

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

теплоносителя.

<http://www.energsovet.ru/stat148p2.html>.

4. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А., Пархоменко Г.А. Анализ путей уменьшения энергозатрат за счет периодического снижения температуры воздуха отапливаемых помещений // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 2. – С. 79-86.

5. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А.

– Об эффективности способа экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях с различной тепловой инерцией // Промышленная теплотехника. – 2009. – № 1. – С. 57-61.

Получено 16.01.2009 г.

УДК 621.036.7

Гершуни А.Н., Нищик А.П.

Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт”

ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ

Розглянуто та проаналізовано макроекономічні показники енергоефективності утилізації теплоти – одного з головних напрямів технологічного (прямого) енергозбереження. Запропоновано, визначено та проаналізовано основні інтегральні та відносні показники (характеристики) енергозберігаючого ефекту при здійсненні утилізації теплоти на паливо- та енерговикористовуючому устаткуванні.

Рассмотрены и проанализированы макроэкономические показатели энергоэффективности утилизации теплоты – одного из главных направлений технологического (прямого) энергосбережения. Предложены, определены и проанализированы основные интегральные и относительные показатели (характеристики) энергосберегающего эффекта при осуществлении утилизации теплоты на топливо- и энергоиспользующем оборудовании.

Energy efficiency macroeconomic characteristics of heat recovery, which is one of the main ways of technological (direct) energy saving, have been studied and analyzed. The main cumulative and comparative characteristics of the energy saving effect, implementing the heat recovery on the fuel-and energy consuming equipment have been proposed, evaluated, and analyzed.

B – расход топлива на топливоиспользующем оборудовании;

D – паропроизводительность котла;

K_y – коэффициент утилизации теплоты;

$Q_{\text{пол}}$ – полезный тепловой поток, вырабатываемый топливоиспользующим оборудованием;

$Q_{\text{ст}}$ – теплота сгорания топлива;

$Q_{\text{ут}}$ – утилизированный тепловой поток;

$Q_{\text{ут max}}$ – максимально возможный утилизируемый тепловой поток;

t'_1, t''_1 – температуры горячего теплоносителя на входе и выходе соответственно;

t'_2 – температура холодного теплоносителя на входе;

ΔB – снижение расхода топлива при осуществлении утилизации теплоты;

ΔI_{yx} – снижение энтальпии уходящих продуктов сгорания при утилизации теплоты;

Δi – разность энтальпий пара и питательной воды;

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Δq_2 – снижение величины потерь теплоты с уходящими продуктами сгорания при осуществлении утилизации теплоты;

Δt_1 – снижение температуры горячего теплоносителя;

$\Delta t_{\text{расп}}$ – располагаемый температурный напор, т.е. разность входных температур горячего и холодного теплоносителей;

$\Delta \eta$ – повышение коэффициента полезного действия (коэффициента использования топлива) топливоиспользующего оборудования;

η – коэффициент полезного действия (коэффициент использования топлива) топливоиспользующего оборудования.

Индексы нижние:

1 – до осуществления утилизации теплоты;

2 – после осуществления утилизации теплоты.

Утилизация теплоты – это возврат и полезное использование части тепловой энергии выбросных потоков. Это одно из главных направлений осуществления технологического (прямого) энергосбережения [1]. Утилизация теплоты – типичная технология активного энергосбережения, соответствующая основам стратегии энергосбережения, состоящей в повышении эффективности использования энергоресурсов, а не в прямом сокращении их использования.

Основой технологии утилизации теплоты является теплоутилизационное оборудование (теплоутилизационные установки, теплоутилизаторы). Теплоутилизатор – это теплообменник (теплообменный аппарат), в котором осуществляется передача части тепловой энергии от выбросного потока теплоносителя, образующегося в данном технологическом процессе, к потоку другого теплоносителя для использования переданной теплоты в том же или ином технологическом процессе.

Актуальность технологии утилизации теплоты, результаты исследований и разработок в этом направлении и опыт практического внедрения рассмотрены во многих работах, например в [2 – 5].

