

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

ОБЛАСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ И ПИКОВЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Предложен подход по определению областей энергоэффективной работы систем энергоснабжения (СЭ) с когенерационно-теплонасосными установками (КТНУ) и пиковыми источниками теплоты (ПИТ) при условиях оптимальных режимов работы КТНУ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных теплонасосных установок (ТНУ) разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Ключевые слова: область энергоэффективной работы, энергоэффективность, система энергоснабжения, когенерационно-теплонасосная установка, пиковый источник теплоты, безразмерный критерий энергетической эффективности.

Введение

Результаты исследований по определению режимов энергоэффективной работы систем энергоснабжения с когенерационно-теплонасосными установками представлены в ряде публикаций [1 – 12]. В исследованиях [5 – 6] оценены энергетические преимущества и определены эффективные действительные режимы работы ТНУ с электрическим и когенерационным приводами с учетом влияния источников приводной энергии парокompрессионных тепловых насосов и потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ. В работах [7 – 8] предложены методические основы по комплексному оцениванию энергоэффективности парокompрессионных теплонасосных станций (ТНС) с электрическим и когенерационным приводами, с учетом комплексного влияния переменных режимов работы ТНС, пиковых источников теплоты ТНС, источников приводной энергии ТНС и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии. В исследованиях [8 – 9] предложены научные основы и проведена комплексная оценка энергоэффективности парокompрессионных ТНС с когенерационным приводом с учетом комплексного влияния переменных режимов работы ТНС, пиковых источников теплоты ТНС, источников приводной энергии парокompрессионных ТНС разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии. В исследовании [10] проведена оценка энергоэффективности СЭ на основе комбинированных КТНУ, определены эффективные режимы работы 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 работе [11] оценена энергоэффективность СЭ на основе комбинированных КТНУ и ПИТ, 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 [12] разработаны методические основы и 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 элек-

трической энергии.

Согласно [11 – 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 характеризуется долей нагрузки КТНУ в составе СЭ β , которую определяют как отношение тепловой мощности КТНУ к тепловой мощности СЭ $\beta = Q_{КТНУ}/Q_{СЭ}$. Значение тепловой мощности КТНУ определяют с учетом мощности утилизационного оборудования когенерационного привода, и оно составляет $Q_{КТНУ} = Q_{\kappa} + \Sigma Q_{ум}$, где Q_{κ} – мощность конденсатора ТНУ, $\Sigma Q_{ум}$ – мощность утилизационного оборудования когенерационного привода ТНУ.

В работе [11] 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 комбинированных КТНУ в составе СЭ.

В исследованиях [5, 10 – 11] предложен безразмерный критерий энергоэффективности пароконденсационных ТНУ с когенерационным приводом $K_{КТНУ}$. Он получен на основе уравнения энергетического баланса для системы «Источник приводной энергии ТНУ – ТНУ – потребитель теплоты от ТНУ» с учетом влияния источников приводной энергии пароконденсационных ТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ. С учетом такого подхода безразмерный критерий энергетической эффективности комбинированных КТНУ, согласно [5, 10], имеет вид:

$$K_{КТНУ} = Q_{КТНУ} / Q_m = \eta_{эд} \cdot \eta_{эл} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{mn}, \quad (2)$$

где Q_m – мощность, затраченная газопоршневым двигателем-генератором (ГПД) для выработки электрической энергии для привода ТНУ, $\eta_{эд}$ – эффективный КПД газопоршневого двигателя, $\eta_{эл}$ – КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем из [5], $\varphi^{КТНУ}$ – действительный коэффициент преобразования КТНУ из исследования [10], который определяют как: $\varphi^{КТНУ} = (\varphi_m + K_{ГПД}^m) \cdot \eta_{mn}$, где φ_m – теоретическое значение коэффициента преобразования ТНУ без учета мощности утилизационного оборудования ГПД; $K_{ГПД}^m$ – тепловой коэффициент ГПД, который равен отношению тепловой утилизационной мощности ГПД к его электрической мощности; η_{mn} – энергетический КПД ТНУ, который учитывает все потери энергии в тепловом насосе из [5 – 6]; η_{mn} – КПД теплового потока, который учитывает потери энергии и рабочего агента в трубопроводах и оборудовании 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 [11] определены области энергоэффективной работы КТНУ разных уровней мощности, которые были получены на основе исследования [10] и определены по безразмерному критерию энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ}$ в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ φ_0 и эффективного КПД ГПД $\eta_{эд}$. Энергоэф-

фактивные режимы работы КТНУ соответствуют условию $K_{КТНУ} > 1$. Полученные в [11] высокие значения безразмерного критерия энергоэффективности для СЭ с КТНУ свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем энергообеспечения.

Безразмерный критерий энергоэффективности пикового источника теплоты – электродкотла – в составе СЭ $K_{ПИТ}$, согласно [11], получен на основе уравнения энергетического баланса для систем «Источник электрической энергии – электрический котел – потребитель теплоты от СЭ» с учетом влияния источников энергии для пикового электродкотла и с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении электрической энергии к электродкотлу. В исследовании [11] проведена оценка энергоэффективности пикового электродкотла в СЭ в случае использования электроэнергии от КТНУ и для случаев потребления электрической энергии из энергосистемы на основе традиционных или альтернативных источников электрической энергии на базе парогазовых установок, газотурбинных установок, солнечных электростанций термодинамического цикла, ветроэнергетических электростанций.

