

УДК 536.24:697.1

**Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.М.***Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ВЛИЯНИЕ ЗАПАСА МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Показано, що ефективність способу економії теплової енергії за допомогою зниження температури повітря в опалювальних приміщеннях експоненційно зростає з ростом величини запасу потужності опалювального приладу і дещо знижується з ростом температури оточуючого середовища.

Показано, что эффективность способа экономии тепловой энергии за счет снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях экспоненциально растет с ростом величины запаса мощности отопительного прибора и несколько снижается с ростом температуры окружающей среды.

It is shown that efficiency of method of decline of temperature inside the heated apartments exponentially grows with growth of supply of power of the heating system and a little goes down with growth of ambient temperature.

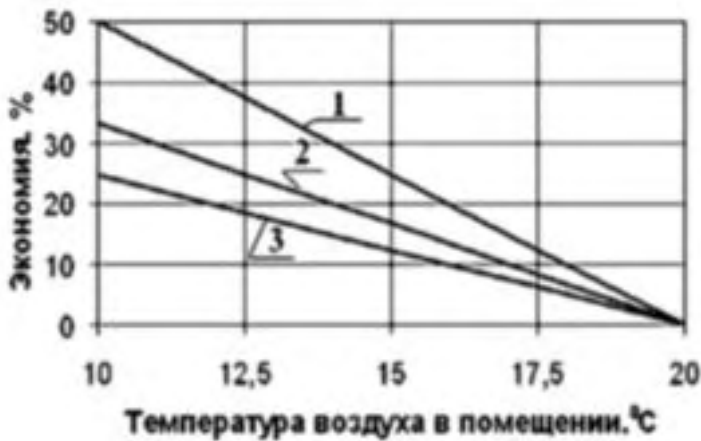
$Q$  – мощность отопительного прибора;  
 $t$  – температура;  
 $\tau$  – время;  
 $Z$  – запас мощности;  
 $\mathcal{E}$  – относительная экономия.

### Индексы:

к – комфортный;  
 м – мощности;  
 ос – окружающей среды;  
 п – помещения;  
 со – системы отопления;  
 э – экономичный;  
 \* – параметр относится к моменту включения системы отопления.

трат, определяемых стоимостью работ и материалов. Известен способ экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении (например [1]), потенциал которого может составлять 15...20 % за отопительный период. В [1] такой способ экономии энергии назван малозатратным. Известно также, что для стационарного режима снижение температуры воздуха в помещении на 1 °С позволяет снизить теплопотери на 2...5 %. Такое снижение энергозатрат зависит как от температуры воздуха в помещении  $t_{п}$ , так и температуры окружающей среды  $t_{ос}$ . Зависимости относительной экономии энергии от температуры воздуха в помещении для разных температур окружающей среды показаны на рис.1.

Существующие способы экономии энергии, идущей на отопление, в основном направлены на снижение теплопотерь через ограждающие конструкции за счет увеличения их термического сопротивления. Такие способы в большинстве случаев требуют значительных капитальных за-



**Рис. 1. Зависимость относительной экономии энергии от температуры воздуха в помещении при различных температурах окружающей среды: 1 – температура среды 0 °C, 2 – -10 °C, 3 – -20 °C**

Под относительной экономией энергии  $\mathcal{E}$  за рассматриваемый промежуток времени (сутки, неделя, месяц и т.д.) предлагается подразумевать отношение количества сэкономленной тепловой энергии к энергозатратам при постоянной комфортной температуре  $Q_k$ :

$$\mathcal{E} = \frac{Q_k - Q(\Delta t)}{Q_k}, \quad \Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{ос}}. \quad (1)$$

Количество сэкономленной тепловой энергии подсчитывается как разность затрат тепловой энергии  $Q_k$ , которая была бы затрачена при постоянной комфортной температуре (например 20 °C), и фактическими энергозатратами, идущими на отопление помещения  $Q(\Delta t)$ . Такая характеристика универсальна и показывает теоретически возможную относительную экономию энергии для помещений различных типов и размеров, которая достигает 0,5 (50 %) при температуре окружающей среды 0 °C и постоянной в течении суток температуре в помещении  $t_{\text{п}} = 10$  °C (прямая 1 на рис.1). Следует отметить, что величина

относительной экономии растет с уменьшением температуры воздуха в помещении и в то же время падает с уменьшением температуры окружающей среды. Однако на практике такие значения экономии энергии невозможны из-за необходимости поддерживать в помещении комфортную температуру во время присутствия в нём людей, поэтому практический потенциал такого способа экономии составляет, как указывалось выше, около 15...20 % за отопительный период.

