

УДК 621.311

БАСОК Б.И.¹, БАЗЕЕВ Е.Т.¹, ДИДЕНКО В.М.²,
КОЛОМЕЙКО Д.А.¹¹Институт технической теплофизики НАН Украины²ГП “Укрэнергоэфективность” Минтопэнерго Украины

АНАЛИЗ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК. ЧАСТЬ I. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Приведен сравнительный анализ определений терминов когенерации и теплофикации. Представлены схемы классификации когенерационных технологий, предложены показатели их эффективности.

Наведено порівняльний аналіз визначень термінів когенерації та теплофікації. Представлено схеми класифікації когенераційних технологій, запропоновано показники їх ефективності.

We give a comparative analysis of the definitions of the terms cogeneration and power-and-heat generation. Schemes of the classification of cogeneration technologies are presented, and parameters of them efficiency are proposed.

B – расход топлива;
 E – эксергетический поток;
 N – мощность;
 Q – теплота сгорания топлива;
 η – коэффициент полезного действия;
 АЭС – атомная электростанция;
 АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;
 ГПД – газопоршневой двигатель;
 ГТУ – газотурбинная установка;
 ПАУ – полиароматические углеводороды;
 ПГУ – парогазовая установка;
 ПТУ – паротурбинная установка;

КЭС – конденсационная электростанция;
 КПД – коэффициент полезного действия;
 ТЭЦ – теплоэлектроцентраль.

Индексы верхние:

n – низшая;
 $'$ – вход;
 $''$ – выход.

Индексы нижние:

p – рабочая;
 T – тепловой;
 el – электрический;
 ex – эксергетический;
 Q – теплоты топлива.

Понятия “когенерация” (от англ. “cogeneration” или “СНР – Cogeneration Heating Power”), “когенерационная установка” появились сравнительно недавно и обусловлено это развитием новых технологий в энергетике, характеризующихся более высокой термодинамической и энергетической эффективностью [1–4].

В законе Украины “Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу” термин “когенерация” определяется как “способ одновременного производства электрической и тепловой энергии в рамках одного технологического процесса в результате сгорания топлива” [5]. Но и давно принятый и широко используемый термин “теплофикация” также ха-

рактеризует “централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла на ТЭЦ” [6].

Так как и когенерация и теплофикация означают комбинированное производство электроэнергии и теплоты (в отличие от отдельного, при котором электроэнергия производится на электростанциях, а теплота – в котельных), возникает вопрос: почему используются разные понятия, характеризующие одинаковую технологию?

Существуют многочисленные подходы к определению способа комбинированного получения электроэнергии и теплоты, характеризуемого как “когенерация”. Все они имеют близкие между собой формулировки и по своей сути практически ничем не отличаются от определений способа,

характеризуемого как “теплофикация”. Однако следует отметить, что некоторыми авторами делается попытка дать отличие этих способов. Вот некоторые из определений:

1. “Когенерация – использование отводимой теплоты в результате производства электроэнергии. Например, отработавших газов ГТУ для промышленных процессов или центрального отопления” [7].

2. “В общепринятом понимании термин когенерация означает совместную выработку электрической и тепловой энергии в установке, состоящей из электрогенератора и утилизатора теплоты.

В классическом понимании когенерация по существу то же самое, что и известная и широко применяемая теплофикация, т.е. использование вторичной теплоты ТЭС для теплоснабжения. Отличие когенерации от теплофикации достаточно условно и состоит в масштабе выработки электроэнергии, хотя, судя по литературным данным, оно постепенно сглаживается. Это отличие чаще всего состоит в типе наиболее часто применяемого оборудования (в когенерационных установках используется для привода электрогенераторов, как правило, газовые двигатели внутреннего сгорания или газовые турбины, а в последнее время – микротурбины или топливные элементы)” [8].

Нам представляется, что в термодинамическом аспекте отличие когенерации от теплофикации связано с особенностями собственно термодинамических циклов, которые реализуются соответственно в одном случае как когенерационный, в другом – как теплофикационный.

Это отличие легче обнаружить и оно становится явственным, если рассмотреть и сравнить технологию и термодинамический цикл когенерации и, соответственно, теплофикации.

