

ДК 620.9(476)

Е.Е. НИКИТИН, канд. техн. наук, С.И. КУРКИН (Международный центр энергоэффективных технологий, Киев)

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Изложена методика и описано программное обеспечение для оценки прогнозируемой экономии тепловой энергии в зданиях, оснащенных теплосчетчиками, за счет установки систем автоматического регулирования теплопотребления.

Одним из основных энергосберегающих мероприятий, позволяющих достичь экономии тепловой энергии для нужд отопления в зданиях, которые подключены к тепловым сетям, является установка систем автоматического регулирования теплопотребления зданий (САРТЗ) в зависимости от температуры наружного воздуха и требуемой температуры внутри здания. Наибольшей экономии можно достичь в административных и общественных зданиях, для которых в нерабочие часы и дни температура внутри помещений может быть существенно снижена.

Вместе с тем, реализация данного энергосберегающего мероприятия требует немалых денежных затрат (в среднем 3-4 тыс. долларов США). Поэтому на стадии принятия решения владелец здания, который платит за энергоносители, должен располагать информацией о прогнозируемом уровне экономии тепловой энергии за счет реализации рассматриваемого энергосберегающего мероприятия и сроке окупаемости капитальных затрат.

Ниже изложена методика расчета ожидаемой тепловой экономии тепловой энергии в результате установки САРТЗ. Предполагается, что в рассматриваемом здании до реализации данного энергосберегающего мероприятия был установлен теплосчетчик и имеется информация о фактическом потреблении тепловой энергии и температуре воздуха внутри помещения в течение отопительного периода.

Рассматриваются две составляющие экономии тепловой энергии:

- за счет программного снижения температуры воздуха внутри помещения в нерабочие часы и дни;
- за счет погодного регулирования величины теплопотребления здания.

При разработке методики приняты следующие основные положения и допущения:

- в качестве исходных данных для расчета используются фактические месячные данные для базового отопительного периода (как правило, пос-

леднего прошедшего отопительного периода) и среднестатистические месячные данные (табл. 1);

Таблица 1. Исходные данные для расчета

№ п/п	Месяц	Q_i	t_i	$t_{вп,i}$	$t_{i,0}$	n_i	$n_{вп}$	z_i
1	Январь							
•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•
12	Декабрь							

– величина прогнозируемой экономии тепловой энергии определяется для среднестатистического отопительного периода и расчетной температуры воздуха внутри помещения;

– рассматривается квазистационарный температурный режим здания, который представляет собой совокупность установившихся режимов, соответствующих определенной температуре воздуха внутри и снаружи помещения.

– использованы неметодические подходы, расчетные зависимости и климатические данные, приведенные в работе [1].

Оценка экономии тепловой энергии за счет использования дежурного отопления

Располагая данными о фактическом потреблении тепловой энергии за месяц, определим фактическое среднемесячное часовое теплопотребление:

$$Q_{0i} = \frac{Q_i}{24n_i}, \quad (1)$$

где Q_{0i} – фактическое среднемесячное часовое потребление тепловой энергии на отопление в i -ом месяце, Гкал/ч; Q_i – фактическое потребление тепловой энергии по теплосчетчику в i -ом месяце, Гкал; n_i – фактическое число дней в i -ом месяце.

Такое часовое теплопотребление было при температуре наружного воздуха t_i и температуре внутри помещения $t_{вп,i}$.

При дежурной температуре внутри помещения $t_z < t_{вп,i}$ часовое теплопотребление будет меньше и составит величину:

$$Q_{zi} = \frac{Q_{0i}(t_z - t_i)}{t_{en,i} - t_i} = \frac{Q_i(t_z - t_i)}{24n_i(t_{en,i} - t_i)}, \quad (2)$$

где Q_{zi} – часовое потребление тепловой энергии на отопление при дежурной температуре воздуха t_z , Гкал/ч; t_z – дежурная температура воздуха в помещении, °С; t_i – средняя фактическая температура наружного воздуха в i -ом месяце, °С; $t_{en,i}$ – средняя фактическая температура воздуха в помещении в i -ом месяце, °С.