Безразмерный критерий энергоэффективности пикового источника теплоты – водогрейного топливного котла – в составе СЭ $K_{ПИТ}$, согласно [11], 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 энергии к котлу (котельной). В этом случае потребление электрической энергии пиковым источником теплоты в СЭ – топливным котлом – непосредственно не связано с процессом генерирования теплоты в котле, а доля потребления электрической энергии на собственные нужды является незначительной, поэтому существенно не влияет на значение показателя $K_{ПИТ}$.

В исследовании [11] отмечено, что для случаев использования альтернативных пиковых источников теплоты в СЭ (например, солнечных коллекторов для СЭ небольшой мощности) значение безразмерного критерия энергетической эффективности пикового источника теплоты для СЭ $K_{ПИТ}$ будет равно КПД альтернативного пикового источника теплоты $\eta_{АПИТ}$, или КПД дополнительной системы с альтернативным пиковым источником теплоты $\eta_{АПИТ}^c$.

В исследовании [11] определено, что для случаев $K_{КТНУ} < K_{ПИТ}$ значение безразмерного критерия энергоэффективности СЭ $K_{СЭ}$ будет уменьшаться с увеличением доли нагрузки КТНУ β . Для других случаев значение безразмерного критерия энергоэффективности СЭ $K_{СЭ}$ будет возрастать с увеличением доли нагрузки ТНУ β . В работах [11 – 12] отмечено, что комплексный безразмерный критерий энергоэффективности СЭ $K_{СЭ}$ из формулы (1) может быть использован для выбора наиболее эффективного пикового источника теплоты для определенного вида СЭ и эффективных режимов работы СЭ.

Предложенные в исследовании [12] СЭ с КТНУ и пиковыми электродкотлами будут энергоэффективными в системах теплоснабжения, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,4$. При этом условии современные высокоэффективные электрические и топливные котлы будут уступать по энергоэффективности указанным СЭ. В [12] определено, что энергоэффективность СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами почти в два раза превышает энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов для работы в системах теплоснабжения.

В работах [1 – 12] авторами не определены области энергоэффективной работы систем энергообеспечения с комбинированными КТНУ и ПИТ при условиях оптимальных режимов работы КТНУ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокompрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом по-

ть энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Целью исследования является определение областей энергоэффективной работы систем энергоснабжения с комбинированными КТНУ и ПИТ при условиях оптимальных режимов работы КТНУ, определение энергоэффективных режимов 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.

Основная часть

В исследовании проведена оценка энергоэффективных режимов работы систем энергоснабжения с комбинированными когенерационно-теплонасосными установками и пиковыми источниками теплоты. Исследована энергоэффективность систем энергоснабжения с парокompрессионными ТНУ малой (до 1 МВт) и большой мощностей с когенерационным приводом от газопоршневого двигателя-генератора. Пиковыми источниками теплоты в СЭ были предусмотрены электрические и топливные котлы (топливные котельные для СЭ больших мощностей). Исследуемые СЭ с комбинированными КТНУ и ПИТ могут полностью или частично обеспечивать собственные нужды в электрической энергии и обеспечивать потребности отопления и горячего водоснабжения потребителей. Схемы систем энергоснабжения с комбинированными КТНУ и ПИТ приведены в работах [1, 13].

В нашем исследовании проанализирована энергетическая эффективность системы «Источник приводной энергии КТНУ – СЭ с КТНУ и ПИТ – потребитель теплоты от СЭ» на примере СЭ с парокompрессионными КТНУ и ПИТ. Преимуществом этого подхода является учет потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ и ПИТ с целью определения энергоэффективных режимов работы СЭ. Методические основы по оцениванию энергоэффективности СЭ с КТНУ и ПИТ изложены в исследовании [11].

При условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ (или $K_{СЭ} > \eta_{ЭК}$) [11] из предложенных в исследованиях [11 – 12] зависимостей могут быть определены области энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ. В случае выполнения вышеуказанных условий исследуемые СЭ с КТНУ и ПИТ 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 энергоэффективной работы СЭ с комбинированными КТНУ и ПИТ определены при условиях оптимальных режимов работы КТНУ на основе исследований [10 – 11].