В многочисленных когенерационных технологиях и схемах их реализации предполагается использование различных тепловых двигателей (в настоящее время: ДВС, ГТУ, хотя могут рассматриваться и другие двигатели: термоэлектрический, термоэмиссионный, магнетогидродинамические генераторы). Они применяются для производства электроэнергии в качестве надстроек, например, над котлами, паротурбинными

установками с последующей утилизацией в них сбросной теплоты надстроек и превращением таких комбинированных установок в мини–ТЭЦ или парогазовые установки. В термодинамическом цикле этих когенерационных схем используют, как правило, два рабочих тела. Например, в надстройке применяются продукты сгорания (или плазма) с более высокой средней начальной температурой (примерно 1200 °С и более 2500 °С для плазмы), а в котлах или паротурбинных установках – водяной пар с рабочей температурой около 600 °С. Если надстройка осуществляется над паросиловым циклом, то весь комбинированный цикл превращается в бинарный.

В традиционных теплофикационных установках ТЭЦ отсутствуют подобного рода надстройки, в них для производства теплоты используется потенциал пара, уже частично отработавшего в турбине для производства электроэнергии. Для теплофикационных схем применяется одно рабочее тело – водяной пар.

С учетом этих технологических особенностей схемы и циклы когенерационных или теплофикационных установок можно охарактеризовать следующим образом:

Когенерация – комбинированное производство теплоты и электроэнергии с использованием в термодинамическом цикле рабочего тела с более высокой средней начальной температурой и утилизацией теплоты рабочего тела в высокотемпературной части термодинамического цикла.

Теплофикация – комбинированное производство теплоты и электроэнергии при утилизации теплоты рабочего тела в низкотемпературной части термодинамического цикла.

При теплофикации выработка и отпуск электроэнергии является основной задачей, а отпуск теплоты – вторичной, снижающей себестоимость производства электроэнергии. При этом экономический эффект определяется снижением потерь в конденсаторах турбин за счет утилизации остаточной эксергии рабочего тела на конечном этапе технологического процесса.

Основной же целью когенерации является выработка тепловой энергии нужных параметров и по заданному графику нагрузки, а полученная электрическая энергия является сопутствующим продуктом, повышающим экономичность всей