Утилизация теплоты является энергосберегающей технологией многоотраслевого применения. Она может применяться в отраслях топливно-энергетического комплекса, промышленности, агропромышленного комплекса, транспорта, коммунального хозяйства – везде, где есть источники тепловых выбросов. По температурному уровню тепловые выбросы можно условно разделить на три группы: высокотемпературные (свыше 600 °С), среднетемпературные (150...600 °С), низкотемпературные (до 150 °С). Источниками тепловых выбросов первой группы являются металлургические печи, стекольные печи, установки для производства водорода и др.; второй группы – котлы, газовые турбины, теплогенераторы, двигательные установки, печи для термообработки различных материалов и пищевых продуктов и др.; третьей группы – сушильные установки, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, различное технологическое оборудование и др. Энергетические уровни тепловых выбросов, как правило, превышают оптимальные и являются мощным резервом энергосбережения путем утилизации избыточной выбросной теплоты. Исключения немногочисленны (например, на относительно приемлемом уровне находятся температуры уходящих газов котлов, работающих в большой энергетике). Чрезмерные уровни тепловых выбросов вызваны следующими основными причинами:

1. Во времена проектирования используемого сегодня топливо- и энергоиспользующего оборудования технико-экономический анализ показывал нецелесообразность организации утилизации теплоты вследствие низкой цены на энергоресурсы в те времена и технического несовершенства теплообменников-утилизаторов, массогабаритные характеристики и материалоемкость которых были соизмеримы с массой и габаритами основного оборудования – источников тепловых выбросов.

2. Нормативно-технические требования к показателям энергоэффективности многих типов топливо- и энергоиспользующего оборудования были и по сути остаются не отвечающими современным требованиям.

Реальность, эффективность и целесообразность мероприятий по утилизации теплоты должны быть обоснованы, исходя из следующих критериев:

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

1. Назначение утилизированной теплоты.

При этом анализируются наличие реальных возможностей использования утилизированной теплоты в конкретных условиях, возможностей использования утилизированной теплоты в том же технологическом процессе или в других, возможные виды носителей утилизированной теплоты (вода, воздух, пар и др.).

2. Минимально допустимая температура выбросов после утилизации теплоты.

При этом учитываются возможность конденсационного режима работы теплоутилизатора, возможное влияние коррозионных процессов на надежность и безопасность работы и др.

3. Возможность рациональной компоновки теплоутилизационной установки на объекте реализации и обеспечение надежной работы системы в целом.

При этом определяется наличие зоны для размещения установки (особенно, на функционирующем объекте), анализируется возможность обеспечения надежной и безопасной работы газовоздушных и жидкостных трактов (желательно на штатных тягодутьевых машинах и насосах), горелочных устройств и др.

4. Возможность окупаемости капитальных затрат на утилизацию теплоты за счет ожидаемого энергосберегающего эффекта за период, как правило, не превышающий 1...1,5 года.

Как известно, потенциал энергосбережения в Украине составляет примерно 45 % от всего объема потребляемых топливно-энергетических ресурсов и примерно соответствует 85 млн. т у.т. в год. Анализ показывает, что доля потенциала энергосбережения за счет утилизации теплоты находится на уровне 7...8 % от всего объема потребляемых топливно-энергетических ресурсов. Т.е. вклад утилизации теплоты в общий потенциал энергосбережения составляет 16...17 % и равен примерно 14 млн. т у.т. в год. Распределение этого потенциала утилизации теплоты по объектам реализации примерно следующее:

- промышленные и теплофикационные котлы 50 %;
- промышленные печи 25 %;

– другие технологии и оборудование

25 %.

Расчетный годовой экономический эффект от реализации указанного потенциала утилизации теплоты составляет по состоянию на 2008 год примерно 21 млрд. грн. (при экспертной стоимости 1 т у.т. равной 1500 грн.).

Тепловая энергия, которая выделилась бы при сжигании сэкономленных за год 14 млн. т у.т., равна 420 млн. ГДж, а соответствующая этой энергии суммарная тепловая мощность, утилизируемая необходимым парком теплоутилизационных установок при принятой средней загрузке оборудования в году – 5000 часов, оценивается величиной 20 тыс. МВт.

