

УДК 662.614+621.183

Гелетуха Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Є.М., Радченко С.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ
З ПЕРІОДИЧНИМ СПАЛЮВАННЯМ ЦІЛИХ ТЮКІВ СОЛОМИ

Розглянуто особливості теплотехнічних випробувань водогрійних котлів ємкісного типу з періодичним спалюванням цілих тюків соломи з визначенням поточних та усереднених значень теплових втрат котла та його коефіцієнта корисної дії. Поточні значення складових теплових втрат дозволяють оцінити досконалість режиму горіння соломи та теплотехнічну ефективність конструкції котла.

Рассмотрены особенности теплотехнических испытаний водогрейных котлов емкостного типа с периодическим сжиганием целых тюков соломы с определением текущих и усредненных значений тепловых потерь и коэффициента полезного действия. Текущие значения составляющих тепловых потерь позволяют оценить совершенство режимов горения соломы и теплотехническую эффективность конструкции котла.

Features of thermal tests of capacitive hot water boilers with batch firing of whole straw bales are considered for estimation of current and average values of thermal losses and boiler efficiency. Current values of thermal losses components allow estimate perfection of straw burning process and thermal efficiency of boiler design.

A – вміст золи в паливі;
 B – витрата палива;
 c – питома масова теплоємність;
 C – вміст по масі;
 F – площа;
 G – витрата масова;
 I_a^o – ентальпія повітря;
 $I_{fg,i}$ – ентальпія продуктів згорання;
 k – коефіцієнт теплопередачі;
 m – маса;
 Q – тепла потужність;
 Q_L^W – нижча теплота згорання;
 q – коефіцієнт теплових втрат;
 r – об'ємна частка;
 t – температура;
 W – вміст вологи в паливі;
 α – коефіцієнт надлишку повітря;
 η – коефіцієнт корисної дії;
 τ – час;
 v_{fg}^d – об'єм сухих продуктів згорання.

Індекси верхні:

— – середнє значення;

\sim – кількість;
 W – робоча.

Індекси нижні:

1...6 – складові теплового балансу котла;
 A – фактична величина;
 ash – шлакозольного залишку;
 d – по прямому балансу;
 e – зовнішнього повітря;
 f – паливо;
 fg – димові гази;
 i – поточні значення;
 in – на вході;
 ind – по зворотному балансу;
 int – інтервал;
 out – на виході;
 per – період;
 R – аналітичної проби;
 s – сталеві конструкції котла;
 un – паливо, що не згоріло;
 W – вода, що пройшла через котел;
 WS – вода, що знаходиться в котлі.

Використання соломи при виробництві теплової енергії для потреб опалення набуває поширення в Україні. Станом на початок 2010 року в Україні експлуатувалося 27 котлів зі спалюванням цілих тюків соломи одинич-

ною потужністю від 70 до 980 кВт, а їх сумарна потужність становила більше 12 МВт. В Україні виробляються котли потужністю від 100 до 860 кВт, крім того імпортуються котли меншої потужності – до 100 кВт.

Характерною особливістю котлів для спалювання цілих тюків соломи є нестаціонарність процесу горіння палива та теплового режиму котла і приєднаної системи теплопостачання. Котел періодично зупиняють для видалення золи та завантаження тюків соломи. Після завантаження тюків в топку котла та розпалювання соломи, протягом 20...30 хвилин відбувається поступове зростання потужності котла від нуля до 120...140 % номінальної потужності, а в подальшому потужність котла зменшується до номінальної і при догоранні коксозольного залишку потужність знижується до 30...20 % від номінальної. Як правило, котли для спалювання цілих тюків соломи мають водяну сорочку ємкісного типу зі значним об'ємом води, що забезпечує акумулювання теплової енергії, що виділяється при згоранні соломи, та певне згладжування коливань параметрів теплоносія в котлі та приєднаній тепловій мережі.

