

*Дубовской С.В., докт. техн. наук, Твердохлиб А.С., аспирант*

*Институт общей энергетики НАН Украины, Киев*

*ул. Антоновича, 172, 03680 Киев, Украина, e-mail: info@ienergy.kiev.ua*

## **Разделение затрат энергии при комбинированном производстве теплоты и холода**

Статья посвящена усовершенствованию сравнительных оценок энергосберегающих технологий комбинированных производств теплоты и холода по удельным затратам энергии на их получение. Универсальность таких оценок дает эксергетический метод разделения затрат приводной энергии по продуктам комбинированного производства. Однако ценность эксергетического метода снижает недоказанность предпосылки о равной эксергетической эффективности получения продуктов, положенной в его основу. На основе понятий общей метрологии, первого и второго начал термодинамики обоснован новый подход к разделению затрат энергии между продуктами, свободный от указной предпосылки. Предложены общие зависимости для расчета затрат приводной энергии при комбинированном производстве теплоты и холода по данным энергетического и эксергетического балансов. Установлено, что эффективность получения теплоты выше, а холода – ниже общего эксергетического КПД комбинированного производства. Методические выкладки иллюстрированы примером комбинированного получения теплоты и холода с применением поршневых холодильных машин. *Библ.10, рис.3.*

**Ключевые слова:** комбинированное производство теплоты и холода, разделение затрат, эксергия, эксергетический КПД.

Комбинированное производство теплоты и холода представляет собой известное и вместе с тем, перспективное направление сбережения энергии в технологических процессах многих отраслей промышленности, использующих холод [1]. В последние годы, в связи с широким распространением кондиционирования воздуха, охлаждения воды, теплоснабжения на основе тепловых насосов, технологии комбинированного тепло- и хладоснабжения находят все более широкое применение в системах централизованного энергоснабжения гражданского и жилищного строительных фондов многих стран мира.

В Японии системы районного тепло- и хладоснабжения, получили развитие, начиная с 1970 г. В настоящее время они превратились в третий по значению сектор энергетики после электроэнергетики и газоснабжения [2]. В странах Европейского Союза комбинированное производство теплоты и холода расценивается как ключевое направление сбережения энергии и сокращения выбросов парниковых газов. По оценкам Европейской комиссии, комбинирование технологий централизованного теплоснабжения на базе ТЭЦ и тепловых насосов с централизованным хладоснабжением позволит уже к 2020 г. удвоить удельный вес централизованного теплоснабжения, обеспечив покрытие 25 % ЕС потребностей в холоде [3].

Возрастающий интерес к масштабному развитию комбинированного производства теплоты и холода, появление многочисленных технологических методов его осуществления, определяют естественную потребность в объективной оценке энергетической и экономической эффективности производства теплоты и холода комбинированным методом.

Основой оценки энергетической эффективности производства электрической энергии, теплоты и холода в отечественной и зарубежной статистике служит удельная затрата энергии на получение энергетической единицы данной продукции.

В случае комбинированного производства двух и более видов энергии в одной установке или в одном процессе определение удельных затрат энергии сталкивается с известной трудностью, обусловленной отсутствием видимого пространственного разделения приводной энергии по видам его продуктов, что вынуждает выполнять такое разделение расчетным путем.

На сегодняшний день общепризнанный принцип расчетного разделения затрат по продуктам реального комбинированного производства теплоты и холода не создан, что в известной степени способствует его произвольным толкованиям.

Вместе с тем, для идеальных комбинированных процессов, как это показал Р. Нитч [4], точное решение данной задачи известно и оно определяется эксергетическим методом термодинамического анализа.

В соответствие с определением эксергии, при полной обратимости всех процессов комбинированного производства видов энергии, затраты приводной эксергии на получение полезной энергии каждого вида эквивалентны эксергии полученных продуктов вне зависимости от их конкретного вида, что дает общее решение задачи разделения [5].

