технический университет.