Предложенный подход по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ имеет ряд преимуществ:

- учитывает переменные режимы работы СЭ с изменением распределения нагрузки между парокompрессионными КТНУ и пиковым источником теплоты в СЭ;
- позволяет оценивать комплексное влияние переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты СЭ, источников приводной энергии парокompрессионных КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии;
- учитывает влияние источников приводной энергии парокompрессионных КТНУ разных уровней мощности с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ и СЭ;
- учитывает влияние пиковых источников теплоты для СЭ и вида потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергией пиковых источников теплоты;

— в результате комплексного подхода к оцениванию энергоэффективности СЭ можно осуществить выбор наиболее эффективного ПИТ для определенного вида СЭ;

— предложенные в [11] методические основы и приведенные в настоящей статье результаты исследований могут быть использованы для определения областей энергоэффективной работы СЭ на основе пароконденсационных КТНУ с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями;

— позволяет определить области и режимы энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ, при которых энергоэффективность исследуемых СЭ почти в два раза превышает энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов;

— позволяет комплексно оценивать энергоэффективность значительного количества вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ;

— позволяет разработать рекомендации по энергоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ и ПИТ с разными схемными решениями.

Применение предложенных подходов по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ продемонстрируем на конкретных примерах.

На рис. 1 – 7 показаны результаты исследований по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ для режимов энергоэффективной работы КТНУ на основе результатов исследований [10 – 11]. Здесь показаны значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ с КТНУ и ПИТ для случаев переменной нагрузки КТНУ в составе СЭ при условии изменения доли нагрузки КТНУ в диапазоне $\beta = 0,1 \dots 1,0$. Исследование проведено 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 [10 – 11]. Указанные значения критериев энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ}$ соответствуют значениям действительного коэффициента преобразования КТНУ в пределах $\varphi_{\partial} = 3,0 \dots 5,4$ для КТНУ малых мощностей и $\varphi_{\partial} = 2,7 \dots 5,4$ для КТНУ больших мощностей, согласно [11].

На рис. 1 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности и ПДТ при условии потребления электроэнергии пиковым источником теплоты (электрическим котлом) из энергосистемы Украины. В этом исследовании, согласно [5], учтены: усредненное значение КПД электростанций в Украине $\eta_{ЭС} = 0,383$ и значение КПД распределительных электрических сетей в Украине $\eta_{ЛЭП} = 0,875$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена электрическая котельная с $\eta_{ЭК} = 0,95$. Следует отметить, что в случае изменения КПД электрической котельной в диапазоне $\eta_{ЭК} = 0,9 \dots 0,95$ значения безразмерного критерия энергоэффективности электрокотла для случаев потребления электрической энергии из энергосистемы составляет $K_{ПИТ}^{ЭС} = 0,302 \dots 0,318$.

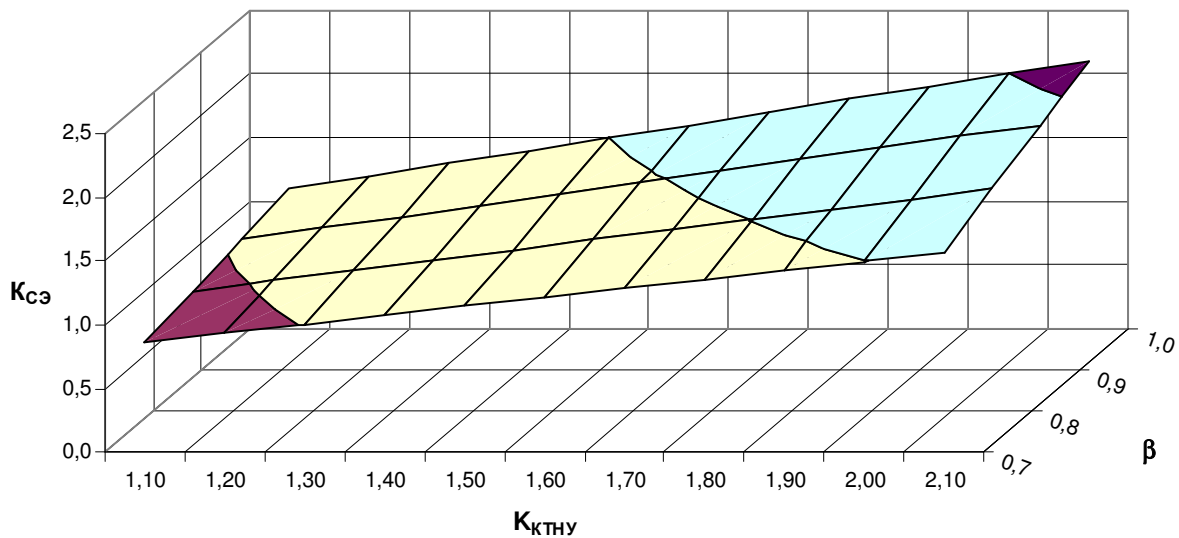


Рис. 1. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условии потребления электроэнергии пиковым электрическим котлом из энергосистемы Украины

Как видно из рис. 1, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{сэ} = 0,87 \dots 1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{сэ} = 1,1 \dots 2,1$.

На рис. 2 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях минимальной эффективности ГПД и ПИТ с потреблением электроэнергии пиковым источником теплоты (электрическим котлом) от КТНУ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,31$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,8$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена электрическая котельная с $\eta_{эк} = 0,9$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности электродвигателя для случаев потребления электрической энергии от КТНУ будет составлять $K_{ПИТ}^{ЭК} = 0,223$.