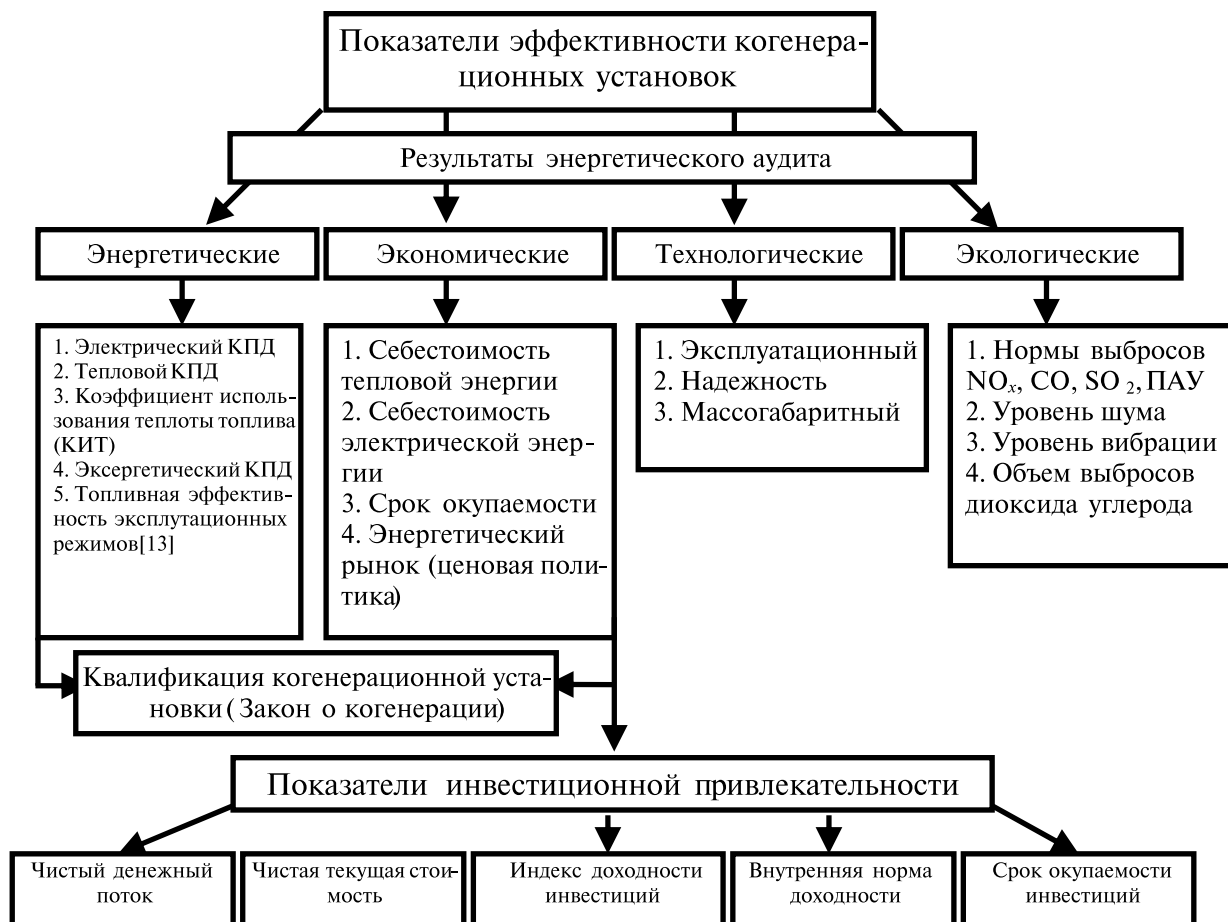


Рис. 1. Основные показатели эффективности когенерационных установок.

установки. Экономический эффект при этом определяется снижением эксергетических потерь на первом этапе технологического процесса (за счет более полного использования эксергии продуктов сгорания).

Достаточно оригинальная когенерационная технология производства теплоты и электроэнергии “STIG” (Steam Intention Gas Turbine) и “Водолей”, реализованная с использованием в качестве части рабочего тела водяного пара, подаваемого в камеру сгорания газовой турбины, получила название монарной когенерации [9].

При выборе типа оборудования необходимо учитывать показатели работы установки. Сравнение газопоршневых и газотурбинных двигателей по показателям работы установки приведено в табл., взятой из работы [10].

Определение квалификации когенерационной установки приведено в [5]. Основные показатели эффективности когенерационных устано-

вок представлены на рис. 1. Для каждой конкретной установки набор показателей эффективности будет свой, и он может определяться с помощью энергетического аудита [11, 12].

К основным показателям энергетической эффективности можно отнести электрический, тепловой и эксергетический КПД установок, которые определяются соответственно из формул (1)-(3), коэффициент использования теплоты топлива, который главным образом определяет интегральную энергоэффективность установки, формула (4). Методика определения эксергетического КПД когенерационных установок представлена в работе [13].

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{BQ_p^H}, \quad (1)$$

$$\eta_T = \frac{N_T}{BQ_p^H}, \quad (2)$$

Таблица сравнительных показателей работы ГПД и ГТУ

Показатель	Газопоршневой двигатель (ГПД)	Газотурбинная установка (ГТУ)
Долговечность	без ограничения при соблюдении правил эксплуатации и обслуживания	
Ремонтопригодность	<ul style="list-style-type: none"> капитальный ремонт производится на месте; ремонт требует меньше времени 	<ul style="list-style-type: none"> капитальный ремонт производится на специальных заводах; затраты времени и средств на транспортировку, центровку и т.д.
Сохраняемость	не теряет свойств при правильном хранении	
Экономичность	КПД мало меняется при нагрузке от 100 % до 50 % мощности	КПД резко снижается на частичных нагрузках
Удельный расход топлива при 100 % и 50 % нагрузках	9,3...11,6 МДж/кВт ч 0,264...0,329 м ³ /кВт ч	13,2...17,7 МДж/кВт ч 0,375...0,503 м ³ /кВт ч
Падение напряжения и время восстановления после 50 % наброса нагрузки	22 % 8 с	40 % 38 с
Влияние переменной нагрузки	<ul style="list-style-type: none"> не желательна долгая работа на нагрузках менее 50 % (сильно влияет на интервалы обслуживания); при меньшей единичной мощности агрегата, более гибкая работа электростанции в целом и выше надежность энергоснабжения 	<ul style="list-style-type: none"> работа на частичных нагрузках (менее 50 %) не влияет на состояние турбины; при высокой единичной мощности агрегата, отключение вызывает потерю 30...50 % мощности электростанции
Размещение в здании	<ul style="list-style-type: none"> требует больше места, т.к. имеет больший вес на единицу мощности; не требует компрессора для дожима газа, рабочее давление газа на входе – $(0,1...0,35) \times 10^5$ Па 	<ul style="list-style-type: none"> при мощности электростанции 5 МВт выигрыш от меньшего размера помещения не значителен; минимальное рабочее давление газа на входе – $(8...12) \times 10^5$ Па, требуется газ высокого давления, либо дожимной компрессор
Обслуживание	<ul style="list-style-type: none"> остановка после каждой 1000 часов работы, замена масла, свечей; капитальный ремонт через 64000 часов эксплуатации, выполняется на месте установки 	<ul style="list-style-type: none"> остановка после каждых 2000 часов работы (данные фирмы «Solar»); капитальный ремонт через 60 000 часов, выполняется на специальном заводе