Располагая часовыми тепловыми нагрузками (1) и (2), а также данными о количестве нерабочих дней (n_{ai}), в течение которых имеет место дежурный режим отопления, и количестве отопительных дней ($n_i - n_{ai}$), когда на протяжении времени z_i имеет место дежурный режим с температурой t_z , а на протяжении времени $(24 - z_i)$ – комфортный режим с температурой $t_{вн,i}$, не сложно получить выражение для расчета количества потребленной за месяц тепловой энергии при использовании дежурного режима отопления:

$$Q_{0zi} = 24n_{ai}Q_{zi} + z(n_i - n_{ai})Q_{zi} + (24 - z)(n_i - n_{ai})Q_{0i}, \quad (3)$$

где Q_{0zi} – расчетное потребление тепловой энергии на отопление в i -ом месяце при использовании дежурного отопления, Гкал; n_{ai} – число нерабочих дней в i -ом месяце, и количества сэкономленной за месяц энергии:

$$\Delta Q_{0zi} = Q_i - Q_{0zi}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) выражение (3), а также (1) и (2) получим:

$$\Delta Q_{0zi} = Q_i - 24n_{ai} \frac{Q_i(t_z - t_i)}{24n_i(t_{en,i} - t_i)} - z(n_i - n_{ai}) \frac{Q_i(t_z - t_i)}{24n_i(t_{en,i} - t_i)} - (24 - z)(n_i - n_{ai}) \frac{Q_i}{24n_i} = Q_i(1 - \gamma_i)(\beta_i + \alpha_i - \alpha_i \beta_i), \quad (5)$$

где $\gamma_i = \frac{t_z - t_i}{t_{en,i} - t_i}$ (6) $\beta_i = \frac{n_{Bi}}{n_i}$ (7) $\alpha_i = \frac{z_i}{24}$ (8)

Коэффициент γ_i характеризует уменьшение разности между температурой воздуха внутри помещения и температурой окружающей среды при дежурном и фактическом температурном режиме в помещении. Безразмерные коэффициенты α_i и β_i характеризуют относительное количество нерабочих дней и часов, на протяжении которых может быть использован дежурный режим отопления.

Суммируя величины (5) по месяцам, для которых $n_i \neq 0$, получим экономию за отопительный период:

$$\Delta Q_{oz} = \sum_{i=1}^{12} Q_i \cdot (1 - \gamma_i) \cdot (\beta_i + \alpha_i - \alpha_i \beta_i). \quad (9)$$

Величина (9) характеризует экономию для конкретного отопительного периода со среднемесячными температурами t_i , $t_{en,i}$ и месячным потреблением Q_i .

Прогнозирование экономии целесообразно осуществлять для отопительного периода со среднестатистическими продолжительностью, среднемесячными температурами наружного воздуха и расчетной температурой воздуха в помещении.

Для получения соответствующей расчетной зависимости вместо Q_i используем величину $Q_{i,np}$ – количество потребленной за месяц тепловой энергии при температуре в помещении $t_{вн}$ и среднестатистической температуре наружного воздуха $t_{i,0}$ для i -го месяца.

Величину $Q_{i,np}$ найдем из отношения:

$$\frac{Q_{i,np}}{Q_i} = \frac{t_{en} - t_{i,0}}{t_{en,i} - t_i}, \quad (10)$$

где t_{en} – расчетная температура воздуха в помещении, °С; $t_{i,0}$ – среднестатистическая температура наружного воздуха в i -ом месяце, °С.

Далее получение искомой расчетной зависимости проводится аналогично формулам (1-5), но вместо Q_i подставим $Q_{i,np}$, а вместо температур t_i и $t_{en,i}$ – температуры $t_{i,0}$ и t_{en} . Кроме того, введем дополнительный уточняющий коэффициент на продолжительность отопительного периода:

$$p = \frac{n_0}{\sum_{i=1}^{12} n_i}, \quad (11)$$

где n_0 – нормативная продолжительность отопительного периода, дней.