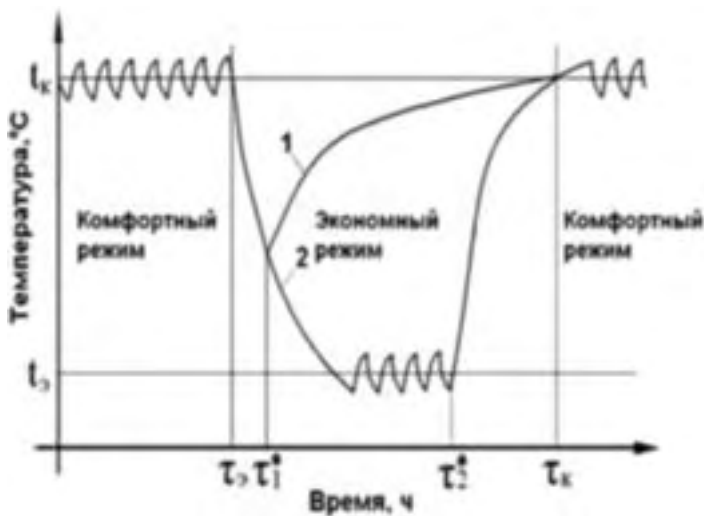
Для реализации такого способа экономии энергии необходимо некое программируемое устройство, которое управляет системой отопления (программатор, терморегулятор и т.п.), и должно включать и выключать систему отопления в заданные моменты времени, а также поддерживать температуру воздуха помещения при заданных уровнях температур в заданные промежутки времени [2,3]. В течении суток в помещении любого назначения требуется поддержка заданной комфортной температуры  $t_k$  (рис. 2) в период присутствия людей, в остальное время температуру можно снизить, вплоть до уровня задаваемой экономной температуры  $t_э$ , и сэкономить таким образом определенную часть энергии. Для этого систему отопления нужно выключить в момент времени  $\tau_э$  (время ухода людей из помещения) и, в случае достижения значения экономичной температуры воздуха, поддерживать эту температуру. В момент времени  $\tau^*$  необходимо включить систему отопления на полную мощность для подъема температуры воздуха до уровня комфортной  $t_k$  ко времени прихода людей  $\tau_k$ .

Для большинства жилых помещений комфортную температуру необходимо поддерживать с вечера до утра, для офисных – наоборот, с утра до вечера. Важно учитывать, что прогрев воздуха от экономной температуры до комфортной занимает промежуток времени от  $\tau^*$  до  $\tau_k$ , причем необходимо находить такое время включения  $\tau^*$ , чтобы в момент прихода людей температура воздуха была максимально близкой к комфортной. Время включения  $\tau^*$  является важной характеристикой устройства управления системой отопления, которая должна рассчитываться с помощью специальных алгоритмов, учитывающих инерционные характеристики помещения, уровень мощности системы

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

отопления, температуру окружающей среды и задаваемые в устройстве управления уровни комфортной и экономной температур в помещении.

Рис. 2 показывает изменение температуры воздуха в помещении при разных уровнях мощности системы отопления.



**Рис. 2. Суточное изменение температуры воздуха в помещении при использовании рассматриваемого способа экономии энергии для разных уровней мощности системы отопления: 1 – малый уровень мощности, 2 – достаточный уровень мощности.**

Из рисунка видно, что малый уровень мощности системы отопления не позволяет снизить температуру до уровня экономной и требует более раннего включения системы отопления ( $\tau_1^*$ ) для выхода температуры воздуха на уровень комфортной в заданное время. В этом случае экономия получается ниже по сравнению со случаем достаточного уровня мощности системы отопления (время включения  $\tau_2^*$ ).

В работах [4,5] авторы исследовали эффективность такого способа экономии энергии для офисных помещений с разными теплоинерционными свойствами и сопротивлением теплопередаче наружных ограждений в недельном цикле отопления. Вопрос влияния уровня мощности

отопительной системы на эффективность рассматриваемого способа экономии энергии в литературе не освещен, но, как показывает рис.2, он является достаточно важным, поскольку видно, что его применение ограничено определенным запасом мощности системы отопления.

Целью работы является исследование влияния запаса мощности системы отопления на эффективность способа экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении, а также определение границ применимости этого способа по величине запаса мощности.