Реальные процессы комбинированного производства, в частности теплоты и холода, обычно далеки от идеальных. Совокупная эксергия продуктов всегда ниже приводной эксергии комбинированного производства. Это отличие учитывается количественно общим эксергетическим КПД данного производства, определяемым как отношение совокупной эксергии продуктов к приводной эксергии. По данным [6], эксергетический КПД реальных комбинированных производств теплоты и холода изменяется в диапазоне 0,3–0,8. Таким образом, от 20 до 70 % эксергии в реальных процессах теряется.

Эксергетический метод, как это отметил Р. Нитч [4], не дает ответа на вопрос о точном разделении данных потерь. Это вынуждает прибегать к определенным допущениям по поводу их деления. Среди разных соображений такого рода наибольшее признание получил принцип равенства эксергетической эффективности производства каждого из продуктов комбинированного производства. Он определил соответствующий расчетный метод - разделения затрат приводной эксергии пропорционально эксергии полученных продуктов.

В настоящее время, в силу простоты и общности данный метод именуется эксергетическим и широко используется на практике [5, 7].

В случае комбинированного производства теплоты и холода определение затрат на получение соответствующих продуктов данным методом производят по формулам:

$$L_c^{ex} = E_{x_c} + D E_{x_c} / (E_{x_h} + E_{x_c}) = E_{x_c} / \eta_{ex};$$

$$L_h^{ex} = E_{x_h} + D E_{x_h} / (E_{x_h} + E_{x_c}) = E_{x_h} / \eta_{ex},$$

где  $E_{x_c}$ ,  $E_{x_h}$  – эксергия холода и теплоты, соответственно;  $D$  – потери эксергии;  $\eta_{ex}$  – эксергетический КПД,  $\eta_{ex} = (E_{x_c} + E_{x_h}) / L$ ;  $L$  – приводная эксергия.

Вместе с тем, отсутствие научного обоснованного принципа пропорционального разделения потерь эксергии оставляет место как для

критики эксергетического метода, так и для утверждений о невозможности точного решения задачи разделения в принципе.

В настоящей работе предпринята попытка обоснования принципиальной возможности точного расчета затрат эксергии на получение продуктов реальных комбинированных производств теплоты и холода и получения соотношений для производства такого разделения в общем виде.

В основу данного обоснования положим понятие объективной физической величины. В соответствии с общефизическими представлениями, любой количественно определенный показатель, характеризующий тот или иной процесс, может считаться объективной физической величиной тогда, когда он допускает принципиальную возможность многократного прямого измерения на опыте с заранее заданной погрешностью [8].

Кроме того, процесс измерения данной величины может считаться объективным тогда, когда его осуществление не вносит изменений в состояние объекта измерения и окружающую среду [9].

Исходя из данных требований покажем, что затраты на получение продуктов комбинированного производства теплоты и холода есть объективные физические величины.

Рассмотрим произвольную установку комбинированного производства теплоты и холода (рис.1), работающую при температуре окружающей среды  $T_a$ . Установка в каждую единицу времени отбирает определенное количество теплоты  $Q_c$  от нижнего термостата с температурой  $T_c < T_a$ , одновременно сообщая определенное количество теплоты  $Q_h$  верхнему термостату с температурой  $T_h > T_a$ , потребляя при этом механическую энергию  $L$ . Требуется опытным путем определить затраты механической энергии на отбор теплоты  $Q_c$  от нижнего термостата (производство холода) и передачу теплоты верхнему термостату (производство теплоты).

Основная идея опыта состоит в эквивалентном замещении реальной установки комбинированного производства совокупностью однопродуктовых машин так, чтобы их работа обеспечивала те же параметры потребления энергии, выработки теплоты и холода, что и рассматриваемая установка не вызывая дополнительных изменений в окружающей среде. Поскольку требуется показать принципиальную возмож-

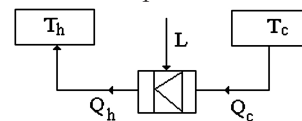


Рис.1. Принципиальная схема комбинированного производства теплоты и холода.