Как видно из рис. 2, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{сэ} = 0,84 \dots 1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{сэ} = 0,91 \dots 2,1$.

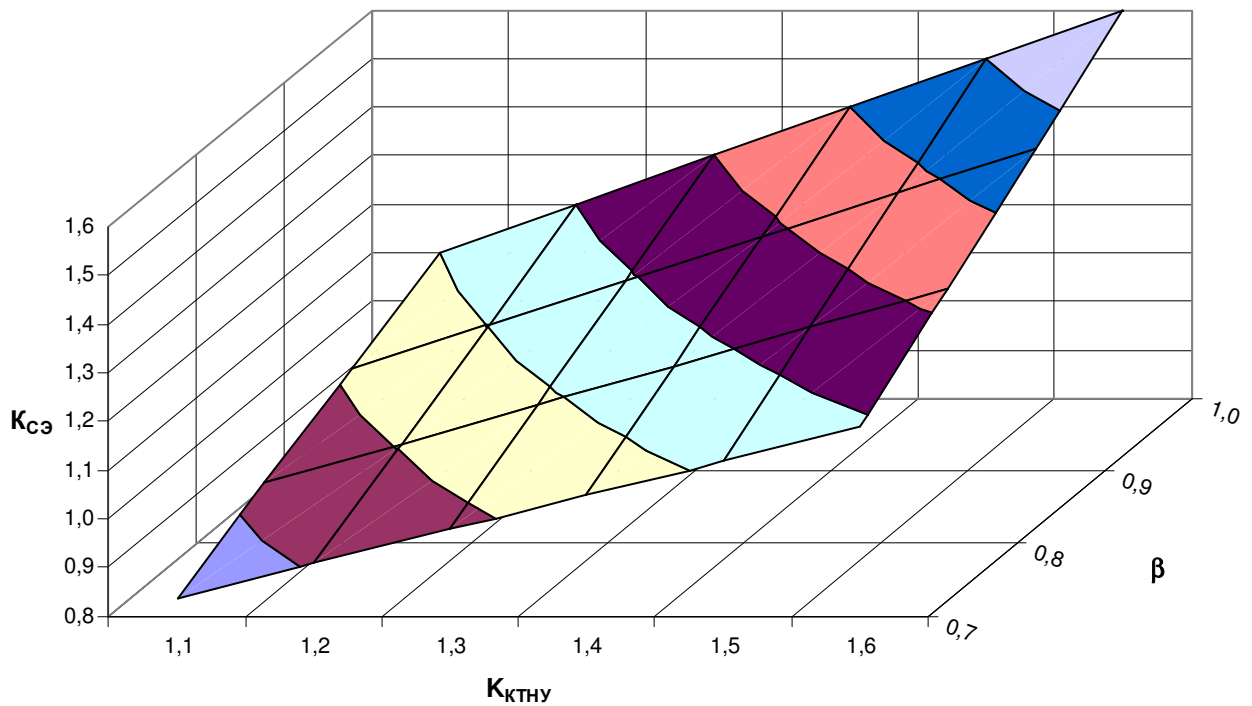


Рис. 2. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях минимальной эффективности ГПД и пикового электрокотла с потреблением электроэнергии котлом от КТНУ

На рис. 3 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом при условиях минимальной эффективности ГПД и ПИТ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,31$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,8$. 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 $K_{пит}^{тк} = 0,8$. Как видно из рис. 3, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{сэ} = 0,92 \dots 1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{кту} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{кту} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{сэ} = 0,96 \dots 1,6$.

