

ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Введение. Эффективность любой системы отопления легко оценивается по затратам на производство тепловой энергии. А они, в свою очередь, зависят от стоимостей энергоресурсов, используемых для покрытия тепловой мощности системы. В случае комплексного использования мини-котла, электрического теплоаккумулирующего преобразователя (ЭТАПа) [1] и тэнов можно, в зависимости от сложившихся тарифов, добиваться минимизации рассматриваемых затрат путем варьирования соотношения газа и электрической энергии.

Состояние вопроса. Особенностью комбинированной системы отопления является использование электрической энергии по внепиковому тарифу, который действует ежесуточно в заданный промежуток времени. Накопление энергии в ЭТАПе также будет осуществляться ежесуточно с различными начальными условиями, зависящими от температуры наружного воздуха. Поэтому нужна динамическая (посуточная или почасовая) модель расчета затрат такой системы, которая будет учитывать колебания температуры наружного воздуха, а следовательно и время работы мини-котла и преобразователя в режиме потребления энергии.

Изложение материала. В качестве примера рассмотрим систему отопления, когда в ночное время теплоноситель нагревается тэном (ами) и одновременно в ЭТАПе (ах) накапливается такое количество тепла, которого должно хватить для полного, либо частичного (если это экономически обосновано) обеспечения требуемого температурного режима внутри помещения до следующего действия внепикового тарифа. И только в случае возникновения недостатка тепла он покрывается газовым мини-котлом (ами). Возможный вариант такой тепловой схемы представлен на рис. 1.

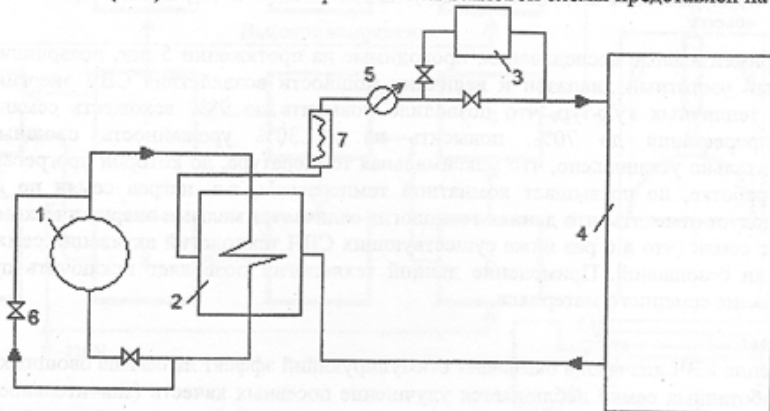


Рис. 1. Расположение ЭТАПа в тепловой схеме

1 – ЭТАП; 2 – теплообменник; 3 – котел; 4 – отапливаемое помещение; 5 – термодатчик; 6 – вентиль; 7 – тэн.

Устанавливать ЭТАП предлагается перед мини-котлом, что достаточно легко реализовать практически при уже введенной в эксплуатацию системе отопления, а также для возможности догрева последним теплоносителем (в случае необходимости) до требуемой температуры.

Эксплуатационные расходы на систему отопления можно определить из следующей зависимости:

$$Z_c = Z_{эл} + Z_g + Z_e + Z_a + Z_{зап} + Z_{т.р} + Z_{пр}, \quad (1)$$

где $Z_{эл}$, Z_g , Z_e – затраты на электроэнергию, газ и воду соответственно, грн/сут;

Z_a – амортизационные отчисления;

$Z_{зап}$ – затраты на запуск системы отопления (в т.ч. заполнение системы отопления водой);

$Z_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт;

$Z_{пр}$ – прочие затраты.

Суточные электрические затраты можно записать в виде:

$$Z_{эл} = Z_{эл.тэов} + Z_{эл.ЭТАП}, \quad (2)$$

где $Z_{эл.тэов}$, $Z_{эл.ЭТАП}$ – затраты на электроэнергию для тэов и ЭТАПа.

Суточные затраты на электроэнергию для тэов составят:

$$Z_{эл.тэов} = P_{тэов} C_{эл.эл} \tau_{вн}, \quad (3)$$

где $C_{эл.эл}$ – цена на электроэнергию по внепиковому тарифу, грн/Вт·ч;

$\tau_{вн}$ – продолжительность внепикового тарифа (число часов работы тэов в сутки), ч;

$P_{тэов} = \frac{Q_{с.о}^{тэов}}{\eta_{тэов}}$ – электрическая мощность тэов, Вт;

$Q_{с.о}^{тэов}$ – доля тепловой мощности, покрываемой за счет тэов, Вт;

$\eta_{тэов}$ – КПД тэов.

