УДК 621.577

**О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; В. В. Лещенко; Р. О. Тихоненко**

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

*Предложен подход по оцениванию энергетической эффективности систем энергоснабжения (СЭ) на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок (КТНУ) с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокомпрессионных теплонасосных установок (ТНУ) разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.*

***Ключевые слова:*** *энергетическая эффективность, система энергоснабжения, когенерационно-теплонасосная установка, безразмерный критерий энергетической эффективности.*

## Введение

При недостаточности и несоответственном качестве собственных и высокой стоимости импортированных топливно-энергетических ресурсов в Украине, повышенном спросе на электрическую энергию в часы пикового потребления (особенно в отопительный период), при недостаточности существующих электрогенерирующих мощностей в Украине и периодической несогласованности графиков выработки и потребления электрической энергии, с целью уменьшения нагрузки на энергосистему Украины в современных условиях чрезвычайно актуальной становится технология создания энергогенерирующих мощностей на основе комбинированных когенерационных и теплонасосных установок.

Эта технология предусматривает применение комбинированных когенерационно-теплонасосных установок, что позволит снизить потребление природного или альтернативного газа на 30 – 45 % по сравнению с котельными установками эквивалентной мощности [1], а также получить более дешевую по себестоимости электроэнергию по сравнению с сетевой на 30 – 40 %. Когенерационный привод компрессоров ТНУ может быть обеспечен на основе газовых двигателей-генераторов, выпускаемых украинскими предприятиями.

Учитывая актуальность поставленного вопроса, за последние годы проведен ряд исследований эффективности применения комбинированных когенерационно-теплонасосных установок в тепловых схемах источников энергоснабжения [1 – 8]. В работе [1] авторами выполнены исследования по повышению энергоэффективности источников теплоснабжения путем использования ТНУ с когенерационным приводом. В работе [2] выполнен сравнительный анализ перспективных направлений по повышению эффективности систем энергоснабжения на базе установок когенерации малой мощности, предложены тепловые схемы интегрированных систем комплексного энергоснабжения. В исследовании [3] авторами оценена экономичность когенерационных и комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями. Однако в исследовании [3] авторами предложен упрощенный подход к оцениванию энергетической эффективности ТНУ (только по коэффициенту преобразования, который не учитывает всех потерь энергии, связанных с выработкой теплоты в ТНУ). В публикации [4] приведены результаты исследования схемы источника теплоэлектроснабжения (мини-ТЭЦ) с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов. В исследовании [4] проанализированы три варианта тепловых схем: схема с когенерационной и теплонасосной установками с отпуском электроэнергии в сеть, схема с когенерационной и теплонасосной установками и баком-аккумулятором с отпуском электроэнергии в сеть, схема с когенерационной и теплонасосной установками без

отпуска электроэнергии в сеть. Авторами в исследовании [4] предложен упрощенный подход к оцениванию энергетической эффективности ТНУ, который не учитывает всех потерь энергии, связанных с выработкой теплоты в ТНУ. Тепловые схемы, предложенные в исследовании [4], могут быть использованы лишь для обеспечения потребностей горячего водоснабжения, а мощность отопления эти схемы могут обеспечивать лишь частично.

В работе [5] определены эффективные действительные режимы работы ТНУ с электрическим и когенерационным приводами, с учетом влияния источников приводной энергии парокомпрессионных тепловых насосов и потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ. Энергетические преимущества применения парокомпрессионных тепловых насосов с электрическим и когенерационным приводами проанализированы в исследовании [6]. В работе [7] предложены методические основы по комплексному оцениванию энергетической эффективности парокомпрессионных 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 исследовании [8] проведена комплексная оценка энергетической эффективности парокомпрессионных ТНС с когенерационным приводом с учетом комплексного влияния переменных режимов работы ТНС, пиковых источников теплоты ТНС, источников приводной энергии парокомпрессионных ТНС разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

В работах [1 – 8] авторами не проведена оценка энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок, не определены эффективные режимы работы систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

**Целью исследования** является оценка энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок, определение эффективных режимов работы систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