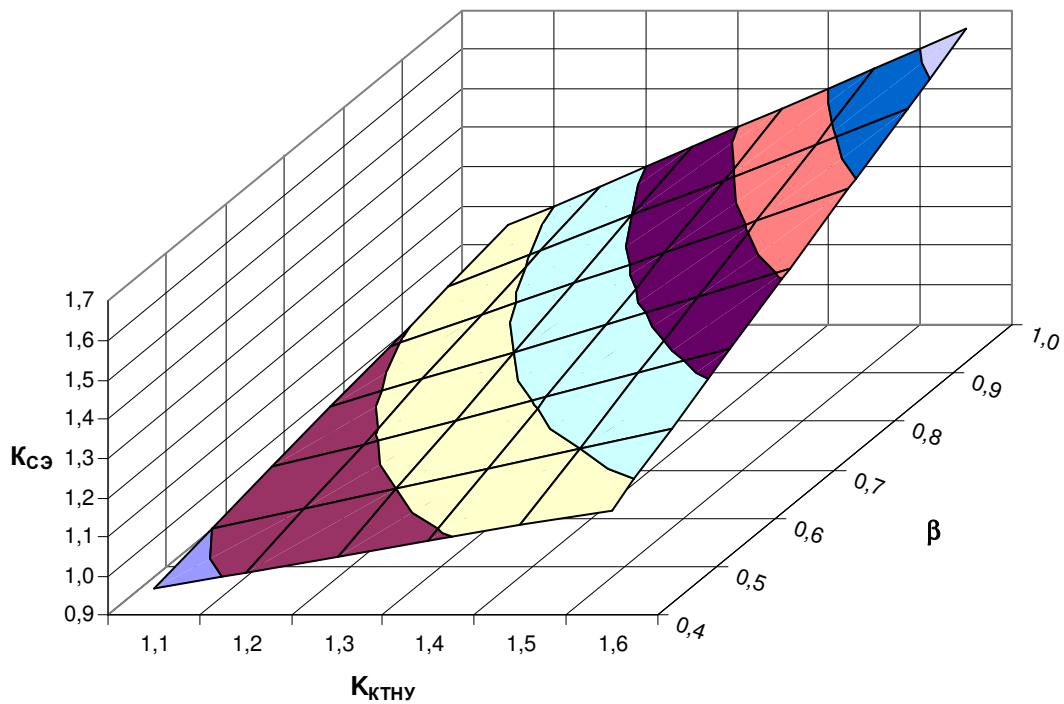


Рис. 3. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях минимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

На рис. 4 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях максимальной эффективности ГПД и ПИТ с потреблением электроэнергии пиковым источником теплоты (электрическим котлом) от КТНУ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,42$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,8$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена электрическая котельная с $\eta_{ЭК} = 0,95$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности электрокотла для случаев потребления электрической энергии от КТНУ будет составлять $K_{ПИТ}^{ЭК} = 0,319$. Как видно из рис. 4, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 0,87...1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 0,94...2,1$.

На рис. 5 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности и пиковым топливным котлом при условиях максимальной эффективности ГПД и ПИТ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,42$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,8$. 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 $K_{ПИТ}^{ТК} = 0,9$. Как видно из рис. 5, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 0,96...1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 0,99...2,1$.

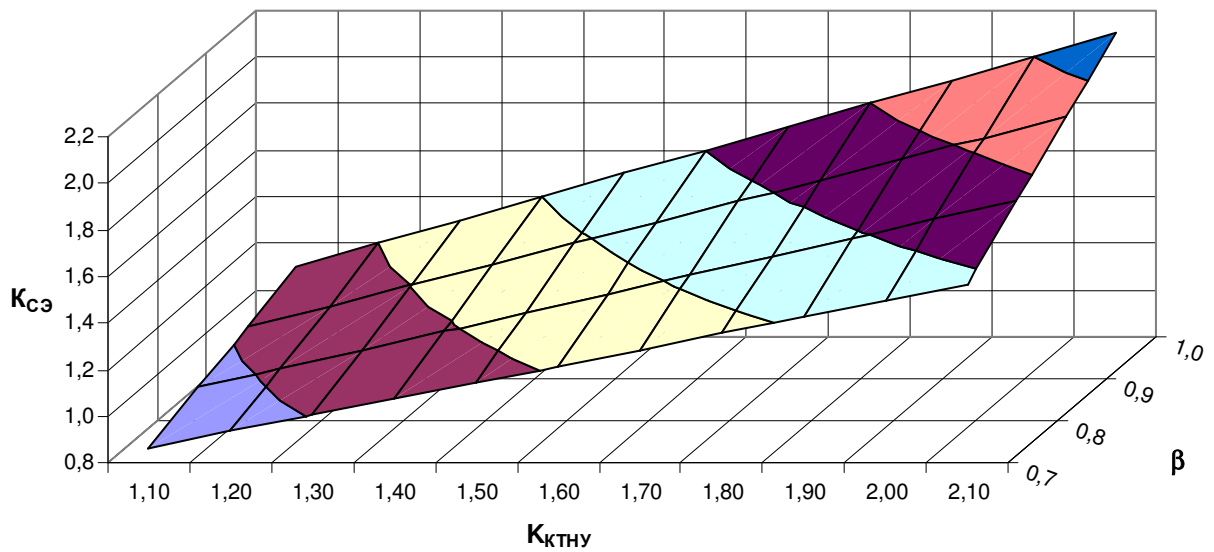


Рис. 4. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях максимальной эффективности ГПД и ПИТ и потреблением электроэнергии электрокотлом от КТНУ