Определим понятие запаса мощности  $Z_M$  как отношение разности между максимальной мощностью системы отопления  $Q_{CO}$  и теплопотерями помещения при комфортной температуре  $Q_K(\Delta t)$  к теплопотерям помещения при комфортной температуре  $Z_M = \frac{Q_{CO} - Q_K(\Delta t)}{Q_K(\Delta t)}$ . (2)

$Q_K(\Delta t)$ , также, как и  $Q(\Delta t)$  в (1), зависит от разности температур  $\Delta t = t_K - t_{OC}$  между комфортной температурой в помещении  $t_K$  (например  $20^\circ C$ ) и температурой окружающей среды  $t_{OC}$ . Устройство управления, как указывалось выше, производит измерение и поддержание во времени температуры воздуха помещения  $t_{П}$  на заданных уровнях за счет прерывистого управления (включения и выключения) имеющейся мощности  $Q_{CO}$  расположенного в помещении отопительного прибора, поэтому под мощностью системы отопления в данной работе подразумевается мощность этого отопительного прибора.

Из определения (2) следует, что для реализации прерывистого управления величина запаса мощности (2) системы отопления для рассматриваемого помещения всегда должна быть больше 0, поскольку в противном случае не будет происходить поддержание температуры даже на заданном уровне комфортной температуры. В соответствии с рис.2 экономия энергии возникает тогда, когда система отопления отключается во время отсутствия людей ( $\tau_1^* - \tau_3$ ) или на промежутке времени достижения экономной температуры ( $\tau_2^* - \tau_3$ ). Диапазон значений относительной экономии за счет такого временного снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях  $\mathcal{E}$  в (1) на практике состав-

ляет от 0 при  $Q(\Delta t)=Q_k$  (снижения температур нет) до 15...20 % при  $Q(\Delta t)<Q_k$  и зависит от продолжительности экономного режима, уровня снижаемой в помещении температуры, температуры окружающей среды и исследуемого ниже запаса мощности системы отопления.

Проведем анализ влияния запаса мощности системы отопления на величину  $\mathcal{E}$  на примере недельного регулирования теплового состояния офисного помещения размером 5,0x5,6x2,5 м, в котором люди находятся в будние дни с 9 до 19 часов при комфортной температуре 20 °С, а в остальное время система регулирования настроена на поддержание экономной температуры воздуха в помещении 9 °С. Кратность воздухообмена в помещении равнялась 1, помещение имело окно и одну наружную стену. На наружной поверхности наружной стены задано граничное условие третьего рода с коэффициентом теплоотдачи 25 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Площадь окна составляла 4,05 м<sup>2</sup>, толщина наружной стены 0,4 м, внутренних стен 0,14 м. Теплопроводность стен составляла 0,3 Вт/(м·К), эквивалентная теплопроводность окна 1 Вт/(м·К). Размеры радиатора 1,6x0,7 м. Сте-

пень черноты всех поверхностей внутри комнаты составляет 0,8, а поверхности радиатора 0,3. Теплообмен с соседними помещениями отсутствовал. Физическая, математическая модели более детально описаны в [4,5].

Моделирование проводилось в нестационарной постановке. В качестве начального условия использовалось стационарное распределение температур в расчетных узлах помещения с такой мощностью  $Q_k$  отопительного прибора (радиатора), для которой имела место комфортная температура в помещении 20 °С при данной температуре окружающей среды. Диапазон поддержания температуры воздуха составлял  $\pm 0,25$  °С от заданной величины комфортной или экономной температур.

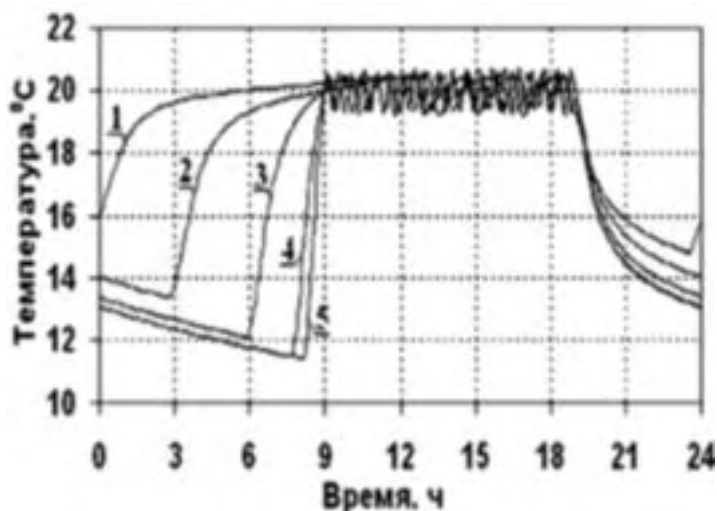
Рассчитывалось 15 вариантов суточной экономии энергии при трех постоянных температурах окружающей среды -20, -10 и 0 °С и пяти разных значениях запаса мощности от 25 до 300% (табл.).