## Основная часть

В исследовании проведена оценка энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок. Исследовали эффективность систем энергоснабжения на основе парокомпрессионных ТНУ малой (до 1 МВт) и большой мощностей с когенерационным приводом от газопоршневого двигателя-генератора (ГПД). Использование когенерационных установок для привода тепловых насосов позволяет избежать дополнительных потерь электроэнергии при транспортировке и предусматривает утилизацию теплоты уходящих газов после газового двигателя, что обеспечивает лучшую энергетическую эффективность. Исследуемые системы энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок могут полностью или частично обеспечивать собственные нужды в электрической энергии и обеспечивать потребности отопления и горячего водоснабжения потребителей. Схемы систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок приведены в работах [1, 9].

Тепловую мощность СЭ на основе комбинированных КТНУ определяют с учетом мощности ТНУ и утилизационного оборудования когенерационного привода ТНУ $Q_{КТНУ} = Q_к + \Sigma Q_{ут}$, где $Q_к$ – мощность конденсатора ТНУ, $\Sigma Q_{ут}$ – мощность утилизационного оборудования когенерационного привода ТНУ.

Энергетическую эффективность преобразования энергии в ТНУ в составе КТНУ чаще всего оценивают коэффициентом преобразования энергии, который равен отношению энергии, поступившей к потребителю, к энергии, использованной для реализации цикла.

В нашем исследовании значение коэффициента преобразования ТНУ для СЭ на основе КТНУ, согласно [1, 5, 9], определено с учетом мощности утилизационного оборудования когенерационного привода:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \frac{Q_{КТНУ}}{N_{км}}, \tag{1}$$

где $N_{км}$ – мощность компрессора ТНУ.

Выражение коэффициента преобразования ТНУ для СЭ на основе КТНУ по формуле (1) также может быть представлено в виде:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \varphi_m + K_{ГПД}^m, \tag{2}$$

где $\varphi_m$ – 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.

Нами проанализированы характеристики ряда газопоршневых двигателей-генераторов отечественного ("Первомайскдизельмаш" и ГП "Завод им. В. А. Малышева") и зарубежного производств (Jenbacher ES (Австрия), Wartsilla Disel (Швеция), Ulstein Bergen (Норвегия), MAN & (Дания)). Определено, что для рассмотренных газопоршневых двигателей-генераторов в диапазоне электрических мощностей 500…2400 кВт значения теплового коэффициента ГПД составляют $K_{ГПД}^m$ = 1,1…1,44; что соответствует диапазону изменения эффективного электрического КПД газопоршневого двигателя $\eta_{ЭД}$ = 0,42…0,31. Полученные нами данные согласуются с результатами исследования [3].

С учетом вышеупомянутого, выражение коэффициента преобразования ТНУ для СЭ на основе КТНУ из формулы (2) будет иметь вид:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \varphi_m + (1{,}1 \ldots 1{,}44). \tag{3}$$

Как видно из формулы (3), значение коэффициента преобразования ТНУ с приводом от когенерационных установок будет значительно выше коэффициента преобразования ТНУ $\varphi_m$ с электроприводом.

Действительный коэффициент преобразования ТНУ может быть определен как:

$$\varphi_д = \varphi_m \cdot \eta_{тн}, \tag{4}$$

где $\eta_{тн}$ – энергетический КПД ТНУ, который учитывает все потери энергии в тепловом насосе.

Действительный коэффициент преобразования КТНУ может быть определен как:

$$\varphi^{КТНУ} = \varphi_m^{КТНУ} \cdot \eta_{тн}. \tag{5}$$

В нашем исследовании проанализирована энергетическая эффективность системы «Источник приводной энергии КТНУ – КТНУ – потребитель теплоты от КТНУ» на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок. Преимуществом этого подхода является учитывание потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании элек-

трической энергии в КТНУ с целью определения эффективных режимов работы для СЭ на основе КТНУ.

В исследовании [5] нами был предложен безразмерный критерий энергетической эффективности парокомпрессионных ТНУ с когенерационным приводом. Он получен на основе уравнения энергетического баланса для системы «Источник приводной энергии ТНУ – ТНУ – потребитель теплоты от ТНУ» с учетом влияния источников приводной энергии парокомпрессионных ТНУ и с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии к ТНУ.