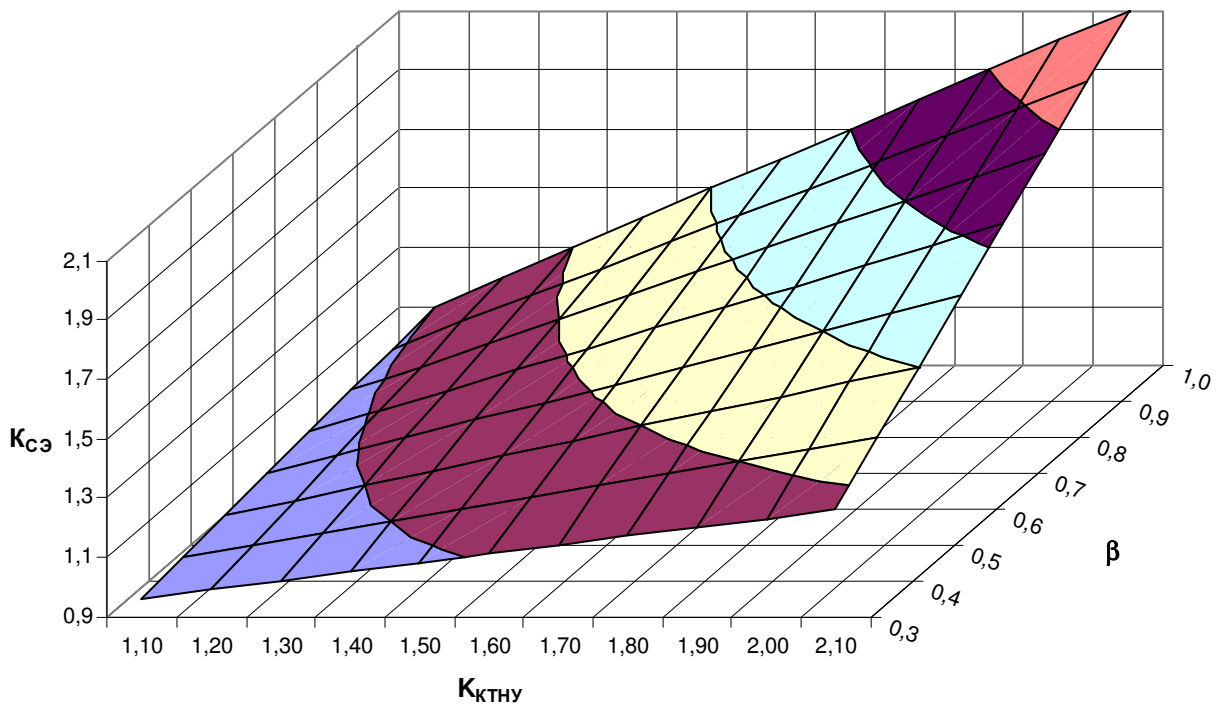


Рис. 5. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ малой мощности при условиях максимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

На рис. 6 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ большой мощности и пиковой топливной котельной при условиях минимальной эффективности ГПД и ПИТ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{эд} = 0,31$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{эл} = 0,9$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена топ-

ливая котельная с $\eta_{TK} = 0,8$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности топливного котла будет составлять $K_{ПИТ}^{TK} = \eta_{TK} = 0,8$. Как видно из рис. 6, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 0,92 \dots 1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значения безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 0,96 \dots 1,6$.

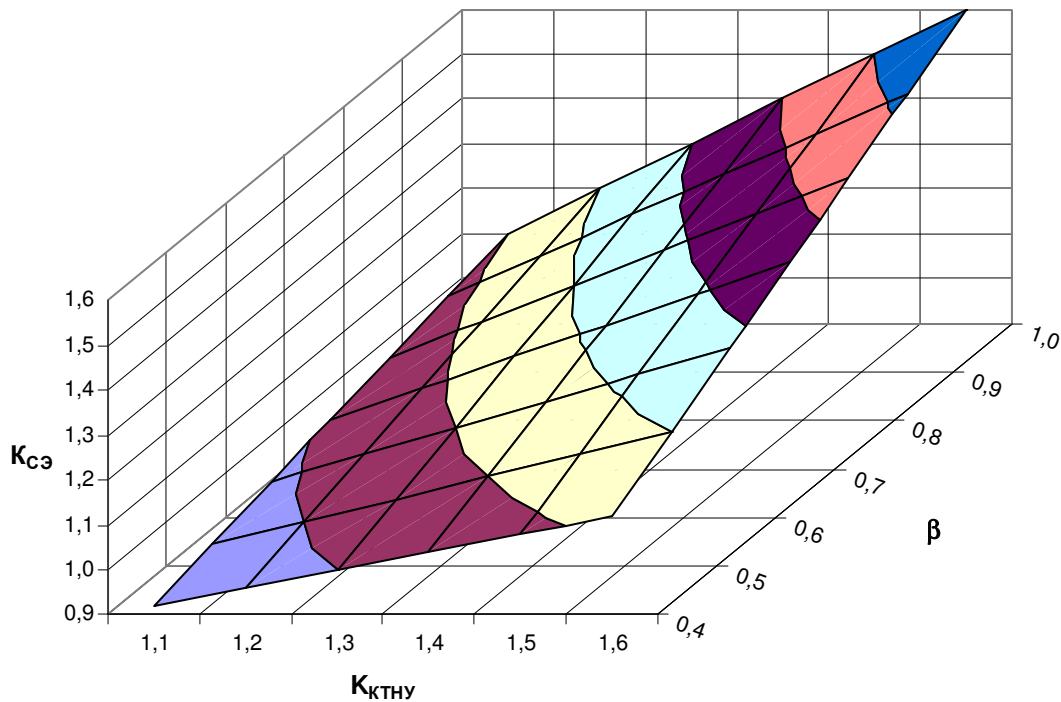


Рис. 6. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ большой мощности при условиях минимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

На рис. 7 показана область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ большой мощности и пиковым топливным котлом при условиях максимальной эффективности ГПД и ПИТ. В этом исследовании, согласно [5, 10], учтены: значение эффективного КПД ГПД $\eta_{ЭД} = 0,42$ и значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0,9$. Пиковым источником теплоты в СЭ для этих условий предусмотрена топливная котельная с $\eta_{TK} = 0,9$. Значение безразмерного критерия энергетической эффективности топливного котла будет составлять $K_{ПИТ}^{TK} = 0,9$. Как видно из рис. 7, значения комплексного безразмерного критерия энергоэффективности СЭ составляют $K_{СЭ} = 0,98 \dots 1,1$ при условии минимального значения критерия энергоэффективности КТНУ $K_{КТНУ} = 1,1$; для режимов работы СЭ с $K_{КТНУ} > 1,1$ значение безразмерного критерия энергоэффективности СЭ изменяются в пределах $K_{СЭ} = 1,02 \dots 2,1$.