Табл. Значения недельной экономии энергии для различных значений запаса мощности системы отопления и температуры окружающей среды.

№ варианта	Т-ра окружающей среды, °С	Мощность системы отопления $Q_k$ , Вт	Запас мощности $Z_M$ , %	Мощность отопительного прибора $Q_{co}$ , Вт	Время включения $\tau^*$ , час суток	Температура воздуха в момент включения, °С	Экономия энергии $\mathcal{E}$ , %
1	0	723	25	904	23,0	16,74	2,16
2	0	723	50	1085	3,16	15,41	5,58
3	0	723	100	1446	6,00	14,59	7,83
4	0	723	200	2170	7,64	14,08	10,46
5	0	723	300	2892	8,10	13,96	11,33
6	-10	1088,5	25	1361	23,6	14,90	2,89
7	-10	1088,5	50	1633	2,88	13,49	5,36
8	-10	1088,5	100	2177	5,92	12,12	9,50
9	-10	1088,5	200	3265	7,70	11,51	12,26
10	-10	1088,5	300	4354	8,18	11,49	13,00
11	-20	1455,5	25	1819	23,52	13,34	3,12
12	-20	1455,5	50	2183	2,68	11,50	5,89
13	-20	1455,5	100	2911	5,98	9,88	9,83
14	-20	1455,5	200	4366	6,08	9,52	12,51
15	-20	1455,5	300	5822	6,94	9,49	13,33

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

На рис. 3 представлены зависимости температуры воздуха в рассматриваемом помещении при различных запасах мощности отопительного прибора и температуре окружающей среды  $-10^{\circ}\text{C}$ .

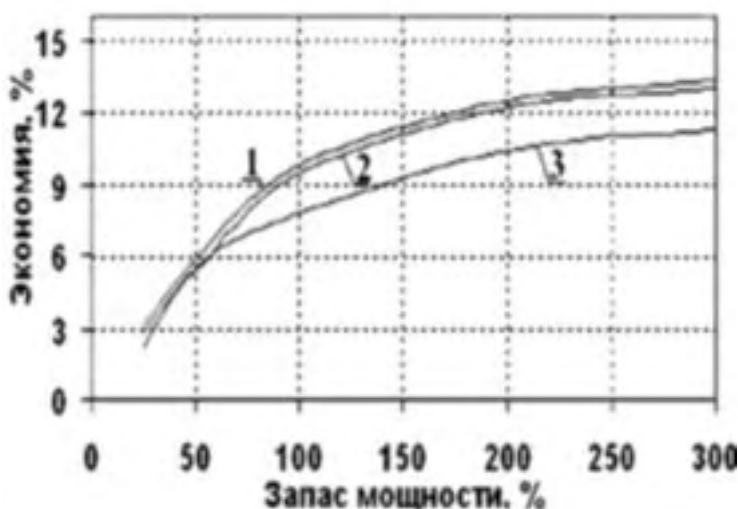


**Рис. 3.** Зависимость суточного изменения температуры воздуха в помещении от времени для различных значений запаса мощности при температуре окружающей среды  $-10^{\circ}\text{C}$ . Кривая 1 – запас мощности 25%, 2 – 50%, 3 – 100%, 4 – 200%, 5 – 300%.

Как видно из результатов, представленных в таблице, чем выше запас мощности, тем достигается большая экономия энергии, и снижается минимальное значение температуры воздуха внутри помещения. В таблице приведены также времена включения системы отопления в зависимости от запаса мощности отопительного прибора. Видно, что чем больше запас мощности отопительного прибора, тем позднее можно включать систему отопления для возврата к комфортной температуре. Таким образом, увеличение мощности приводит к увеличению продолжительности экономного режима и самой величины экономии энергии.

На рис. 4 представлена обобщенная зависимость экономии энергии от запаса мощности при различных температурах окружающей среды.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что зависимость экономии энергии от запаса мощности имеет экспоненциальный вид. Следует отметить, что в отличие от уменьшения экономии энергии при снижении температуры окружающей среды в стационарном режиме помещения (рис.1), экономия энергии в нестационарном режиме помещения (рис. 4) растет с уменьшением температуры окружающей среды. Так, например, для достижения экономии энергии примерно в 9 % при температуре окружающей среды  $-20^{\circ}\text{C}$ , требуется меньший запас мощности (около 85 %), чем при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  (около 140 %), хотя мощность отопительного прибора при  $-20^{\circ}\text{C}$  выше (около 2500 Вт), чем при  $0^{\circ}\text{C}$  (около 1800 Вт), что логично и объясняется особенностью определения относительной экономией энергии Э. Следует заметить, что для рассматриваемого случая экономии энергии в нестационарном режиме работы помещения (рис.3) фактическими энергозатратами, идущими на отопление помещения  $Q(\Delta t)$  в (2), будет интегральная мощность отопительного прибора за рассматриваемый суточный период (кВт·ч) в отличие от стационарного режима экономии (рис.1), не зависящего от времени.