С учетом такого подхода безразмерный критерий энергетической эффективности для СЭ на основе комбинированных КТНУ, согласно [5], будет иметь вид:

$$K_{СЭ} = Q_{КТНУ} / Q_m = \eta_{ЭЛ} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{mn}, \quad (6)$$

где $Q_m$ – мощность, затраченная газопоршневым двигателем-генератором для выработки электрической энергии для привода ТНУ, $\eta_{ЭЛ}$ – общий КПД генерирования, снабжения и преобразования электрической энергии из [5], $\eta_{mn}$ – КПД теплового потока, который учитывает потери энергии и рабочего агента в трубопроводах и оборудовании ТНУ.

Согласно [5], для СЭ на основе КТНУ общий КПД генерирования, снабжения и преобразования электрической энергии, может быть определен:

$$\eta_{ЭЛ} = \eta_{ЭД} \cdot \eta_{ЭП} \quad (7)$$

где $\eta_{ЭД}$ – эффективный КПД газопоршневого двигателя; $\eta_{ЭП}$ – КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем из [5].

С учетом формулы (7) для СЭ на основе КТНУ безразмерный критерий энергетической эффективности из формулы (6) будет иметь вид:

$$К_{СЭ} = Q_{КТНУ} / Q_т = \eta_{ЭД} \cdot \eta_{ЭП} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{тп}. \quad (8)$$

При условии $K_{СЭ} = 1$ система энергоснабжения на основе КТНУ передает к потребителю такую же тепловую мощность, затраченную для выработки электроэнергии для привода ТНУ. Чем больше значение этого показателя, тем более эффективной и конкурентоспособной будет система энергоснабжения на основе КТНУ.

Предложенный подход по оцениванию энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе КТНУ имеет ряд преимуществ:

— позволяет оценивать влияние переменных режимов работы КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии;

— учитывает режимы работы парокомпрессионных ТНУ;

— учитывает влияние источников приводной энергии парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ;

— учитывает энергетическую эффективность систем энергоснабжения на основе КТНУ разных уровней мощности;

— предложенные методические основы могут быть использованы для оценивания энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе КТНУ с разными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями ТНУ.

Применение предложенных подходов по оцениванию энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе КТНУ продемонстрируем на конкретных примерах.

На рис. 1 показаны значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ малых уровней мощности в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД. В этом исследовании, согласно [5], учтено значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления

двигателем $\eta_{ЭП}$ = 0,8. Из рис. 1 видно, что для значений действительного коэффициента преобразования ТНУ в диапазоне $\varphi_д$ = 0,6…5,4 значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ малых мощностей изменяются в диапазоне $\varphi^{КТНУ}$ = 1,7…6,84; это достигается за счет использования теплоты утилизационного оборудования когенерационного привода ТНУ. Такая СЭ на основе КТНУ, в зависимости от режима работы, генерирует 1,7...6,84 единиц тепловой мощности в ТНУ и утилизационном оборудовании когенерационного привода по отношению к единице потребленной ТНУ электрической мощности без потребления электроэнергии из энергосистемы. Для сравнения следует отметить, что ТНУ с электроприводом при этих режимах работы будет генерировать 0,6…5,4 единиц тепловой мощности по отношению к единице потребленной электрической мощности. Полученные высокие значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ малых мощностей свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем.