На основании имеющегося опыта внедрения мероприятий по утилизации теплоты и экспертных оценок, капитальные затраты для обеспечения 1 МВт утилизируемой тепловой мощности, включая изготовление и приобретение необходимого оборудования, выполнение проектных, монтажных и пусконаладочных работ, можно оценить величиной 1 млн. грн.

Следовательно, необходимый объем капитальных затрат на реализацию указанного потенциала утилизации теплоты составит примерно 20 млрд. грн., а срок окупаемости этих вложений будет около 1 года, что характеризует высокую степень эффективности вложения средств для подобных проектов.

Энергосберегающий эффект того или иного энергосберегающего мероприятия должен быть охарактеризован показателем (показателями), которые обусловлены спецификой и особенностями этого мероприятия.

Предложим и проанализируем основные показатели (характеристики) энергосберегающего эффекта от утилизации теплоты – одного из главных путей (мероприятий) направления технологического (прямого) энергосбережения.

Результирующий полезный экономический эффект от внедрения мероприятий по утилизации теплоты на объекте применения определяется при совместном учете двух основных составляющих: величины снижения расхода топлива и/или тепловой энергии на объекте применения (положительное воздействие на полезный эффект) и величины

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

дополнительных эксплуатационных энергозатрат на привод средств для прокачки теплообменивающих сред через теплоутилизатор (отрицательное воздействие на полезный эффект). Как правило, стоимостное выражение количества сэкономленного топлива (тепловой энергии) во много раз больше стоимостного выражения дополнительных энергозатрат на привод.

Сопоставление результирующего полезного эффекта в денежном выражении с величиной необходимых инвестиций для осуществления мероприятий по утилизации теплоты позволяет определить эффективность инвестиций, характеризующуюся сроком окупаемости капитальных вложений.

Положительно воздействующей базовой характеристикой энергосберегающего эффекта от утилизации теплоты является величина утилизированного теплового потока, которая является абсолютной (интегральной) характеристикой.

Важно предложить относительные (удельные) характеристики энергосберегающего эффекта от утилизации теплоты, которые позволят сравнивать степень эффективности различных технических решений для различных проектов.

Предлагаются и анализируются следующие относительные характеристики.

I При осуществлении утилизации теплоты на топливоиспользующем оборудовании (котлы, печи, теплогенераторы, двигательные установки и пр.)

1. Повышение коэффициента полезного действия (коэффициента использования топлива)

Если допустить, что коэффициенты избытка воздуха в уходящих продуктах сгорания, температуры холодного воздуха и потери теплоты с недожегом и в окружающую среду до и после осуществления утилизации теплоты одинаковы, что вполне правомерно, то:

$$\Delta\eta = \Delta q_2 = \frac{\Delta I_{\text{yx}}}{Q_{\text{cr}}} .$$

Умножив числитель и знаменатель на величину B_2 , получим:

$$\Delta\eta = \frac{\Delta I_{\text{yx}} B_2}{B_2 Q_{\text{cr}}} = \frac{Q_{\text{yt}}}{B_2 Q_{\text{cr}}} . \tag{1}$$

2. Снижение расхода топлива

Величина ΔB равна:

$$\Delta B = B_1 - B_2 = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{cr}} \eta_1} - \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{cr}} \eta_2} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{cr}}} \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 \eta_2} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{cr}}} \frac{\Delta\eta}{\eta_1 \eta_2} . \tag{2}$$

Подставляя (1) в (2), получим:

$$\Delta B = \frac{Q_{\text{пол}} Q_{\text{yt}}}{B_2 Q_{\text{cr}} Q_{\text{cr}} \eta_1 \eta_2} .$$

Так как $\frac{Q_{\text{пол}}}{B_2 Q_{\text{cr}}} = \eta_2$ (по определению), то в

результате:

$$\Delta B = \frac{Q_{\text{yt}}}{Q_{\text{cr}} \eta_1} . \tag{3}$$

3. Снижение расхода топлива на выработку единицы массы пара (для парового котла)