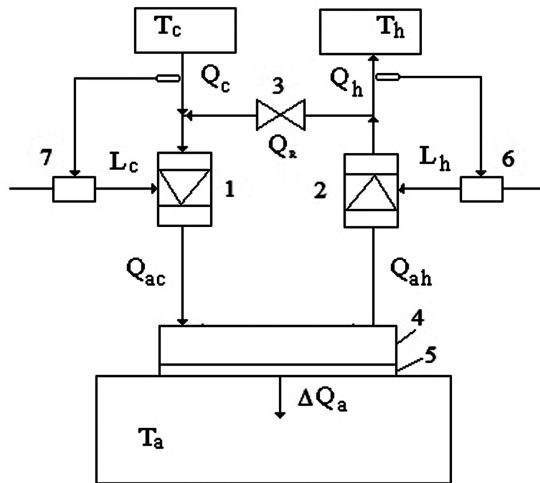


Рис.2. Принципиальная схема установки для опытного определения затрат энергии на комбинированное производство теплоты и холода: 1 — идеальная тепловая машина, предназначенная для отбора теплоты окружающей среды и ее сообщения верхнему теплоприемнику; 2 — идеальная тепловая машина, предназначенная для отбора теплоты от нижнего термостата и ее передачи в окружающую среду; 3 — регулируемый тепловой шунт, предназначенный для передачи теплоты от верхнего термостата к нижнему; 4 — промежуточный приемник теплоты, отделенный от окружающей среды тепломером 5; 6 — регулятор производительности тепловой машины 1, предназначенный для поддержания постоянного теплового потока к верхнему термостату путем изменения приводной мощности тепловой машины 1; 7 — регулятор производительности тепловой машины 2, предназначенный для поддержания постоянного теплового потока от нижнего термостата путем изменения приводной мощности тепловой машины 2; источник приводной мощности для тепловых машин 1 и 2 (на схеме не показан).

ность измерения искомым затрат, в ходе мысленного эксперимента, в состав установки могут быть включены идеальные тепловые машины.

Для производства опыта может быть использована измерительная установка, представленная схематически на рис.2.

### Последовательность измерений

Устанавливают теплопроизводительность и холодопроизводительность машин 1 и 2 равными соответствующим значениям  $Q_h$ ,  $Q_c$  рассматриваемой установки комбинированного производства теплоты и холода.

Включают тепловой шунт 3 и плавно увеличивают величину перепуска теплоты от верхнего термостата к нижнему. Регуляторами 6 и 7 поддерживают постоянные значения тепловых потоков  $Q_h$  и  $Q_c$ , увеличивая приводную мощность тепловых машин 1 и 2 соответственно.

По показаниям тепломера 5 контролируют результирующий тепловой поток, поступающий от промежуточного приемника в окружающую среду. По достижении его нулевого значения измеряют приводную мощность  $L_h$  и  $L_c$  машин 1, 2.

Убеждаются, что их сумма соответствует мощности, потребляемой реальной установкой, что будет свидетельствовать о правильном проведении опыта.

Измеренное значение приводной мощности машины 1 отождествляют с искомой затратой приводной мощности на получение теплоты, а значение приводной мощности машины 2 — с искомой затратой приводной мощности на получение холода реальной установкой комбинированного производства теплоты и холода.

### Обсуждение результата

Поскольку при проведении опыта используются принципиально доступные средства, свойства которых не выходят за рамки ограничений первого и второго законов термодинамики, в ходе его проведения в точности воспроизводятся свойства испытываемой установки комбинированного производства без какого либо вмешательства в окружение. Опыт допускает многократное повторение измерений с контролируемой погрешностью.

В связи с этим, измеренные в его ходе значения затрат на получение теплоты и холода могут считаться объективными физическими величинами, определяющие единственно возможные значения искомым затрат.

Хотя представленный опыт является мысленным, он может быть воспроизведен в реальности с учетом неизбежных отклонений свойств используемых машин от идеальных с применением известных методов компенсации систематических погрешностей измерений.

С другой стороны, как это показано ниже, использование соотношений первого и второго законов термодинамики позволяет предсказать результат описанного опыта заранее.