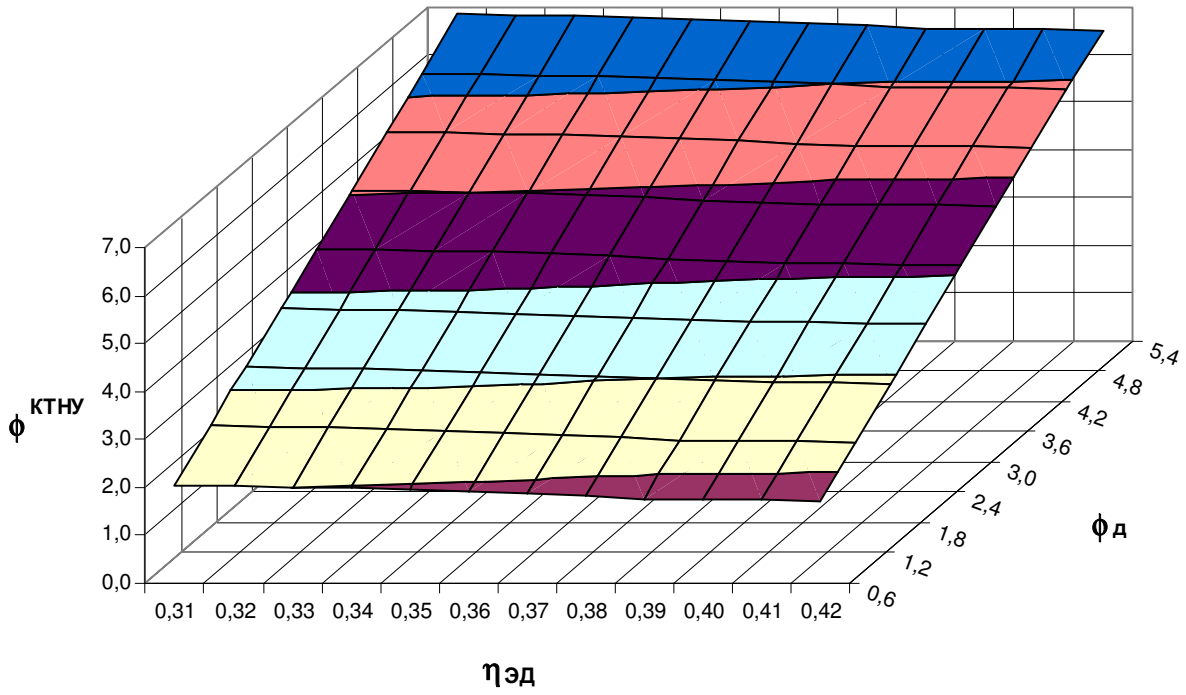


Рис. 1. Значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ малых мощностей в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД

На рис. 2 показаны значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ малых мощностей $K_{СЭ}$ в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД. В исследовании, согласно [5], учтено значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП}$ = 0,8. Как видно из рис. 2, для значений действительного коэффициента преобразования ТНУ в диапазоне $\varphi_д$ = 1,8…5,4 значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ малых мощностей изменяются в диапазоне $K_{СЭ}$ = 0,66…2,04.

Как уже отмечалось, при условии $K_{СЭ} = 1$ система энергоснабжения на основе КТНУ будет передавать к потребителю такую же тепловую мощность, которая была затрачена для выработки электроэнергии для привода ТНУ. Чем больше будет значение этого показателя, тем более эффективной и конкурентоспособной будет система энергоснабжения на основе

КТНУ.

Следовательно, эффективные режимы работы таких СЭ на основе КТНУ малых мощностей будут соответствовать условию $K_{СЭ} > 1$. Полученные высокие значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ малых мощностей свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем.