Следует отметить, что зависимости, показанные на рис. 1 – 7, получены для режимов энергоэффективной работы КТНУ на основе результатов исследований [10 – 11].

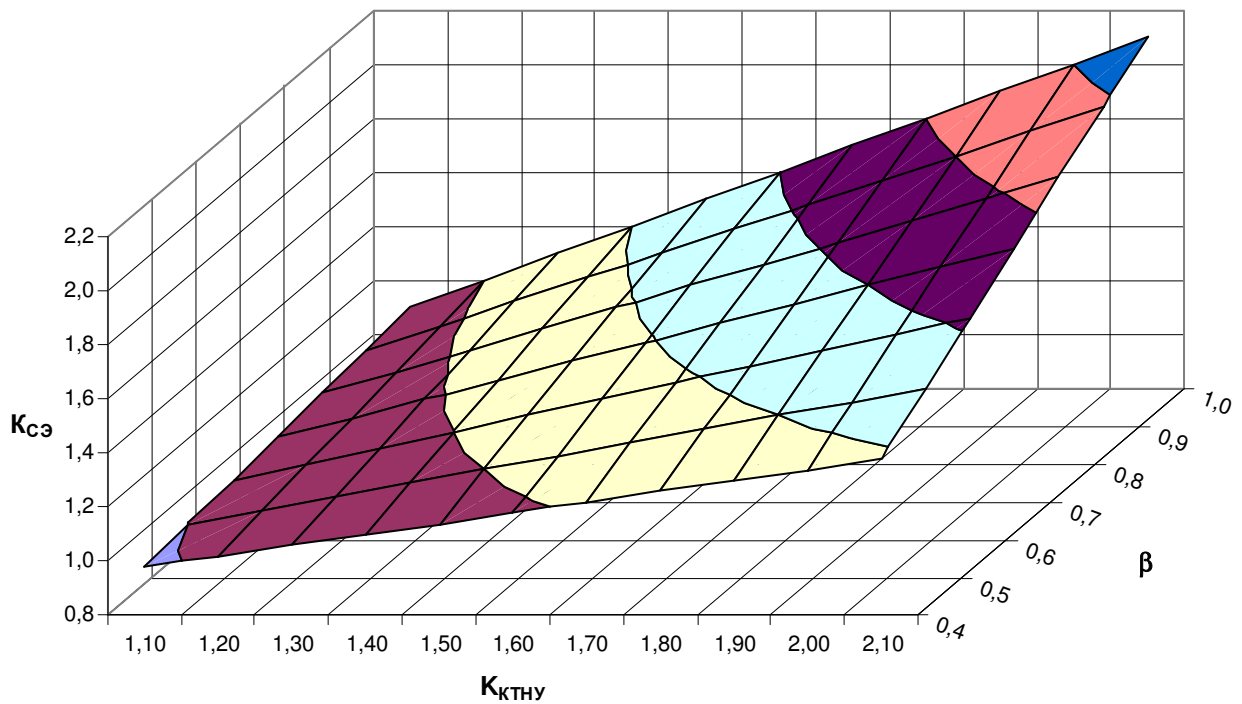


Рис. 7. Область энергоэффективной работы СЭ с КТНУ большой мощности при условиях максимальной эффективности ГПД и пикового топливного котла

Как видно из рис. 3 и 6, при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ [11] зависимости, показанные на рис. 3 и 6, определяют области энергоэффективной работы СЭ с КТНУ разных уровней мощности и пиковым топливным котлом (котельной) при условиях минимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной). При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность почти в два раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов. Такие СЭ могут составить конкуренцию современным высокоэффективным электрическим и топливным котлам в системах теплоснабжения и энергоснабжения.

Как видно из рис. 5 и 7, при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ [11] зависимости, показанные на рис. 5 и 7, определяют области энергоэффективной работы СЭ с КТНУ разных уровней мощности и пиковым топливным котлом (котельной) при условиях максимальной эффективности ГПД и топливного котла (котельной). При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность более, чем в два 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 предложенные в исследовании СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,4$; что соответствует результатам исследований, показанным на рис. 3, 5 – 7. Именно при этом условии определены области энергоэффективной работы указанных СЭ. В случае выполнения этого условия современные высокоэффективные электрические и топливные котлы будут уступать по энергоэффективности указанным СЭ.