Для парового котла до и после осуществления утилизации теплоты имеем:

$$\eta_1 = \frac{D \Delta i}{B_1 Q_{\text{cr}}} ; \tag{4}$$

$$\eta_2 = \frac{D \Delta i}{B_2 Q_{\text{cr}}} . \tag{5}$$

Тогда из (4) и (5) имеем:

$$D = \frac{\eta_1 B_1 Q_{\text{cr}}}{\Delta i} ; \tag{6}$$

$$D = \frac{\eta_2 B_2 Q_{\text{cr}}}{\Delta i} . \tag{7}$$

Разделив (3) на (6) и (3) на (7) с учетом (1), получим выражения для искомой величины $\frac{\Delta B}{D}$:

$$\frac{\Delta B}{D} = \frac{Q_{\text{yt}} \Delta i}{B_1 \eta_1^2 Q_{\text{cr}}^2} ; \tag{8}$$

$$\frac{\Delta B}{D} = \frac{\Delta i}{Q_{\text{cr}}} \frac{\Delta\eta}{\eta_1 \eta_2} . \tag{9}$$

4. Снижение расхода топлива на выработку единицы полезной тепловой энергии (для водогрей-

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

ного либо парового котла, теплогенератора и др.).

По определению:

$$Q_{\text{пол}} = \eta_1 B_1 Q_{\text{сг}} ; \quad (10)$$

$$Q_{\text{пол}} = \eta_2 B_2 Q_{\text{сг}} . \quad (11)$$

Разделив (3) на (10) и (3) на (11) с учетом (1), получим выражения для искомой величины

$$\frac{\Delta B}{Q_{\text{пол}}} ;$$

$$\frac{\Delta B}{Q_{\text{пол}}} = \frac{Q_{\text{ут}}}{B_1 \eta_1^2 Q_{\text{сг}}^2} ; \quad (12)$$

$$\frac{\Delta B}{Q_{\text{пол}}} = \frac{\Delta \eta}{Q_{\text{сг}} \eta_1 \eta_2} . \quad (13)$$

II При осуществлении утилизации теплоты на энергоиспользующем оборудовании (сушильные установки, системы кондиционирования воздуха, различное технологическое оборудование) относительной характеристикой энергосберегающего эффекта может быть коэффициент утилизации теплоты K_y , равный:

$$K_y = \frac{Q_{\text{ут}}}{Q_{\text{ут max}}} . \quad (14)$$

Величина $Q_{\text{ут max}}$ определяется термодинамическими возможностями системы передачи теплоты с учетом тех или иных технических ограничений температур потоков после утилизации теплоты.

Например, при охлаждении горячего теплоносителя без процессов фазового превращения:

$$K_y = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_{\text{расп}}} . \quad (15)$$

Выводы

1. Рассмотрены и проанализированы макроэкономические показатели энергоэффективности утилизации теплоты – одного из главных направлений технологического (прямого) энергосбережения. Показано что потенциал утилизации теплоты является существенной частью общего потенциала энергосбережения Украины.

2. Предложены, определены и проанализированы основные интегральные и относительные показатели (характеристики) энергосберегающего эффекта при осуществлении утилизации теплоты на топливо- и энергоиспользующем оборудовании. Получены зависимости для определения таких показателей энергосберегающего эффекта как повышение коэффициента полезного действия (коэффициента использования топлива), снижение полных и удельных расходов топлива и энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергосбережения – приоритетный напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
2. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. – Киев: Факт, 2003. – 480 с.
3. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И. и др. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 3. – С. 68 – 76.
4. Гершуни А.Н., Нищик А.П. Разработка и внедрение эффективных теплоутилизаторов на основе теплопередающих элементов испарительно-конденсационного типа // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 69 – 73.
5. Литец А.У., Дирина Л.В., Кузнецова С.М. и др. Утилизация тепла отходящих от промышленных печей дымовых газов // Теплоэнергетика. – 1999. – № 4. – С. 36 – 40.

Получено 29.12.2008 г.