Створення та забезпечення належної експлуатації водогрійних котлів з періодичним спалюванням цілих тюків соломи потребує проведення їх теплотехнічних випробувань – приймальних та режимно-налагоджувальних. Існуючі методики теплотехнічних випробувань котлів [1, 2, 3] зорієнтовані переважно на випробування котельних установок у режимах зі стабільним горінням палива. В чинних нормативних документах наголошується, що теплотехнічні та екологічні показники котлів повинні визначатися в умовах сталого безперервного горіння, але не в пусковий та зупиночний періоди. У зв'язку з цим існуючі методики теплотехнічних випробувань котлів не придатні для випробування котлів з періодичним спалюванням тюків, робота яких являє собою послідовність пускових, перехідних та зупиночних процесів.

Відома методика теплотехнічних випробувань котлів потужністю до 85 кВт в частині, що стосується спалювання твердого палива [4], використана в якості основи для розробки викладеної нижче методики теплотехнічних випробувань котлів з періодичним спалюван-

ням цілих тюків соломи. Нижче викладається методика теплотехнічних випробувань адаптована до котлів ємкісного типу з періодичним спалюванням цілих тюків соломи. Методика базується на методах вимірювань та аналізів, що доступні в польових умовах при налагодженні та випробуваннях котлів потужністю до 1 МВт. В теплотехніці використовуються два підходи до визначення коефіцієнта корисної дії котлів: по прямому та зворотному тепловому балансу.

Визначення ККД котла періодичної дії по прямому тепловому балансу

При теплотехнічних випробуваннях котла періодичної дії значення вимірюваних величин змінюються протягом періоду випробувань. Періодом випробування вважаємо період від розпалювання завантаженої у топку наважки палива до завершення його згорання τ_{per} . Період спалювання тюків можна вважати завершеним при зростанні концентрації кисню в продуктах згорання вище 15 % об., як правило при цьому потужність котла зменшується до 20 % від встановленої, а візуально оглядаючи топку можна відмітити відсутність яскравого полум'я від згорання летючих речовин при наявності окремих язиків синього полум'я над тліючим коксозольним залишком.

Оскільки процеси в котлі періодичної дії є нестаціонарними, то період випробувань τ_{per} розділимо на ряд інтервалів часу τ_{int} , бажано рівних, під час яких процес горіння можна розглядати як квазістаціонарний. Для кожного інтервалу фіксують притаманні йому експериментальні дані, які використовують для розрахунків поточних показників для всіх інтервалів часу та усереднених показників для усього періоду випробувань.

Прямий метод визначення коефіцієнту корисної дії котла базується на визначенні відношення корисної теплової потужності, одержаної в котлі, до теплової потужності, яку можна було б одержати при повному згоранні спожитого палива.

Корисну теплову потужність котла $Q_{1,i}$ за кожен інтервал часу визначають як суму тепло-

вих потужностей, що використані на нагрівання води, яка пройшла через котел $Q_{W,i}$ нагрівання води, що знаходиться у котлі $Q_{WS,i}$, нагрівання конструкцій котла, які контактують з водою $Q_{S,i}$:

$$Q_{1,i} = Q_{W,i} + Q_{WS,i} + Q_{S,i}. \quad (1)$$

В наведеному рівнянні не враховано акумулювання енергії залишком золи та палива у топці котла, що вносить певні неточності в визначення поточної потужності. Зважаючи на незначну зольність соломи (до 5 % мас.) при повному її вигоранні таке спрощення не буде мати істотного впливу на показники роботи котла усереднені за весь період спалювання.

Теплову потужність $Q_{W,i}$, що була сприйнята водою, яка пройшла через котел, можна визначити за відомим виразом (практично це здійснюють за допомогою лічильника теплової енергії):

$$Q_{W,i} = G_W c_W (\overline{t_{out,i}} - \overline{t_{in,i}}), \quad (2)$$

де:

G_W – витрата води через котел;

c_W – питома масова теплоємність води;

$\overline{t_{out,i}} = \frac{t_{out,i} + t_{out,i+1}}{2}$ – середня за інтервал часу

температура води на виході з котла;

$\overline{t_{in,i}} = \frac{t_{in,i} + t_{in,i+1}}{2}$ – середня за інтервал часу

температура води на вході у котел;

$t_{in,i}, t_{in,i+1}$ – температура води на вході до водогрійного котла спочатку та наприкінці інтервалу часу, °C;

$t_{out,i}, t_{out,i+1}$ – температура води на виході з водогрійного котла спочатку та наприкінці інтервалу часу, °C.