Как видно из рис. 1 – 2 и 4, при условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ЭК}$ [11] зависимости, показанные на рис. 1 – 2 и 4, определяют области энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и пиковым электрическим котлом, с разными вариантами источников электрической энергии для

пикового электродвигателя и при условиях разной энергоэффективности ГПД и электродвигателя. Определено, что предложенные в исследовании СЭ с КТНУ и пиковыми электродвигателями будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,7$; что соответствует результатам исследований, показанным на рис. 1 – 2 и 4. При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку даже при минимальной эффективности ГПД и котла энергоэффективность системы энергоснабжения почти в два раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов. При условии режимов работы СЭ с $\beta > 0,7$ современные высокоэффективные электрические и топливные котлы будут уступать по энергоэффективности указанным СЭ. Указанные СЭ могут составить конкуренцию современным высокоэффективным электрическим и топливным котлам в системах теплоснабжения и энергоснабжения.

Предложенные подходы по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ позволяют определить энергоэффективные области и режимы работы указанных СЭ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для пароконденсационных КТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Выводы

Разработаны методические основы и определены области энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ при условиях оптимальных режимов работы КТНУ; определены энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и ПИТ с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для пароконденсационных КТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Предложенный подход по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ имеет ряд преимуществ:

- учитывает переменные режимы работы СЭ с изменением распределения нагрузки между пароконденсационными КТНУ и пиковым источником теплоты в СЭ;
- позволяет оценивать комплексное влияние переменных режимов работы СЭ, пиковых источников теплоты СЭ, источников приводной энергии пароконденсационных КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии;
- учитывает влияние источников приводной энергии пароконденсационных КТНУ разных уровней мощности с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ и СЭ;
- учитывает влияние пиковых источников теплоты для СЭ и вида потребляемой ими энергии с учетом потерь энергии при генерировании и снабжении энергии к пиковым источникам теплоты;
- в результате комплексного подхода к оцениванию энергоэффективности СЭ можно осуществить выбор наиболее эффективного ПИТ для определенного вида СЭ;
- предложенные в [11] методические основы и приведенные в настоящей статье результаты исследований могут быть использованы для определения областей энергоэффективной работы СЭ на основе пароконденсационных КТНУ с различными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями;
- позволяет определить области и режимы энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ, при которых энергоэффективность исследуемых СЭ почти в два раза превышает энергоэффективность современных высокоэффективных электрических и топливных котлов;
- позволяет комплексно оценивать энергоэффективность значительного количества вариантов СЭ с КТНУ и ПИТ;

— позволяет разработать рекомендации по энергоэффективной эксплуатации СЭ с КТНУ и ПИТ с разными схемными решениями.

При условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ТК}$ и режимах энергоэффективной работы КТНУ в исследовании 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 СЭ с КТНУ и пиковыми топливными котлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,4$. В случае выполнения этого условия современные высокоэффективные электрические и топливные котлы будут уступать по энергоэффективности указанным СЭ. При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку их эффективность более, чем в два раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов.

При условиях $K_{КТНУ} > 1$ и $K_{СЭ} > \eta_{ЭК}$ и режимах энергоэффективной работы КТНУ в исследовании определены области энергоэффективной работы и энергоэффективные режимы работы СЭ с КТНУ и пиковыми электродкотлами, с разными вариантами источников электрической энергии для пикового электродкотла, для разных уровней энергоэффективности элементов СЭ. Определено, что предложенные в исследовании СЭ с КТНУ и пиковыми электродкотлами будут энергоэффективными, если доля нагрузки КТНУ в СЭ будет составлять $\beta > 0,7$. При этих условиях указанные СЭ могут быть рекомендованы как высокоэффективные системы энергоснабжения, поскольку даже при минимальной эффективности ГПД и котла, энергоэффективность системы энергоснабжения почти в два раза превышает энергоэффективность высокоэффективных электрических и топливных котлов.

Предложенные подходы по определению областей энергоэффективной работы СЭ с КТНУ и ПИТ позволяют определить энергоэффективные режимы работы и разработать рекомендации по энергоэффективной эксплуатации СЭ с разными схемными решениями с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для пароконденсационных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко С. Й. Пароконденсационні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
2. Баласанян Г. А. Эффективность перспективных интегрированных систем энергозабеспечения на базе установок когенерации малой мощности (теоретичні основи, аналіз, оптимізація) : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.14.06 «Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика» / Г. А. Баласанян. – Одеса, 2007. – 36 с.
3. Билека Б. Д. Экономичность когенерационных и комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями / Б. Д. Билека, Р. В. Сергиенко, В. Я. Кабков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №7 (74). – С. 25 – 29.
4. 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.
5. Енергетична ефективність пароконденсационних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419>.
6. Енергетичні переваги застосування пароконденсационних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435>.
7. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності пароконденсационних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.
8. 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.
9. Комплексна оцінка енергетичної ефективності пароконденсационних 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>.

10. Энергетична 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>.

11. Энергетична 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>.

12. Энергоефективність 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>.

13. 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.

Винницький національний технічний університет.