Поскольку тепловая машина 1 лишена потерь эксергии, тепловой поток  $Q_{ah}$ , отбираемый ею от окружающей среды (промежуточного термостата) определяется из условия отсутствия потерь эксергии в данной машине:

$$D_1 = T_a \Delta S = T_a [(Q_h + Q_R) / T_h - Q_{ah} / T_a] = 0, \quad (1)$$

где  $Q_R$  — величина шунтирующего теплового потока (см. рис.2).

Отсюда

$$Q_{ah} = (Q_h + Q_R) T_a / T_h. \quad (2)$$

Аналогичным образом определяется величина теплового потока, сообщаемого машиной 2 окружающей среде:

$$Q_{ac} = (Q_c + Q_R) T_a / T_c. \quad (3)$$

Поскольку процесс измерений, по условию его проведения, не вносит изменений в окружающую среду, что соответствует условию  $\Delta Q_a = Q_{ah} - Q_{ac}$  (см. рис.2), в его ходе обеспечивается равенство абсолютных значений данных потоков. Достигается это при определенной величине шунтирующего теплового потока  $Q_R$ . Ее можно определить, сравнивая (2) и (3):

$$Q_R = (Q_h T_a / T_h - Q_c T_a / T_c) / (T_a / T_h - T_a / T_c). \quad (4)$$

По известной величине  $Q_R$ , исходя из идеальности тепловых машин 1 и 2, можно рассчитать приводную мощность, потребляемую ими:

$$L_h = (Q_h + Q_R) \tau_h; \quad (5)$$

$$L_c = (Q_c + Q_R) \tau_c, \quad (6)$$

где  $\tau_c$  – эксергетическая температурная функция теплоты, отбираемой от нижнего термостата,  $\tau_c = (T_a - T_c) / T_c$ ;  $\tau_h$  – эксергетическая температурная функция теплоты, сообщаемой верхнему термостату,  $\tau_h = (T_h - T_a) / T_h$ .

С учетом данного определения эксергетических температурных функций выражению (4) может быть придан вид:

$$Q_R = [Q_h (1 - \tau_h) - Q_c (1 + \tau_c)] / [(1 + \tau_c) - (1 - \tau_h)] = [(Q_h - Q_c) - (Q_h \tau_h + Q_c \tau_c)] / (\tau_c + \tau_h). \quad (7)$$

Уравнения энергетического и эксергетического балансов рассматриваемой установки даются в виде:

$$Q_h - Q_c = L; \quad (8)$$

$$L = Q_h \tau_h + Q_c \tau_c + D \quad (9)$$

где  $D$  – потеря эксергии.

Учет этого позволяет упростить (7) к виду:

$$Q_R = D / (\tau_h + \tau_c) \quad (10)$$

Подстановка данного соотношения в (5) и (6), в свою очередь, позволяет определить искомые затраты в виде:

$$L_h = Q_h \tau_h + D \tau_h / (\tau_h + \tau_c); \quad (11)$$

$$L_c = Q_c \tau_c + D \tau_c / (\tau_h + \tau_c); \quad (12)$$

где  $D = (1 - \eta_{ex})L$ .

Для удобства сопоставления полученных результатов с эксергетическим методом опреде-

ления тех же затрат следует определить значения эксергетических КПД производства холода и теплоты.

Умножим числитель и знаменатель второго члена правой части (12) на величину  $Q_c$ .

При этом с учетом определения эксергии:

$$L_c = Ex_c + D Ex_c / (Ex_h Q_c / Q_h + Ex_c) = Ex_c [1 + D / (Ex_h Q_c / Q_h + Ex_c)]. \quad (13)$$

Определив отношение тепловых потоков из уравнения энергетического баланса установки (8), получим:

$$L_c = Ex_c [1 + D / (Ex_h + Ex_c - L Ex_h / Q_h)] = Ex_c [(Ex_h + Ex_c + D) - L Ex_h / Q_h] / (Ex_h + Ex_c - L Ex_h / Q_h). \quad (14)$$

Отметим, что выражение в скобках в числителе (14), как это видно из уравнения баланса эксергии (9), представляет собой величину суммарного потребления мощности  $L$ , а отношение эксергии теплоты к ее количеству в знаменателе (14) – температурную функцию теплоты.