Суточные затраты на электроэнергию для ЭТАПа представим следующим образом:

$$Z_{эл.ЭТАП} = P_{ЭТАП} C_{эл.эл} T_{Э}, \quad (4)$$

где $T_{Э}$ – продолжительность работы ЭТАПа в сутки, ч (зависит от температуры наружного воздуха, ее расчет будет рассмотрен ниже);

$P_{ЭТАП} = \frac{Q_{с.о}^{ЭТАП}}{\eta_{ЭТАП}}$ – электрическая мощность ЭТАПа, Вт;

$Q_{с.о}^{ЭТАП}$ – доля тепловой мощности, покрываемой за счет ЭТАПа, Вт;

$\eta_{ЭТАП}$ – КПД ЭТАПа (и его дополнительных составляющих) в условии практической реализации.

Затраты на газ:

$$Z_g = G_g C_g T_g, \quad (5)$$

где C_g – стоимость 1 м³ газа, грн/м³;

T_g – суточная продолжительность работы мини-котла, ч (также зависит от температуры наружного воздуха, ее расчет будет рассмотрен ниже);

$G_g = \frac{Q_{с.о}^{гас}}{C_g \eta}$ – расход газа, м³/ч;

$Q_{с.о}^{гас}$ – доля тепловой мощности, покрываемой за счет мини-котла, Вт;

C_g – теплота сгорания газа, Дж/м³;

η – КПД котла.

Суточные затраты на воду составят:

$$Z_e = V_e C_e, \quad (6)$$

где V_e – суточный расход воды на технологические цели, м³;

C_e – цена на воду, грн/м³.

Амортизационные отчисления:

$$Z_a = KB_{об} \frac{H_{a.об}}{d100} + KB_{из} \frac{H_{a.из}}{d100} + KB_{ок} \frac{H_{a.ок}}{d100}, \quad (7)$$

где d – количество дней в году;

$H_{a.об}$, $H_{a.из}$, $H_{a.ок}$ – норма амортизационных отчислений на оборудование, изоляцию здания и окна (берется согласно закону Украины «О налоге и прибыли предприятия» от 22.05.1997г. №283/97-ВР с дополнениями от 24.12.02 №348-IV). Если предусматриваются еще какие-либо капиталовложения, их также необходимо учитывать в данном виде затрат.

Для рассматриваемого примера капиталовложения будут состоять из стоимостей энергетического оборудования, изоляции здания и новых стеклопакетов (в случае замены окон):

- Капиталовложения в теплотехническое оборудование рассчитываются по формуле:

$$KB_{об} = C_{к} (1 + k_m + k_c + k_m) N_z + C_{ЭТАП} (1 + k_m + k_c + k_m) N_{ЭТАП} + C_{тэн} (1 + k_m + k_c + k_m) N_{тэн} + K_{пр}, \quad (8)$$

где $C_{к}$, $C_{ЭТАП}$, $C_{тэн}$ – цена одного мини-котла (модуля), ЭТАПа и тэна грн/ед;

k_m , k_c , k_m – коэффициенты, учитывающие транспортно-заготовительные расходы, затраты на строительные работы и установку оборудования, монтаж и освоение оборудования соответственно (имеют различные значения в зависимости от массы и сложности оборудования, для сравнения подобных проектов принимаются одинаковыми, в данном случае примем – 0,07; 0,06; 0,05);

$N_z = \frac{Q_{с.о}^{нз}}{g}$, $N_{ЭТАП} = \frac{Q_{с.о}^{ЭТАП}}{e}$, $N_{тэн} = \frac{Q_{с.о}^{тэн}}{t}$ – количество мини-котлов (модулей), ЭТАПов и тэнов, ед,

g , e , t – мощность одного мини-котла (модуля), ЭТАПа, тэна;

$K_{пр}$ – прочие капиталовложения, возникающие в зависимости от схемы реализации предлагаемой системы отопления.

Стоимости мини-котлов и тэнов берутся по прайсам, что не представляет сложности, а стоимость ЭТАПа зависит от используемых в его конструкции материалов и до его серийного производства может определяться из выражения:

$$C_{ЭТАП} = C_{матер} + C_{бак} + C_{эл}, \quad (9)$$

где $C_{матер}$, $C_{бак}$, $C_{эл}$ – стоимость наполнителя, бака и электродов, грн. Очевидно, что стоимость теплоаккумулирующего вещества определяется:

$$C_{матер} = C_1 V_M, \quad (10)$$

где C_1 – цена 1 м³ используемого наполнителя, грн/м³;

$V_M = \frac{Q_{с.о}^{ЭТАП} 86400}{C_M (t_{наг} - t_{нач})}$ – его требуемый объем, м³;

C_M – теплоемкость наполнителя, Дж/(м³К);

$t_{наг}$ – предельно допустимая температура нагрева данного материала, К;

$t_{нач}$ – его начальная температура, К.