Тогда выражение (9) примет вид:

$$\Delta Q_{oz,np} = p \cdot \sum_{i=1}^{12} x_i \cdot Q_i \cdot (1 - \gamma_{inp}) \cdot (\beta_i + \alpha_i - \alpha_i \beta_i) \quad (12)$$

где $x_i = \frac{t_{en} - t_{i,0}}{t_{en,i} - t_i}$ (13) $\gamma_{inp} = \frac{t_z - t_{i,0}}{t_{en} - t_{i,0}}$ (14)

Определение экономии тепловой энергии за счет использования погодного регулирования

Располагая данными о ежемесячном фактическом потреблении тепловой энергии зданием, средними фактическими температурами наружного воздуха и воздуха в помещении в i -м месяце можно определить фактическую удельную характеристику отопления:

$$q_{oi} = \frac{Q_i \cdot 10^{-6}}{24 \cdot n_i \cdot (t_{вн,i} - t_i) \cdot V_3} \quad (15)$$

де q_{oi} – фактична удельна характеристика опалення, розрахована по середньмісячним показателями, ккал/(куб. м.ч°С); V_3 – строительный об'єм здания, куб. м.

В ідеальному випадку регулювання тепловитрати будівлі

$$t_{вн,i} = \text{const} \text{ и } q_{oi} = \text{const.}$$

В реальності, коливання величини q_{oi} від місяця до місяця можна пояснити експлуатаційними факторами, які впливають на ефективність використання теплової енергії (відкриття вікон, форточок і дверей, цілісності віконних стекол і т.д.). Тому для розрахунків максимально досяжної економії в якості цільової розрахункової величини вибираємо мінімальну, фактично досягнуту величину

$$q_0 = q_{i \text{ min}} \quad (16)$$

з множини $\{q_{01}, q_{02}, \dots, q_{0i}, q_{12}\}$ приймаючи увагу тільки ті місяці для яких $n_i \neq 0$.

Використовуючи цільову опалювальну характеристику (16) можна оцінити місячне споживання теплоти необхідне для забезпечення розрахункової внутрішньої температури при середньстатистичній температурі зовнішнього повітря:

$$Q_{oei} = V_3 q_{\text{min}} (t_{вн} - t_{i,0}) n_i \cdot 24 \quad (17)$$

Використовуючи дані про фактичне споживання теплоти за i -й місяць можна оцінити місячну економію теплової енергії:

$$\Delta Q_{oei} = Q_{i, \text{ факт}} - Q_{oei} = Q_i \frac{t_{вн} - t_{i,0}}{t_{вн,i} - t_i} - V_3 q_{\text{min}} (t_{вн} - t_{i,0}) n_i \cdot 24 \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

Суммуємо вираження (18) для всіх місяців опалювального періоду і вводимо поправочний коефіцієнт (11), отримуємо вираження для річної економії за рахунок погодного регулювання:

$$\Delta Q_{oe} = p \left[\sum_{i=1}^{12} Q_i x_i - V_3 q_{\text{min}} \sum_{i=1}^{12} (t_{вн} - t_{i,0}) n_i \cdot 24 \cdot 10^{-6} \right] \quad (19)$$

Сумарна економія за рахунок програмного і погодного регулювання рівняється:

$$\Delta Q_0 = \Delta Q_{oe} + \Delta Q_{oz, \text{ пр}} \quad (20)$$

Економія коштів за опалювальний сезон:

$$\Delta C = \Delta Q_0 C_T - C_3 \quad (21)$$

Простий строк окупаемости капітальних витрат:

$$\tau = \frac{K}{\Delta C} \quad (22)$$

де τ – простий строк окупаемости капітальних витрат, років; K – капітальні витрати на впровадження САПТЗ, грн.; ΔC – економія грошових коштів за рахунок впровадження САПТЗ за опалювальний період, грн.