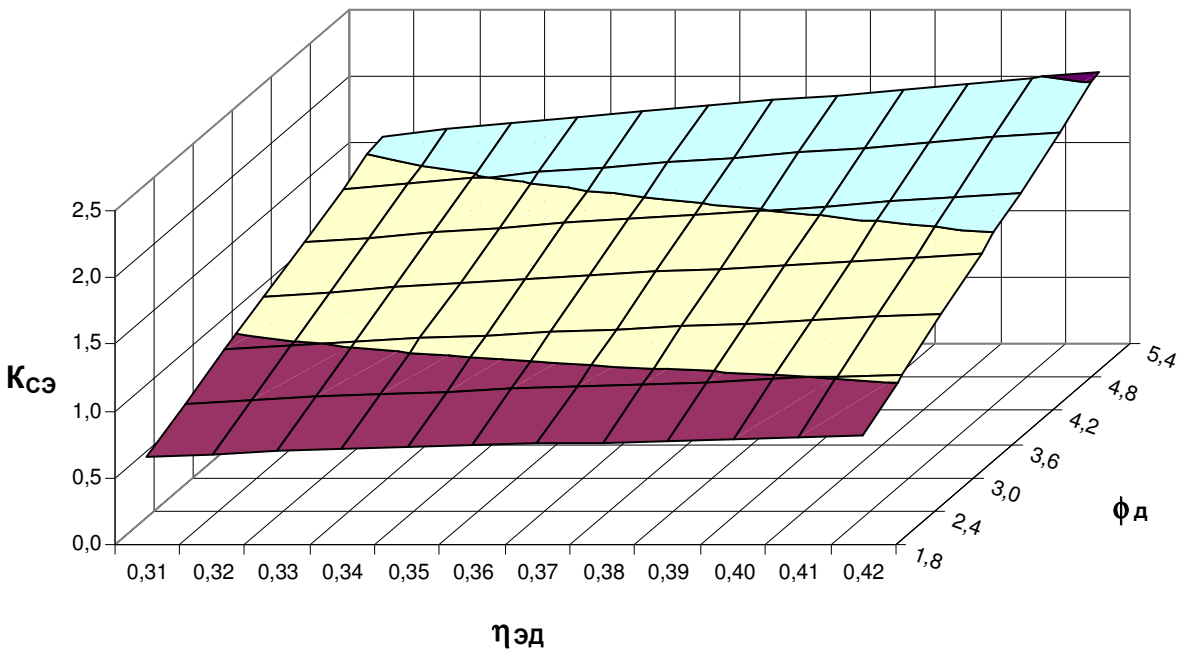


Рис. 2. Значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ малых мощностей в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД

На рис. 3 показаны значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ больших мощностей в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД. В этом исследовании, согласно [5], учтено значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0{,}9$. Из рис. 3 видно, что для значений действительного коэффициента преобразования ТНУ в диапазоне $\varphi_д = 0{,}7\ldots6{,}1$ значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ больших мощностей изменяются в диапазоне $\varphi^{КТНУ} = 1{,}78\ldots7{,}72$; это достигается за счет использования теплоты утилизационного оборудования когенерационного привода ТНУ.

Такая СЭ на основе КТНУ, в зависимости от режима работы, генерирует 1,78...7,72 единиц тепловой мощности в ТНУ и утилизационном оборудовании когенерационного привода по отношению к единице потребленной ТНУ электрической мощности без потребления электроэнергии из энергосистемы. Для сравнения следует отметить, что ТНУ с электроприводом при этих режимах работы будет генерировать 0,7…6,1 единиц тепловой мощности по отношению к единице потребленной электрической мощности.

Полученные высокие значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ больших мощностей свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем, которая превышает эффективность таких систем на основе КТНУ малых мощностей.