- Капиталовложения в изоляцию здания:

$$KB_{из} = \sum_{i=1}^n \delta_{из i} S_{из i} C_{из i}, \quad (11)$$

где $\delta_{из i}$ – толщина изоляции, м;

$S_{из i}$ – ее площадь, м²;

$C_{из i}$ – стоимость изоляции (с учетом доставки и монтажа), грн/м³;

n – общее количество используемых типов изоляции.

▪ Капиталовложения при замене окон:

$$KB_{ок} = N_{ок} C_{ок}, \quad (12)$$

где $N_{ок}$ – количество заменяемых оконных проемов, ед;

$C_{ок}$ – цена одного стеклопакета (с учетом доставки, установки и демонтажа старого окна), грн/ед.

Затраты на текущий ремонт определяют в процентах (10...20%) от суммы амортизационных отчислений (в данном случае примем 15%). Их можно представить в виде:

$$З_{м.р} = 0,15 З_a. \quad (13)$$

Прочие затраты складываются из затрат на разного рода услуги и вспомогательные материалы. Их приблизительно принимают в размере 20...30% (примем 25%) от амортизационных отчислений и затрат на ремонт:

$$З_{п.р} = 0,25 (З_a + З_{м.р}). \quad (14)$$

Как следует из рассмотренного выше, $З_c$ зависит от долей тепловой мощности системы отопления, покрываемых за счет мини-котла, тэнов и ЭТАПа, что можно представить как:

$$Q_o = Q_{c.o}^{зав} + Q_{c.o}^{тэн} + Q_{c.o}^{ЭТАП} = a Q_o + b Q_o + c Q_o, \quad (15)$$

где a, b, c – коэффициенты, отражающие доли каждого используемого вида тепловой мощности в составе Q_o .

Последнее же в соответствии с [2] определяется из выражения:

$$Q_o = (t_g - t_n) k_{дон} V_n \left\{ \frac{P}{S} \left[\frac{1}{\alpha_{в.с} + \sum \frac{\delta_{i,c}}{\lambda_{i,c}} + \frac{1}{\alpha_{н.с}}} + \varphi \left(k_{ок} - \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в.с} + \sum \frac{\delta_{i,c}}{\lambda_{i,c}} + \frac{1}{\alpha_{н.с}}}} \right) \right] + \frac{1}{L} \left[\psi_1 \frac{1}{\alpha_{в.нм} + \sum \frac{\delta_{i,нм}}{\lambda_{i,нм}} + \frac{1}{\alpha_{н.нм}}} + \psi_2 \frac{1}{\alpha_{в.лн} + \sum \frac{\delta_{i,лн}}{\lambda_{i,лн}} + \frac{1}{\alpha_{н.лн}}} \right] + n \cdot c_g V_g (t_g - t_n) - [m Q_{чел} k_m k_{с.л.} + P_{осв} (1 - \eta) k_{осв} + G_z C_z k_{н.л} / 3600] \right\}, \quad (16)$$

где t_g – расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, К;

t_n – температура наружного воздуха, К;

$k_{дон}$ – коэффициент добавочных теплопотерь;

V_n – наружный строительный объем зданий;

P, L – периметр и высота здания, м;

S – его площадь, м²;

φ – коэффициент остекления;

ψ_1 и ψ_2 – поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений здания;

$k_{ок}$ – коэффициент теплопередачи окон, Вт/(м²·К);

$\alpha_{в.с}, \alpha_{в.нм}, \alpha_{в.лн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха стен, потолка, пола к поверхности ограждения, Вт/(м²·К);

δ_i – толщина i -го слоя ограждения, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя ограждения, Вт/(м·К);

$\alpha_{H.c}, \alpha_{H.ст}, \alpha_{H.пл}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стен, потолка, пола к окружающему воздуху, Вт/(м²·К);

n – кратность воздухообмена, 1/с;

V_e – вентилируемый объем помещения, м³;

c_e – объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м³·К);

m – количество проживающих или работающих в здании людей;

$Q_{чел}$ – тепловыделение человека;

k_m – коэффициент степени тяжести труда;

$k_{в.л.}$ – коэффициент времени пребывания людей в рассматриваемом здании;

$P_{осв}$ – суммарная мощность осветительных приборов, Вт;

η – средневзвешенный КПД осветительных приборов;

$k_{осв}$ – коэффициент времени использования осветительных приборов;

G_e – среднечасовой расход газа, м³/ч;

C_e – теплотворная способность газа, Дж/м³;

$k_{н.л.}$ – коэффициент неучтенных потерь тепла.