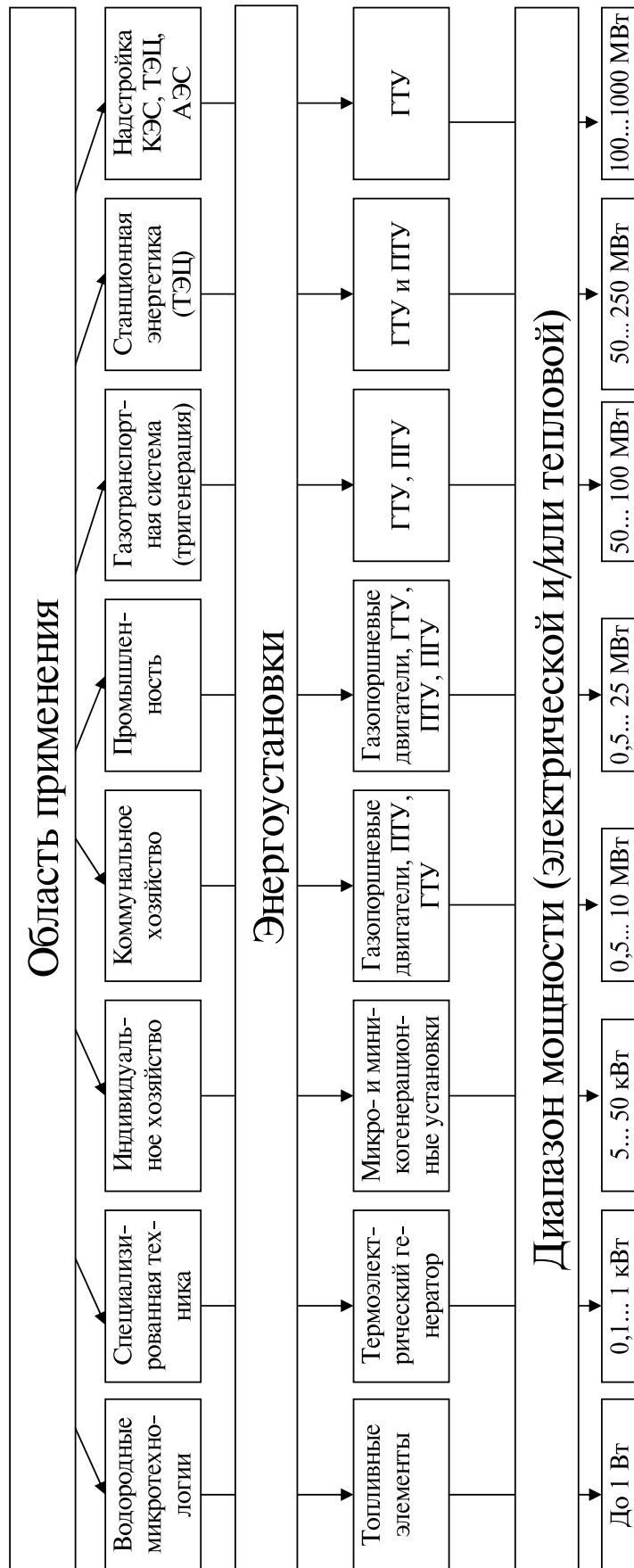


Рис. 2. Классификация когенерационных технологий.