Теплову потужність $Q_{WS,i}$, що була сприйнята водою, яка знаходиться в об'ємі котла, можна визначити за виразом:

$$Q_{WS,i} = \frac{m_W c_W}{\tau_{int,i}} (t_{out,i+1} - t_{out,i}), \quad (3)$$

де:

m_W – маса води в теплогенераторі;

$\tau_{int,i}$ – тривалість поточного інтервалу часу.

Теплова потужність, необхідна для підвищення температури котла, що контактує з котловою водою, $Q_{S,i}$ визначається за формулою:

$$Q_{S,i} = \frac{m_s c_s}{\tau_{int,i}} (t_{out,i+1} - t_{out,i}), \quad (4)$$

де:

m_s – маса сталевих конструкцій котла, що контактують з водою;

c_s – питома теплоємність сталі поверхонь нагріву котла.

Для кожного інтервалу часу $\tau_{int,i}$ буде визначено значення поточної теплової потужності котла $Q_{1,i}$. Середня теплова потужність котла за період спалювання однієї наважки палива буде становити:

$$\overline{Q_1} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{1,i} \tau_{int,i}}{\tau_{per}}. \quad (5)$$

Витрату палива за період випробувань можна розрахувати за формулою:

$$B = \frac{m_f - m_{un}}{\tau_{per}}, \quad (6)$$

де:

m_f – маса палива, завантаженого в топку котла;

m_{un} – маса незгорілої соломи, що залишилась у топці після періоду випробувань;

τ_{per} – тривалість періоду випробувань.

Коефіцієнт корисної дії водогрійного котла при спалюванні цілих тюків соломи по прямому балансу визначається за формулою:

$$\eta_d = \frac{\overline{Q_1}}{B \cdot Q_L^W}, \quad (7)$$

де:

Q_L^W – нижча теплота згорання соломи при її фактичній зольності та вологості.

Для визначення коефіцієнта корисної дії котла по прямому балансу за період випробувань τ_{per} , необхідно здійснювати вимірювання величин, що використовуються, на початку кожного інтервалу часу τ_{int} .

Найбільшу складність являє визначення маси соломи m_{un} , що не згоріла. Для уникнення цієї проблеми випробування котла доцільно проводити з використанням доброякісної (не враженою грибками та гниллю) сухої соломи (вміст вологи не більше 16...18 % мас.), що сприяє її повному вигоранню.

При проведенні теплотехнічних випробувань проблематичним є експериментальне визначення нижчої теплоти згорання кожної завантаженої наважки палива (соломи) Q_L^W . Для партії соломи однорідної за видовим складом (пшенична, ячмінна, житня), бажано доставленої з одного поля, з різних частин кількох тюків відбирають збірну пробу і усереднюють у поліетиленовому мішку. Зі збірної проби відбирають аналітичні проби для лабораторного визначення теплоти згорання, вмісту вологи та золи, які в подальшому будуть використовуватись в якості базових довідкових даних для даної партії соломи – $Q_{L,R}^W, W_R, A_R$. Якщо вважати, що теплота згорання горючої речовини соломи є сталою величиною, то знаючи фактичний вміст вологи W_A та золи A_A , визначення яких навіть в польових умовах є нескладним завданням, можна розрахувати фактичну теплоту згорання Q_L^W для кожної наважки соломи, що буде завантажуватися у топку котла, по відомій залежності [5].

Перевага прямого методу полягає у відносній простоті визначення коефіцієнту корисної дії. Однак прямий метод не дозволяє виявити фактори, що мають найбільший вплив на значення досягнутої ефективності котла.

Визначення ККД котла періодичної дії по зворотному тепловому балансу

При визначенні ККД за зворотним тепловим балансом необхідно визначити всі складові теплових втрат котла. Для кожного інтервалу часу протягом періоду випробування коефіцієнт втрат тепла з фізичним теплом димових газів може бути знайдено по формулі:

$$q_{2,i} = \frac{I_{fg,i} - \alpha_{fg,i} I_a^o}{Q_L^W} \cdot (1 - q_4), \quad (8)$$

де:

$I_{fg,i}$ – ентальпія продуктів згорання 1 кг соломи при вимірній температурі газів та надлишку повітря на виході з котла;

I_a^o – ентальпія теоретично необхідної кількості повітря для спалювання 1 кг соломи;

$\alpha_{fg,i}$ – коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає складу продуктів згорання після котла;

q_4 – коефіцієнт втрат тепла через механічну неповноту згорання.