Учет этого после деления числителя и знаменателя на величину  $L$ , позволяет упростить (14) к виду:

$$L_c = Ex_c (1 - \tau_h) / (\eta_e - \tau_h). \quad (15)$$

Проведя аналогичные выкладки относительно затраты приводной мощности на получение теплоты, получим:

$$L_h = Ex_h (1 + \tau_c) / (\eta_e + \tau_c). \quad (16)$$

Эксергетический КПД получения теплоты и холода, соответственно, представляет собой отношение эксергии каждого из этих продуктов к найденным затратам приводной эксергии. С учетом этого из выражений (15) и (16) нетрудно получить:

$$\eta_{ex}^c = (\eta_e - \tau_h) / (1 - \tau_h); \quad (17)$$

$$\eta_{ex}^h = (\eta_e + \tau_c) / (1 + \tau_c). \quad (18)$$

С учетом определения температурных функций данные соотношения можно выразить также в виде:

$$\eta_{ex}^h = 1 - T_c (1 - \eta_{ex}) / T_a; \quad (19)$$

$$\eta_{ex}^c = 1 - T_h (1 - \eta_{ex}) / T_a. \quad (20)$$

Из полученных выражений видно, что эксергетические КПД получения теплоты и холода различны и не равны общему эксергетическому КПД установки комбинированного производства.

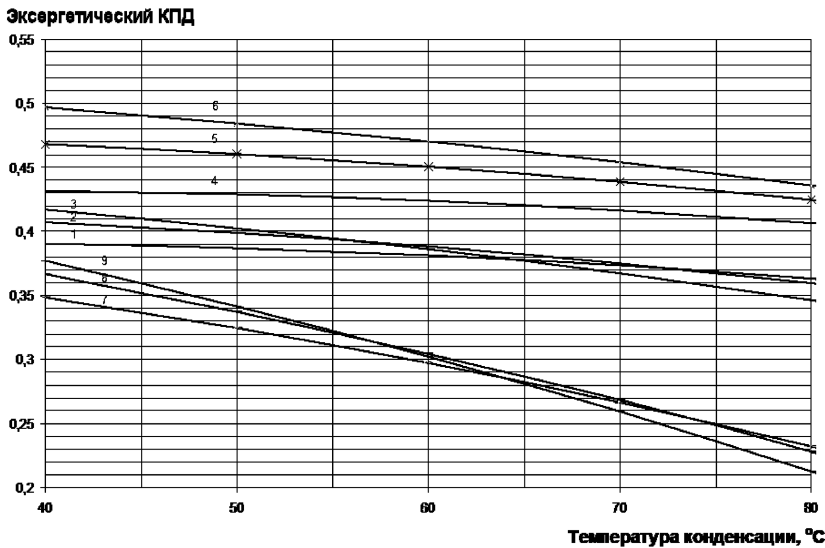


Рис.3. Термодинамическая эффективность комбинированного производства теплоты и холода для поршневых холодильных машин в зависимости от температуры испарения и конденсации хладагента при температуре испарения 0 °С; -10 °С; -20 °С соответственно: 1-3 – эксергетический КПД полный; 4-6 – эксергетический КПД получения теплоты; 7-9 – эксергетический КПД получения холода.

Отклонения эксергетических КПД на производство теплоты и холода от полного эксергетического КПД могут быть выражены в виде:

$$\begin{aligned} \Delta\eta_{\text{ex}}^h &= (\eta_{\text{ex}}^h - \eta_{\text{ex}}) = \\ &= (1 - \eta_{\text{ex}}) (1 - T_c/T_a); \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Delta\eta_{\text{ex}}^c &= (\eta_{\text{ex}}^c - \eta_{\text{ex}}) = \\ &= -(1 - \eta_{\text{ex}}) (T_h/T_a - 1). \end{aligned} \quad (22)$$

Последние выражения наглядно показывают, что эффективность получения теплоты всегда выше, а холода – ниже эксергетического КПД комбинированного производства теплоты и холода и эти различия тем сильнее, чем ниже термодинамическое совершенство данного производства.