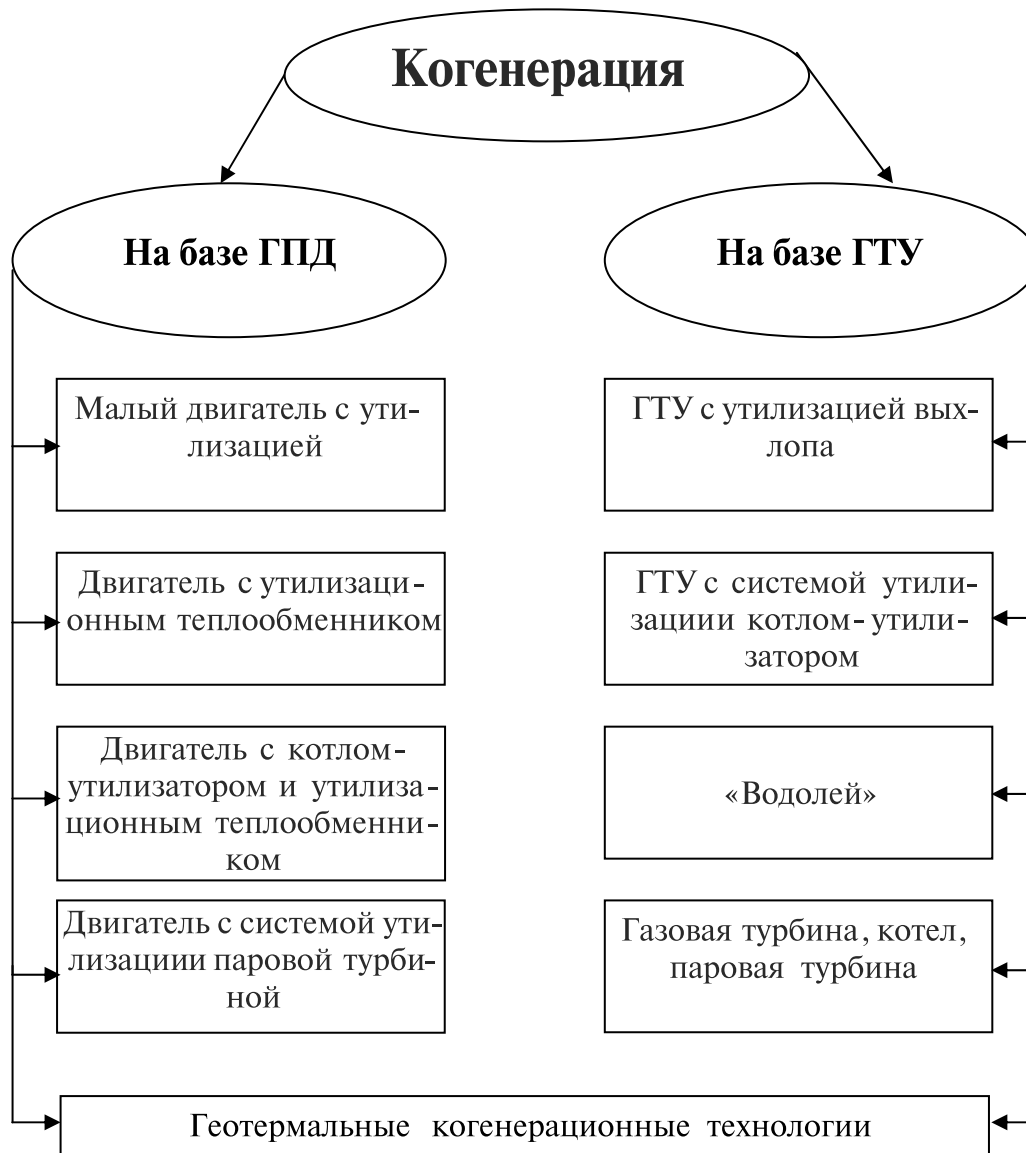


Рис. 3. Структурная схема когенерационных технологий.

$$\eta_{ex} = \frac{E''}{E'} , \quad (3)$$

$$\eta_Q = \frac{N_{el} + N_T}{BQ_p^H} . \quad (4)$$

В состав экономических показателей когенерационной установки, вырабатывающей электрическую и тепловую энергии, входит наличие рынка сбыта тепловой и электрической энергии по удовлетворяющим потребителя тарифам.