Коефіцієнт втрат тепла через хімічну неповноту згорання твердого палива визначається, головним чином, наявністю в продуктах згорання водню, метану та монооксиду вуглецю, і для кожного інтервалу часу визначається на основі результатів газового аналізу продуктів згорання за формулою:

$$q_{3,i} = \left(r_{H_2,i} \cdot Q_{L,H_2} + r_{CO,i} \cdot Q_{L,CO} + r_{CH_4,i} \cdot Q_{L,CH_4} \right) \frac{v_{fg,i}^d}{Q_L^W} \cdot (1 - q_4), \quad (9)$$

де:

$r_{H_2,i}, r_{CO,i}, r_{CH_4,i}$ – об'ємна частка водню, оксиду вуглецю та метану в сухих продуктах згорання;
 $Q_{L,H_2}, Q_{L,CO}, Q_{L,CH_4}$ – нижча теплота згорання водню, оксиду вуглецю, метану;

$v_{fg,i}^d$ – розрахунковий об'єм сухих продуктів згорання на 1 кг робочої маси палива при поточному значенні коефіцієнта надлишку повітря за котлом. Значення $\alpha_{fg,i}$ визначаються за результатами аналізу продуктів згорання, а значення $v_{fg,i}^d$ можна розрахувати відповідно до методики викладеної у [5].

Коефіцієнт втрати тепла через механічну неповноту згорання неможливо виокремити для кожного інтервалу. При використанні сухої соломи та належній організації процесу після завершення горіння в топці залишається шлакозольний залишок. Шлакозольний залишок можна розглядати як паливо, що повністю не згоріло і може містити незначну кількість летючих, а вміст вуглецю може становити до 10% мас. З певною похибкою можна сказати, що саме вміст вуглецю визначає величину втрати енергії. Вміст вуглецю в шлакозольному за-

лишку $C_{C,ash}$ можна виміряти за стандартною методикою [6]. В польових умовах при випробуваннях та налагодженні малопотужних котлів доцільно скористатися спрощеним методом, що ґрунтується на попередньому прожарюванні наважки коксозольного залишку без доступу повітря та наступним озоненням в атмосфері повітря при температурі 700...800 °С. Зменшення маси наважки можна з певною похибкою приймати за масу вуглецю. Коефіцієнт втрати енергії через механічну неповноту згорання для всього періоду випробувань можна розрахувати за спрощеною формулою:

$$q_4 = \frac{C_{C,ash} m_{ash} \cdot Q_C}{B \cdot Q_L^w \tau_{per}}, \quad (10)$$

де:

$C_{C,ash}$ – вміст вуглецю в шлакозольному залишку, визначається за методикою [6];

m_{ash} – загальна маса шлакозольного залишку в топці після згорання соломи;

Q_C – теплота згорання вуглецю.

Зазвичай втрати тепла в оточуюче середовище визначаються розрахунково, як сума втрат конвекцією від зовнішніх поверхонь водогрійного котла [4]. Такий підхід прийнятний для котлів безперервної дії встановлених у приміщеннях, коли величина цих втрат відносно стабільна і є незначною. Котли для спалювання цілих тюків соломи характеризуються тим, що їх встановлюють переважно на відкритому повітрі. В цьому разі втрати в оточуюче середовище визначаються не лише конвективною тепловіддачею, а й променевим теплообміном з оточуючими предметами та небосхилом. Під дією вітру через нещільності ізоляції та обшивки відбувається вентиляція атмосферним повітрям простору під обшивкою та теплоізоляцією. Ці обставини призводять до зростання теплових втрат котла, а через нестабільність умов їх пряме експериментальне визначення стає практично неможливим. У зв'язку з цим втрати тепла в оточуюче середовище можна визначити опосередкованим розрахунково-експериментальним методом.