Для виконання розрахунків по наведеним вище формулам необхідно мати достатню кількість вихідних даних, включаючи справочні кліматологічні дані для конкретних міст і населених пунктів України. Слід також зазначити, що розрахунки по наведеним формулам достатньо трудомісткі. Тому з метою спрощення розрахунків по наведеній вище методиці розроблено комп'ютерна база кліматологічних даних [1], а також програма розрахунку на ПЕВМ.

Програмне забезпечення розроблено для операційної системи Microsoft Windows98 з використанням компонента Microsoft Office 2000 – Excel і мови програмування VBA (Visual Basic for Applications). Інформація, необхідна для розрахунків (кліматологічні дані, дані з відповідних СНиП і т.д.), розміщена в захищених від зміни сторінках Excel.

Програма дозволяє вводити необхідні вихідні дані в зручній для користувача формі, причому для введення кліматологічних даних достатньо вибрати потрібну область України і конкретний населений пункт (рис. 1)

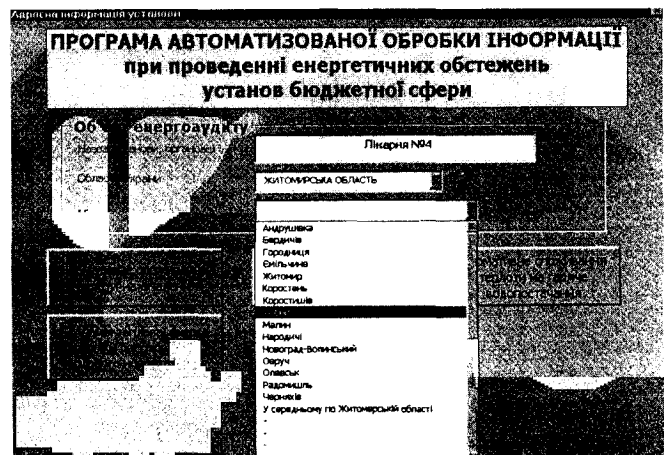


Рис. 1.

Результати розрахунків представляються в табличній формі (табл. 2).

Таблиця 2.

Економія теплової енергії у будівлях завдяки регулюванню теплового навантаження	
Назва установи, організації	Загальноосвітня середня школа №2
Область	КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ
Місто	Київ

Кліматичні показники

Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період ($t_{сеп.о.}$), °C	-1,10
Тривалість опалювального періоду за кількістю днів зі стійкою середньою добовою температурою зовнішнього повітря 8°C і нижче (N_0), днів	187
Усереднена розрахункова температура внутрішнього повітря приміщень ($t_{вн.}$), °C	18,00
Знижена температура повітря у приміщенні, °C (t_2)	10,00

Інша інформація

Зовнішній будівельний об'єм будівлі (V_3), куб. м	13065,00
Вартість 1 Гкал теплової енергії (C_T), грн.	70,60
Капітальні втрати на впровадження системи регулювання теплоспоживання будинку (K), грн.	20000,00
Додаткові річні експлуатаційні витрати, пов'язані з упровадженням системи регулювання теплоспоживання будинку (C_e), грн.	600,00

Техніко-економічні показники

Економія теплової енергії за опалювальний сезон за рахунок зниження температури повітря (Гкал)	124,309
Економія теплової енергії за опалювальний сезон за рахунок погодного регулювання (Гкал)	80,55
Суммарна економія теплової енергії за опалювальний сезон (Гкал)	204,859
Економія коштів за опалювальний сезон (грн./рік)	13863,02
Строк окупності капітальних витрат (років)	1,44