Хотя приведенные выкладки касаются компрессионных установок комбинированного производства с механическим приводом, они сохраняют силу и для абсорбционных установок в отношении эксергии приводной теплоты. Разделение потоков приводной теплоты осуществляется при этом пропорционально найденным значениям эксергии этих потоков.

Количественные оценки упомянутых различий могут быть получены на примере расчета показателей эксергетической эффективности комбинированного производства теплоты и холода с помощью поршневых холодильных машин на низкокипящем рабочем теле.

Методика расчетного определения отопительного коэффициента холодильных машин такого типа, основанная на обобщении опытных данных, представлена, в частности в [10].

В расчетах эксергетического КПД комбинированного производства теплоты и холода предполагалось, что температура окружающей среды составляет 20 °С, температура охлаждения изменяется в пределах от 0 до -20 °С, нагревания – 40–80 °С при мощности холодильной машины 1 кВт.

Результаты расчетов показывают, что количественные отличия эксергетических КПД производства теплоты и холода от полного эксергетического КПД системы в рассматриваемом примере составляют до 24 %. Для машин с более низкой термодинамической эффективностью, например, абсорбционных, указанные различия будут большими.

## Выводы

Методом мысленного эксперимента показана принципиальная возможность раздельного измерения затрат на получение теплоты и холода при их комбинированном производстве в одном устройстве.

С использованием первого и второго законов термодинамики получены общие соотношения для раздельного определения затрат приводной мощности на получение теплоты и холода при их комбинированном производстве по известным средним температурам охлаждения и нагревания.

Установлено, что в отличие от эксергетического метода разделения затрат, эксергетические КПД комбинированного производства теплоты и холода различны, причем эксергетический КПД получения теплоты всегда выше, а холода ниже, чем полный эксергетический КПД комбинированного производства.

На примере расчета эксергетических КПД производства теплоты и холода с применением поршневых холодильных машин установлено, что количественные отличия данных показателей, определенных предложенным и эксергетическими методами составляют до 24 %.

## Список літератури

1. Bassols J., Kuckelkorn B. Trigenation in the food industry. — Colibri bv, Tentstraat 5, 6291 BC Vaals, The Netherlands.
2. The Role of District Heating and Cooling in Japan. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.jdhc.or.jp/en/what.html>.
3. District Heating Cooling. — DHS + Technology Platform. Colophon. — 2009. — 15 p.
4. Нитч Р. Ексергетическое разделение затрат комбинированной выработки тепла и электрической энергии и введение эксергетического тарифа на тепло для отопления / Энергия и эксергия / Под ред. В. М. Бродянского]. — М. : Мир, 1968. — С. 106–121.
5. Бродянский В.М., Верховкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем : Справ. пособие / Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. — Киев : Наукова думка. — 1991. — 360 с.
6. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия / Перевод с польского под ред. В. М. Бродянского. — М. : Энергия, 1968. — 279 с.
7. Степанов В.С. Анализ энергетического совершенства технологических процессов. — Новосибирск : Наука, 1984. — 274 с.
8. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. — 272 с.
9. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. — Л. : Энергия, 1978. — 262 с.
10. Проценко И.П., Радченко В.А. Коэффициент преобразования парокompрессионных тепловых насосов // Теплоэнергетика. — 1988. — № 8. — С. 51–53.