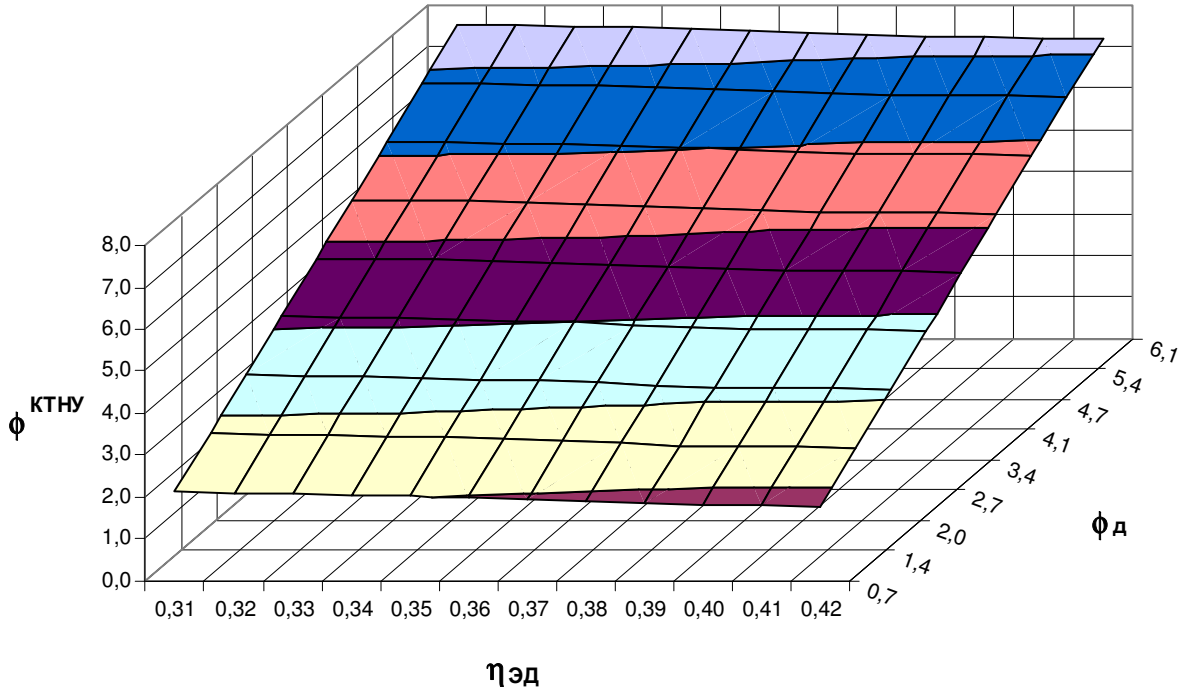


Рис. 3. Значения действительного коэффициента преобразования для СЭ на основе КТНУ больших мощностей в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД

На рис. 4 показаны значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ больших мощностей $K_{СЭ}$ в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД. В этом исследовании, согласно [5], учтено значение КПД электрического двигателя с учетом потерь энергии в блоке управления двигателем $\eta_{ЭП} = 0{,}9$.

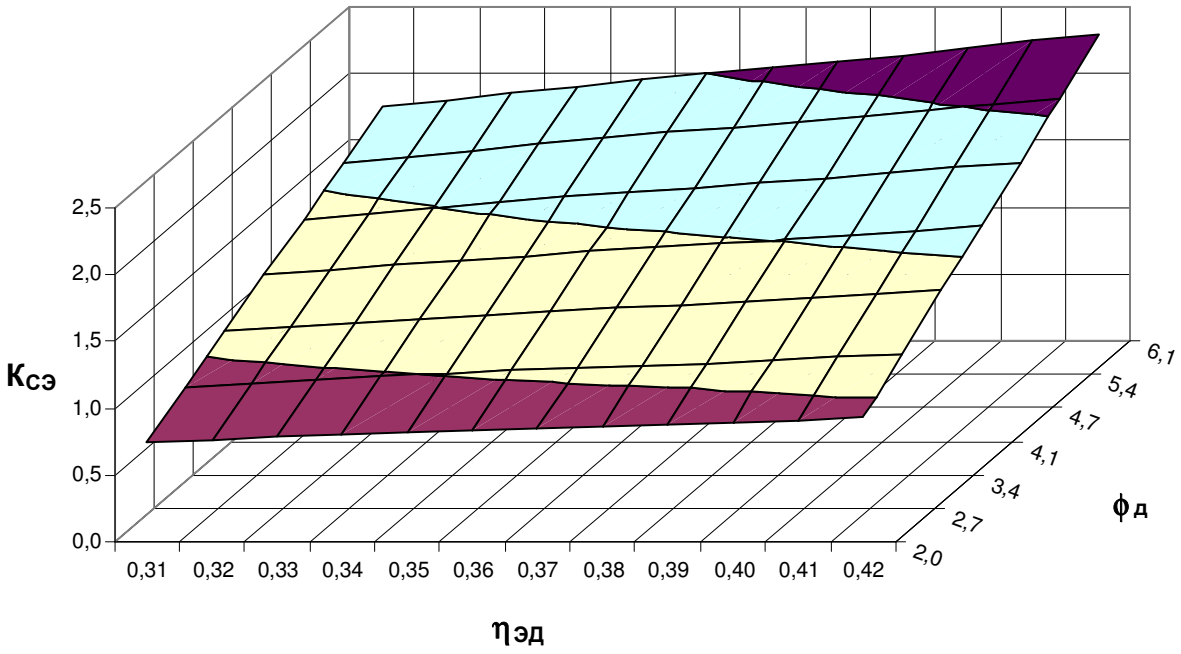


Рис. 4. Значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ больших мощностей в зависимости от действительных значений коэффициента преобразования ТНУ и эффективного КПД ГПД

Как видно из рис. 4, для значений действительного коэффициента преобразования ТНУ в диапазоне $\varphi_д$ = 2,0…6,1 значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ больших мощностей изменяются в диапазоне $K_{СЭ}$ = 0,74…2,29.