Количество энергии q_0 , Дж, необходимое для покрытия суточной тепловой нагрузки, можно представить в виде:

$$q_0 = Q_0 86400, \tag{17}$$

где 86400 – количество секунд в сутки,

либо

$$q_0 = q_{c.o}^{зав} + q_{c.o}^{мэн} + q_{c.o}^{ЭТАП} \tag{18}$$

Тогда количества энергии, отдаваемого тэном (ами) и накапливаемое ЭТАПом за время действия внепикового тарифа, будут соответственно:

$$q_{c.o}^{мэн} = Q_{c.o}^{мэн} \cdot \tau_{вн}, \tag{19}$$

$$q_{c.o}^{ЭТАП} = Q_{c.o}^{ЭТАП} \cdot \tau_{вн}. \tag{20}$$

Теплоноситель догревается котлом в случае, когда:

$$q_{c.o}^{ЭТАП} < q_0 - q_{c.o}^{мэн}, \tag{21}$$

тогда недостающее количество энергии будет $q_{c.o}^{зав} = q_0 - q_{c.o}^{мэн} - q_{c.o}^{ЭТАП}$, а число часов работы котла:

$$T_z = \frac{q_{c.o}^{зав}}{Q_{c.o}^{зав}} / 3600. \tag{22}$$

Время работы ЭТАПа в режиме потребления энергии:

$$T_3 = \tau_{вн}. \tag{23}$$

ЭТАП не отдает всю накопленную энергию, если:

$$q_{c.o}^{ЭТАП} > q_0 - q_{c.o}^{мэн}. \tag{24}$$

В таком случае время работы котла:

$$T_z = 0, \tag{25}$$

а последующая продолжительность зарядки преобразователя сократится и составит:

$$T_3 = \tau_{вн} - \frac{q_{c.o}^{ЭТАП} - q_0 - q_{c.o}^{мэн}}{Q_{c.o}^{ЭТАП}} / 3600. \tag{26}$$

Таким образом, зная доли тепловой мощности системы отопления, покрываемых за счет тэнов, ЭТАПа и мини-котла, а также параметры здания можно определить затраты

рассматриваемой системы. И в дальнейшем по известным методикам вычислить все необходимые экономические показатели.

Суточные затраты комбинированной системы отопления с учетом (16), (21-23), (24-26) будут равны:

$$\begin{aligned}
 Z_c = Q_o \left(\frac{b}{\eta_{\text{теп}}} \Pi_{\text{эл.эл}} \tau_{\text{эл}} + \frac{c}{\eta_{\text{ЭТАП}}} \Pi_{\text{эл.эл}} T_{\text{Э}} + \frac{a}{C_2 \eta} 3600 \Pi_{\text{г}} T_{\text{г}} \right) + P_{\text{г}} \Pi_{\text{В}} + 1,4375 \times \\
 \times ((1 + k_{\text{м}} + k_{\text{с}} + k_{\text{н}}) (\Pi_{\text{г}} \frac{a Q_o}{g} + (\Pi_{\text{г}} \frac{86400}{C_{\text{н}} (t_{\text{наг}} - t_{\text{нов}})} \frac{c Q_o}{\eta_{\text{ЭТАП}}} + \Pi_{\text{бак}} + \Pi_{\text{эл}}) \frac{c Q_o}{e} + \\
 + \Pi_{\text{теп}} \frac{b Q_o}{t} + K_{\text{пр}}) \frac{H_{\text{а.об}}}{d100} + \sum_{i=1}^n \delta_{\text{изл}} S_{\text{изл}} \Pi_{\text{изл}} \frac{H_{\text{а.изл}}}{d100} + N_{\text{ок}} \Pi_{\text{ок}} \frac{H_{\text{а.ок}}}{d100}) + Z_{\text{зан}}.
 \end{aligned} \quad (27)$$

Выводы

Получена алгоритмическая модель, определяющая затраты комбинированной системы отопления с учетом параметров здания, долей тепловой мощности, покрываемых за счет тэнов, ЭТАПа и мини-котла, а также действующих тарифов на энергоносители. Использование этой модели позволяет исследовать влияние различных параметров системы на ее экономическую эффективность вплоть до определения оптимальной совокупности их значений.

Литература

1. Ю.Г. Качан, С.А. Левченко, Н.А. Кононенко. Применение электрического теплоаккумулирующего преобразователя для повышения эффективности системы горячего водоснабжения/ Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Энергоэффективность 2005», приложение к журналу «Холодильная техника и технология». – Одесса: Рефпринтинфо, 2005. – С. 90 – 94.
2. Ю.Г. Качан, Н.А. Баташова. Про оцінку теплової потужності систем опалення/ Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХП», №2, 2007. – С. 34 – 38.