Поступила в редакцию 01.04.14

**Дубовський С.В.,** докт. техн.наук, **Твердохліб О.С.,** аспірант  
**Інститут загальної енергетики НАН України, Київ**  
 вул. Антоновича, 172, 03680 Київ, Україна, e-mail: [info@ienergy.kiev.ua](mailto:info@ienergy.kiev.ua)

## Розділення витрат енергії при комбінованому виробництві теплоти та холоду

Стаття присвячена удосконаленню порівняльних оцінок енергозберігаючих технологій комбінованих виробництв теплоти та холоду за питомими витратами енергії на їх отримання. Універсальність таких оцінок дає ексергетичний метод поділу витрат приводної енергії по продуктах комбінованого виробництва. Однак цінність ексергетичного методу знижує недоведеність припущення щодо рівності ексергетичних ККД отримання кожного з продуктів, покладеного в його основу. На основі понять загальної метрології, першого і другого початків термодинаміки обґрунтовано новий підхід до поділу витрат енергії між продуктами, вільний від припущень. Запропоновано загальні залежності для розрахунку витрат приводної енергії при комбінованому виробництві тепла і холоду за даними енергетичного та ексергетичного балансів. Встановлено, що ефективність отримання теплоти вище, а холоду — нижче загального ексергетичного ККД комбінованого виробництва. Методичні викладки ілюстровані прикладом комбінованого отримання теплоти та холоду із застосуванням поршневих холодильних машин. *Бібл. 10, рис. 3.*

**Ключові слова:** комбіноване виробництво теплоти та холоду, поділ витрат, ексергія, ексергетичний ККД.

**Dubovskyy S.V.**, Doctor of Technical Science,  
**Tverdokhlib O.S.**, PhD-Student

**Institute of General Energy of NAS of Ukraine**

172, Antonovich Str., 03680 Kiev, Ukraine, e-mail: info@ienergy.kiev.ua

## Cost-Sharing a Drive Energy During Combined Production of Heat and Cold

Article is devoted to the improvement of comparative assessments energy saving technologies for combined generation of heat and cold on the specific costs of energy to get them. Universality of such assessments gives exergy method of cost-sharing drive energy between products of combined generation. However, the value of exergy method reduces the unproven assumption that equal exergy efficiency of production of products which it is based. On the basis of general concepts of metrology, the first and second laws of thermodynamics justified a new approach to the division of costs between energy products, free from any assumptions. The general relationship for calculating the driving energy costs in the combined production of heat and cold according to the energy and exergy balances is proposed. It is established, that the efficiency of obtaining heat is higher and cooling – lower than the overall exergy efficiency of the combined production. Methodical calculations illustrated example with receiving combined heat and cold using reciprocating chillers. *Bibl.10, Fig.3.*

**Key words:** combined production of heat and cold, cost-sharing, exergy, exergy efficiency.

### References

1. Bassols J., Kuckelkorn B. etc. Trigeneration in the food industry, Colibri bv, Tentstraat 5, 6291 BC Vaals, The Netherlands.
2. The Role of District Heating and Cooling in Japan. Available online at: <http://www.jdhc.or.jp/en/what.html>.
3. District Heating Cooling. – DHC+ Technology Platform. Colophon. 2009, 15 p.
4. Nitsch R. Exergy cost sharing combined heat and power and the introduction of exergy heat tariff for heating // Energy and exergy /Ed. V.M. Brodyansky, Moscow : World, 1968, pp. 106–121. (Rus.)
5. Brodyansky V.M., Verhivker G.P., Karchev Y.Y. etc. Exergetic calculations of technical systems : Handbook / Ed. Dolinsky A.A. Brodyansky V.M. Kiev, Naukova dumka, 1991, 360 p. (Rus.)
6. Shargut J., Petala R. Exergy /Translated from the Polish ed. V.M. Brodyansky. Moscow : Energy, 1968, 279 p. (Rus.)
7. Stepanov V.S. Analysis of the energy process merit, Novosibirsk, Nauka, 1984, 274 p. (Rus.)
8. Kuznetsov V.A., Yalunin G.V. General Metrology, Moscow : Publishing PKI standards, 2001, 272 p. (Rus.)
9. Rabinovich S.G. Measurement errors, Leningrad : Energy, 1978, 262 p. (Rus.)
10. Protsenko I.P., Radchenko V.A. Conversion Factor vapor compression heat pump // Thermal Power Engineering, 1988 (8), pp. 51–53. (Rus.)

Received April 1, 2014