Как уже отмечалось, при условии $K_{СЭ} = 1$ система энергоснабжения на основе КТНУ будет передавать к потребителю такую же тепловую мощность, которая была затрачена для выработки электроэнергии для привода ТНУ. Чем больше будет значение этого показателя, тем более эффективной и конкурентоспособной будет система энергоснабжения на основе КТНУ. Следовательно, эффективные режимы работы таких СЭ на основе КТНУ больших мощностей будут соответствовать условию $K_{СЭ} > 1$.

Полученные высокие значения безразмерного критерия энергетической эффективности для СЭ на основе КТНУ больших мощностей свидетельствуют о высокой энергетической эффективности таких комбинированных систем, которая превышает эффективность таких систем на основе КТНУ малых мощностей.

Сравнивая результаты исследований, показанные на рис. 1 – 2 и рис. 3 – 4, можно сделать вывод, что использование СЭ на основе КТНУ больших мощностей имеет преимущества сравнительно с использованием СЭ на основе КТНУ малых мощностей, что подтверждается большими значениями безразмерного критерия энергетической эффективности СЭ на основе КТНУ $K_{СЭ}$ для разных режимов работы. На основе анализа результатов исследований (рис. 1 – 4) определено, что для СЭ на основе КТНУ больших мощностей фиксируют большие значения показателей энергетической эффективности для всех исследованных режимов работы.

Для проведения оценки энергетической эффективности разных вариантов СЭ на основе КТНУ, кроме вышеприведенных подходов, предлагаем использовать результаты исследований [1, 5 – 9].

**Выводы**

Предложен подход по оцениванию энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Разработаны методические основы и проведена оценка энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок, определены эффективные режимы работы систем энергоснабжения на основе комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с учетом комплексного влияния переменных режимов работы, источников приводной энергии для парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности, с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии.

Предложенный подход по оцениванию энергетической эффективности систем энергоснабжения на основе КТНУ имеет ряд преимуществ:

— позволяет оценивать влияние переменных режимов работы КТНУ с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии;

— учитывает режимы работы парокомпрессионных ТНУ;

— учитывает влияние источников приводной энергии парокомпрессионных ТНУ разных уровней мощности с учетом потерь энергии при генерировании, снабжении и преобразовании электрической энергии в КТНУ;

— учитывает энергетическую эффективность систем энергоснабжения на основе КТНУ разных уровней мощности;

— предложенные методические основы могут быть использованы для оценивания энер-

гетической эффективности систем энергоснабжения на основе КТНУ с разными хладагентами, источниками низкотемпературной теплоты и схемными решениями ТНУ.

На основе анализа результатов исследований определено, что использование СЭ на основе КТНУ больших мощностей имеет преимущества по сравнению с использованием СЭ на основе КТНУ малых мощностей, что подтверждается большими значениями безразмерного критерия энергетической эффективности СЭ на основе КТНУ $K_{СЭ}$ для разных режимов работы. Определено, что для СЭ на основе КТНУ больших мощностей фиксируют большие значения показателей энергетической эффективности для всех исследованных режимов работы.

Для проведения оценки энергетической эффективности разных вариантов СЭ на основе КТНУ, кроме вышеприведенных подходов, предлагаем использовать результаты исследований [1, 5 – 9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.

2. Баласанян Г. А. Ефективність перспективних інтегрованих систем енергозабезпечення на базі установок когенерації малої потужності (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 парокомпресійних 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.

6. Енергетичні переваги застосування парокомпресійних 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.

7. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.

8. Остапенко О. П. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокомпресійних 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.

9. 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, ostapenko1208@gmail.com.

***Лещенко Вадим Владимирович*** – студент факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

***Тихоненко Роман Олегович*** – студент факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Винницкий национальный технический университет.