В усталеному режимі потік теплових втрат від котлової води крізь зовнішні поверхні котла в оточуюче середовище можна визначити за рівнянням теплопередачі:

$$Q_{s,i} = \sum_1^n k_i F_i (t_w - t_e), \quad (11)$$

де:

k_i – коефіцієнт теплопередачі від котлової води до зовнішнього повітря через i -тий елемент котла;

F_i – площа i -того елемента котла;

t_w – поточна температура води в котлі;

t_e – температура зовнішнього повітря.

Однак для застосування цієї залежності необхідно експериментально визначити величину комплексу $\sum_1^n k_i F_i$. Для вирішення поставленого завдання розглянемо нестационарний процес охолодження котла без спалювання палива та відключеному тепловому навантаженні. За деякий період часу $d\tau$ водогрійний котел втрачає певну кількість теплової енергії:

$$d\tilde{Q}_5 = \sum_1^n k_i F_i (t_w - t_e) d\tau. \quad (12)$$

З іншого боку, втрата такої кількості теплової енергії обумовлює зниження температури конструкцій водогрійного котла та води, що міститься в ньому, на величину dt_w :

$$d\tilde{Q}_5 = (m_s c_s + m_w c_w) dt_w, \quad (13)$$

де:

m_s, c_s – маса та питома теплоємність сталевих елементів котла, що контактують з водою;

m_w, c_w – маса та питома теплоємність води, що заповнює котел.

Порівнюючи вирази (12) та (13) можна визначити необхідний комплекс:

$$\sum_1^n k_i F_i = \frac{(m_s c_s + m_w c_w) dt_w}{(t_w - t_e) d\tau}. \quad (14)$$

У рівнянні (14) змінною величиною є температура води у котлі t_w . Якщо зміни t_w є невеликими, то рівняння (14) може бути записано по методу кінцевих різниць:

$$\sum_1^n k_i F_i = \frac{(m_s c_s + m_w c_w)(t_{w1} - t_{w2})}{\left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_e\right) \tau}, \quad (15)$$

де:

t_{w1}, t_{w2} – початкова та кінцева температури води при охолодженні котла. Необхідно щоб температура води були у діапазоні робочих температур котла 50...90 °С;

τ – проміжок часу між вимірами початкової та кінцевої температури води;

t_e – середня температура оточуючого атмосферного повітря при охолодженні котла.

Значення комплексу $\sum k_i F_i$, що було знайдене експериментально, може використовуватись для розрахунку втрат в оточуюче середовище $Q_{5,i}$ за рівнянням (11) та $q_{5,i}$ методом послідовних наближень за рівнянням:

$$q_{5,i} = \frac{Q_{5,i}}{Q_{1,i}} \cdot \eta_{ind,i} \cdot \quad (16)$$

Втрата тепла зі шлаком визначається для всього періоду випробувань за відомою залежністю:

$$q_6 = \frac{c_{ash} m_{ash} t_{ash}}{B Q_L^w \tau_{per}} \quad (17)$$

де: $c_{ash}, m_{ash}, t_{ash}$ – питома теплоємність, маса шлаку та його температура в момент завершення випробування.

Таким чином, в результаті випробувань можна отримати значення коефіцієнтів теплових втрат $q_{2,i}, q_{3,i}, q_{5,i}$ для кожного інтервалу протягом періоду випробувань, а значення q_4, q_6 як середнє для всього періоду випробувань. Значення коефіцієнта корисної дії котла по зворотному тепловому балансу для кожного інтервалу часу методом послідовних наближень можна визначити за формулою:

$$\eta_{ind,i} = 1 - (q_{2,i} + q_{3,i} + q_4 + q_{5,i} + q_6) \quad (18)$$

Для визначення середнього за період випробувань коефіцієнта корисної дії котла по зворотному тепловому балансу η_{ind} необхідно врахувати його значення за всі інтервали часу при відповідних поточних потужностях котла:

$$\eta_{ind} = 1 - \frac{\sum_1^n Q_{1,i} \tau_{int,i} \left(\frac{1}{\eta_{ind,i}} - 1 \right)}{\sum_1^n \frac{Q_{1,i}}{\eta_{ind,i}} \cdot \tau_{int,i}} \quad (19)$$

Для всього періоду випробувань котла можна розрахувати середнє значення коефіцієнта

втрат тепла з фізичним теплом димових газів

$$q_2 : \quad \frac{q_2}{q_2} = \frac{\sum_1^n \frac{Q_{1,i}}{\eta_{ind,i}} \cdot q_{2,i} \cdot \tau_{int,i}}{\sum_1^n \frac{Q_{1,i}}{\eta_{ind,i}} \cdot \tau_{int,i}} \quad (20)$$

Аналогічним чином можна розрахувати середні, за період випробувань, коефіцієнти втрат енергії через хімічну неповноту згорання q_3 та втрати в оточуюче середовище q_5 .