Таблиця місячних фактичних і розрахункових даних

№ п/п	Місяць	Q_i	t_i	$t_{вн, i}$	t_{oi}	n_i	$n_{вн, i}$	z_i	q_i
1	січень	88,6	-2,00	18,00	-5,90	31	8	8,00	0,456
2	лютий	93,7	-1,50	18,00	-5,20	28	8	8,00	0,547
3	березень	82,8	3,40	18,00	-0,40	31	8	8,00	0,583
4	квітень	0,0	0,00	0,00	7,50	0	8	8,00	
5	травень	0,0	0,00	0,00	14,70	0	8	8,00	
6	червень	0,0	0,00	0,00	17,80	0	8	8,00	
7	липень	0,0	0,00	0,00	19,80	0	8	8,00	
8	серпень	0,0	0,00	0,00	18,70	0	8	8,00	
9	вересень	0,0	0,00	0,00	13,90	0	8	8,00	
10	жовтень	0,0	0,00	0,00	7,50	0	8	8,00	
11	листопад	84,5	0,00	18,00	1,20	30	8	8,00	0,499
12	грудень	94,9	-0,10	18,00	-3,50	31	8	8,00	0,539

Нижче проілюстровано застосування розробленої методики та програмного забезпечення для прогнозування техніко-економічної ефективності впровадження САРТЗ в дитячих дошкільних закладах та школах Києва (табл. 3). Вихідні дані були отримані при проведенні енергоаудитів.

Річна економія теплової енергії в цих об'єктах залежить від об'єму будівлі та інших факторів і коливається від 50 до 550 Гкал за отопі-

тельний сезон (рис. 3), при цьому від 20 до 70% економії досягається за рахунок погодного регулювання. При вартості теплової енергії 70,6 грн./Гкал економія в грошовому вираженні коливається в межах від 3,5 до 38,8 тис. грн. При середній величині капітальних витрат на впровадження САРТЗ 20 тис. грн. термін окупності цього енергозберігаючого заходу знаходиться в межах 0,5-6,7 років. При цьому термін окупності суттєво зменшується з збільшенням об'єму будівлі (рис. 4).

Таблиця 3.

№ п/п	Назва об'єкта	Об'єм будівлі, V _з
1	Дом дитячого творчості	1791
2	Дитяче дошкільне заклад №61, корпус 1	2597
3	Спеціалізована легкоатлетична дитячо-юнацька спортивна школа №6	2635
4	Дитяче дошкільне заклад №88	3446
5	Дитяче дошкільне заклад №118	3527
6	Дом дитячого творчості (клуб юнацтва та молодіж)	4037
7	Дитяче заклад №51	4266
8	Дитяче заклад №630	4854
9	Дитяче дошкільне заклад №399	4886
10	Дитяче заклад №397	5760
11	Дитяче дошкільне заклад №449	7093
12	Начальна школа №310	7482
13	Дитяча школа мистецтва №1	7780
14	Дитяче заклад №98	8126
15	Дитяче заклад №395	8530
16	Музична школа №14	9188
17	Дошкільне заклад №765	9548
18	Середня школа №22	11844
19	Дитяче заклад №255	11970
20	Загальноосвітня середня школа №19	12414
21	Загальноосвітня середня школа №2	13065
22	Середня школа №425	13170
23	Середня школа №46	15700
24	Середня школа №26	20530
25	Спеціалізована середня школа №123	21290
26	Середня школа №67	26600
27	Середня школа №161	28308