**Рис 4.** Зависимости экономии энергии от запаса мощности отопительного прибора при различных температурах окружающей среды. Кривая 1 –  $-20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $-10^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для рассматриваемого помещения максимальное значение экономии энергии достигает 13,3 % при запасе мощности 300 % и температуре окружающей среды  $-20^{\circ}\text{C}$ . При запасе мощности 200 % экономия энергии составляет 12,5 %, а при 100 % - около 10 %.

Ориентируясь на полученные результаты, можно сделать вывод о том, что для данного помещения минимальным запасом мощности отопительного прибора, при котором достигается экономия энергии около 3 %, является значение около 25 %, т.е. применение рассматриваемого способа экономии энергии целесообразно при запасе мощности отопительного прибора выше 25 %.

Проведем также анализ применимости рассматриваемого способа экономии энергии с точки зрения возможного наличия запасов мощности систем отопления. Максимальная мощность систем отопления индивидуальных домов (коттеджей) часто превышает теплопотери. Например, популярные газовые котлы, имеющие мощность от 24 кВт и выше, часто приобретаются для домов, офисов и отдельных квартир с отапливаемой площадью 100 – 150 м<sup>2</sup> и, таким образом, на отопление при температуре окружающей среды  $-20^{\circ}\text{C}$  используется около половины мощности котла, а полная мощность используется для системы горячего водоснабжения. Таким образом, с учетом более высоких средних температур окружающей среды за отопительный период (примерно  $-5^{\circ}\text{C}$ ), запас мощности систем отопления составляет 100 % и выше, а, следовательно, и возможность широкого применения такого способа для домов, офисов и квартир с индивидуальной системой отопления, где на сегодня реально присутствует мотивация к экономии энергии на отопление. В таких случаях в соответствии с [1] данный способ экономии энергии является на самом деле малозатратным по сравнению со способом утепления ограждающих конструкций помещений.

Для квартир в многоэтажных зданиях такой способ также потенциально применим, особенно при наличии индивидуальных тепловых пунктов, осуществляющих регулирование

температуры в помещениях. На сегодня это зависит от таких факторов: наличие необходимого минимального запаса мощности, подводимой к дому от котельни, технической возможностью использования данного запаса мощности, желанием жильцов квартир использовать указанный способ экономии энергии.

### **Выводы**

1. Введено понятие запаса мощности системы отопления, которое имеет универсальный характер и применимо для любого помещения, зависит не только от уровня мощности отопительного оборудования, но и от температуры окружающей среды. При неизменной мощности отопительного оборудования его запас увеличивается с ростом температуры окружающей среды.

2. На примере анализа и суточного регулирования теплового режима офисного помещения показано, что экономия энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении в периоды отсутствия людей экспоненциально зависит от запаса мощности системы отопления и для температуры  $-20^{\circ}\text{C}$  составляет 13,3 %.

3. Получены границы применимости рассмотренного способа снижения энергии в зависимости от запаса мощности отопительного прибора. Для рассматриваемого помещения применение указанного способа экономии энергии целесообразно при запасе мощности отопительного прибора выше 25 %.

4. Показана возможность широкого применения такого способа для домов, офисов и квартир с индивидуальной системой отопления, где, как правило, запас мощности систем отопления составляет 100 % и выше.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ю. А. Табуницыков Малозатратные оперативные мероприятия по экономии энергии // ЭКСО. – 2007. – №8. – [http://esco-ecosys.narod.ru/2007\\_8/art108.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2007_8/art108.htm)
2. Р. Б. Жуйков Строительство и эксплуатация «эффективного здания» // Информационный бюллетень Инфстрой. – 2004. – №5. – С. 2–11.
3. Гершкович В. Ф. О возможности практической реализации регулирования теплопотребления зданий методом периодического прерывания потока

## 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 макроекономические 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;

$\Delta B$  – снижение расхода топлива при осуществлении утилизации теплоты;

$\Delta I_{\text{yx}}$  – снижение энтальпии уходящих продуктов сгорания при утилизации теплоты;

$\Delta i$  – разность энтальпий пара и питательной воды;