При определении этих показателей возникают трудности, обусловленные тем, что весьма не-

просто разделить топливо, используемое на выработку разных видов энергии [12]. В этом случае можно рассмотреть оценки и возможности системы показателей топливной эффективности эксплуатационных режимов когенерационных установок, предложенных в [14].

К технологическим показателям можно отнести эксплуатационный показатель эффективности. Он включает в себя наличие современных систем АСУ ТП, возможность работы установки в различных технологических условиях, количество обслуживающего персонала. В зависимости от типа когенерационной установки для нее необходим персонал разной квалификации и количества. По-

казатель надежности характеризует как ресурс работы установки до капитального ремонта, так и ремонтпригодность. Надежность работы установки зависит не только от типа, но и от фирм производителя, проектирования и монтажа.

На рис. 2 представлена предпочтительная классификация области применения когенерационных установок различных типов. Когенерационные технологии также могут характеризоваться структурной схемой, представленной на рис. 3.

В следующих частях этой статьи будет проведен сравнительный анализ когенерационных схем на основе различного энергетического оборудования, в том числе различных газопоршневых двигателей-генераторов, а также будут более подробно рассмотрены показатели экономической эффективности и инвестиционной привлекательности на примере конкретной когенерационной установки на базе ГПД. Данная установка была приобретена и реализована фирмой “Налим” на заводе “Фиолент” (г. Симферополь, АР Крым) в рамках инновационного проекта технопарка “Институт технической теплофизики”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпильрайн Э.Э. К вопросу о термодинамике получения низкопотенциального тепла // Теплоэнергетика. – 1998. – № 9. – С. 20–23.
2. Долинский А.А., Базеев Е.Т., Дюков В.А., Диденко В.М. К методике оценки эффективности комбинированного производства теплоты и электроэнергии / Тезисы I Международной конференции “Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике”, 18–20 октября 2004 г., Киев. – 2004. – С. 193 – 194.
3. Фиалко Н.М., Степанова А.И., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В. Основные направления развития технологий комбинированного производства тепловой и электрической энергии / Тезисы IV Международной конференции “Проблемы промышленной теплотехники”, 26–30 сентября 2005 г., Киев. – 2005. – С. 40–41.
4. Билека Б.Д., Гаркуша Л.К., Кабков В.Я. Принцип формирования и выбора схем и оборудования когенерационных установок для коммунальной энергетики // Тезисы IV Международной конференции “Проблемы промышленной теплотехники”, 26–30 сентября 2005 г., Киев. – 2005. – С. 23–24.
5. Закон України Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу // Відомості Верховної Ради. – 2005. – № 20. – С. 278-285.
6. БСЭ. – М.: Изд-во “Советская энциклопедия”, 1976. – Т. 25.
7. Изменение климата 2001: Третий обобщенный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата: Под редакцией Уотсона Р.Т. МГИК, 2003. – 220 с.
8. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – Киев: Наук. Думка, 2000. – 228 с.
9. Любчик Г.М., Варламов Г.Б., Маляренко В.А. Теплоэнергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2003. – 232 с.
10. Замоторин Р.В. Малые теплоэлектроцентрали – поршневые или турбинные. – 2003. – “www.cogeneration.ru”.
11. Клименко В.Н., Сабашук П.П., Клименко Ю.Г. и др. Энергетические характеристики когенерационной установки на частичных тепловых нагрузках // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 3. – С. 51-56.
12. Клименко В.Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 4-5. – С. 106–110.
13. Коломейко Д.А., Корнеев И.Ю. Анализ энергетической эффективности когенерационной установки фирмы “WILSON” типа PG1250B // Промышленная теплотехника – 2005. – Т. 27, № 3. – С. 46–9.
14. Андрущенко А. И., Семенов Б.А. Система показателей для оценки топливной эффективности эксплуатационных режимов ТЭЦ // Промышленная энергетика. – 2005. – № 12. – С. 2–7.

Получено 19.04.2006 г.