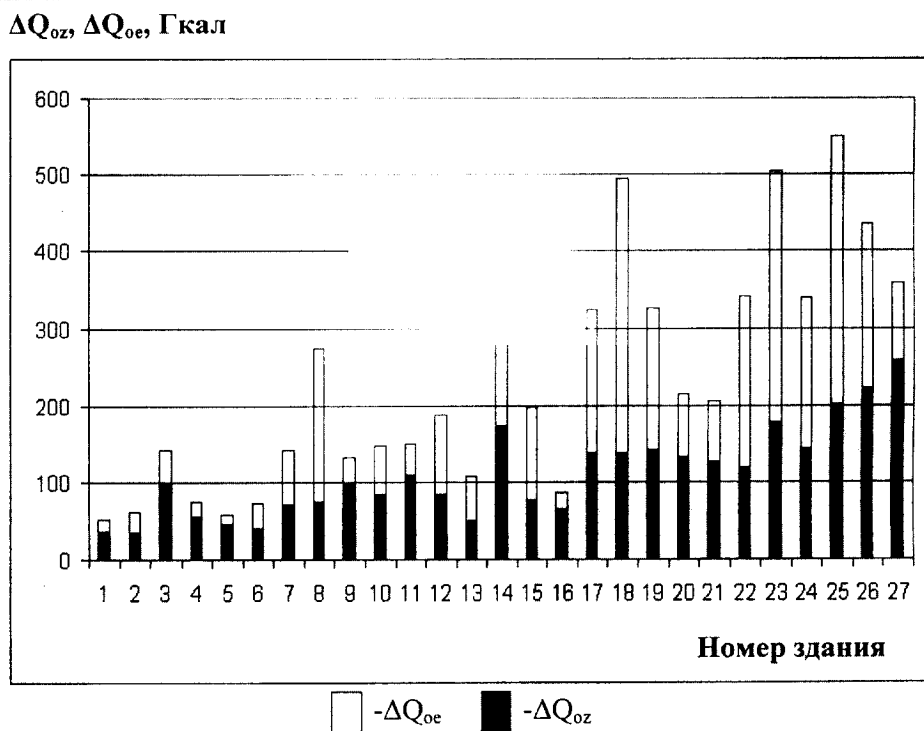


Рис. 2. Годовая экономия тепловой энергии за счет внедрения САРТЗ

τ_i , лет

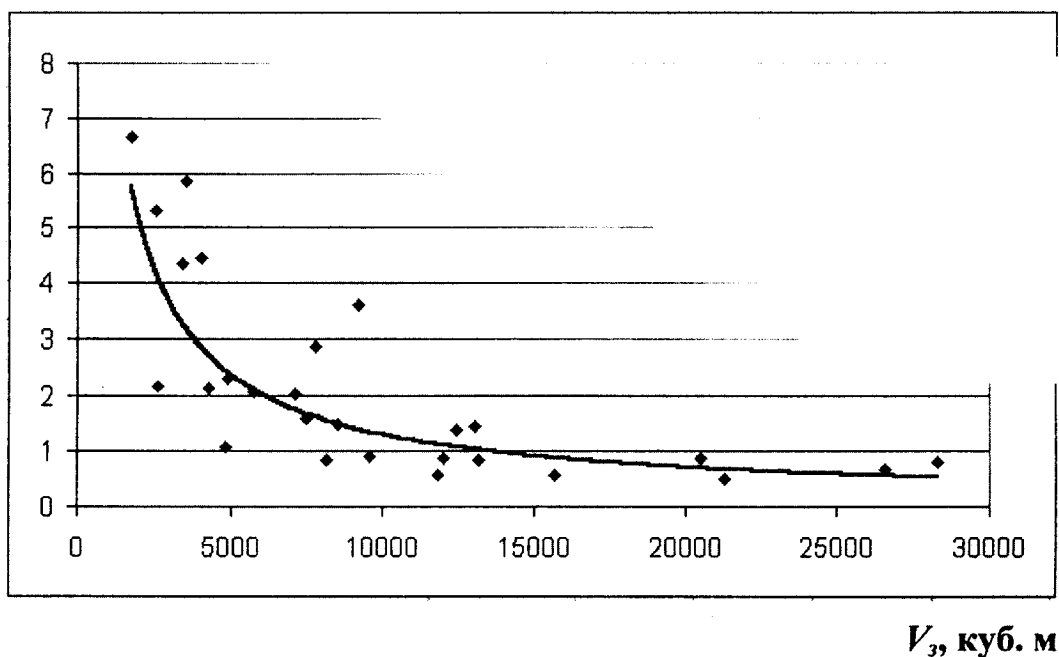


Рис. 3. Зависимость срока окупаемости от объема здания

1. Межотраслевые нормы потребления электрической и тепловой энергии для учреждений и организаций бюджетной сферы Украины. – УкрНИИинжпроект. – Киев. – 2001. – №91. – 104 с.