Опираючись на результати випробувань, приймають середню теплову потужність, витрату палива та коефіцієнт корисної дії котла за прямим балансом. Визначення коефіцієнту корисної дії за зворотним балансом служить для контролю вимірювань та виконаних розрахунків. Допустима величина розбіжності значень коефіцієнта корисної дії котла за прямим та зворотним балансом приймається за вказівками нормативних документів.

Визначені за зворотним тепловим балансом середні та поточні значення складових теплових втрат котла $q_3, q_{3,i}, q_4, q_6$ дозволяють оцінити досконалість організації горіння палива на всіх етапах згорання тюка від розпалювання до завершення горіння, а значення втрат $q_2, q_{2,i}, q_5, q_{5,i}$ дозволяють оцінити теплотехнічну досконалість конструкції котла і її відповідність реалізованим режимам роботи. Досить складна методика визначення коефіцієнта корисної дії котла за зворотним тепловим балансом дає орієнтири щодо можливих напрямів вдосконалення конструкції та режимів роботи котла впродовж циклу спалювання тюка соломи.

Висновки

1. Методика теплотехнічних випробувань адаптована до випробувань котлів з періодичним спалюванням цілих тюків соломи.

2. Запропоновано підходи щодо визначення поточних та усереднених значень теплових втрат котла при реалізації нестационарного періодичного спалювання тюків соломи.

3. Усереднені значення коефіцієнта ко-

рисної дії та коефіцієнтів теплових втрат можуть слугувати для встановлення паспортних характеристик котла.

4. Поточні значення коефіцієнта корисної дії та коефіцієнтів теплових втрат можуть використовуватись для удосконалення конструкції та режимів роботи котла.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Трембовля В.И., Фигнер Е.Д., Авдеева А.А.* Теплотехнические испытания котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

2. *Янкелевич В.И.* Настройка газомазутных промышленных котельных. – М.: Энергоатомиздат, 1998 – 216 с., ил.

3. *Межгосударственный стандарт ГОСТ 30735–2001* Котлы отопительные водогрейные

теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 16 с.

4. *Отраслевой стандарт ОСТ 21–39–82* Котлы отопительные водогрейные мощностью до 85 кВт. Методы государственных испытаний. Определение теплотехнических показателей. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1982. – 43 с.

5. *Тепловой расчет* котельных агрегатов (Нормативный метод) под ред. Н.В.Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

6. *Межгосударственный стандарт ГОСТ 2408.1–95 (ИСО 625–75)* Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 27 с.

Получено 10.06.2010 г.

УДК 536.24:697.1

Круковский П.Г., Пархоменко И.В.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ СПОСОБА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОМЕЩЕНИЙ

Проведено аналіз проблем використання способу економії енергії за рахунок зниження температури повітря в приміщенні в період відсутності людей. Намічено шляхи вирішення проблем на основі моделей і пристроїв регулювання теплового режиму приміщень з метою максимальної економії енергії.

Проведен аналіз проблем використання способу економії енергії за счет снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия людей. Намечены пути решения проблем на основе моделей и устройств регулирования теплового режима помещений с целью максимальной экономии энергии.

The analysis of problems of method of economy of energy using due to the decline of temperature of air in an apartment in the period of the people absence is provided. The ways of the problems solution are set on the base of models and devices for the apartments thermal state control with the purpose of maximal energy saving.

t – температура;

τ – момент времени.

Индексы верхние:

* – переход от экономного режима к комфортному.

Индексы нижние:

к – комфортный;

ос – окружающая среда;

со – система отопления;

э – экономный.

Существующие способы экономии энергии, идущей на отопление, в основном направлены на снижение теплопотерь через ограж-

дающие конструкции за счет увеличения их термического сопротивления. Такие способы в большинстве случаев требуют значитель-