

УДК 697:621.365

Фиалко Н.М.^{1,2}, Шеренковский Ю.В.¹, Прокопов В.Г.¹, Меранова Н.О.¹, Гнедой Н.В.¹, Иваненко Г.В.¹, Юрчук В.Л.¹, Гнедаш Г.А.¹¹ *Институт технической теплофизики НАН Украины*² *Национальный технический университет Украины «КПИ»***ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ТРАДИЦИОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ**

Наведено дані оцінки енергетичної ефективності будівель котеджного типу при використанні різних систем децентралізованого теплопостачання. Розроблено методику проведення такої оцінки на основі концепції приведених витрат енергії палива. З застосуванням даної методики виконано зіставлення енергетичної ефективності водяних систем опалення з теплопостачанням від газоспоживаючих і (або) електричних котлів, а також електричних систем прямої та акумуляційної дії.

Приведены данные оценки энергетической эффективности зданий коттеджного типа при использовании различных систем децентрализованного теплоснабжения. Разработана методика проведения такой оценки на основе концепции приведенных затрат энергии топлива. С применением данной методики выполнено сопоставление энергетической эффективности водяных систем отопления с теплоснабжением от газопотребляющих и (или) электрических котлов, а также электрических систем прямого и аккумуляционного действия.

Results of the energy efficiency estimation of the cottage type buildings using various systems of decentralized heating systems are presented. The technique for implementation of such estimation based on the concept of reduced costs of fuel energy is developed. With the application of this technique the comparison of the energy efficiency of water heating systems with heat supply from the gas consuming and (or) electric boilers and electrical systems of the direct and accumulating action is performed.

C_1 – коэффициент, представляющий собой отношение энергии сжигаемого топлива к получаемой тепловой энергии нагретой в котлоагрегате воды;

C_2 – коэффициент потерь энергии в теплосети при централизованном теплоснабжении;

C_3 – зонный коэффициент, учитывающий изменение тарифа на природный газ в зависимости от объемов его потребления для зданий коттеджного типа;

C_5 – зонный коэффициент, учитывающий дифференциацию тарифов на электроэнергию по времени суток;

C_6 – величина среднего относительного показателя затрат условного топлива на отпуск электроэнергии на электрических станциях по отношению к удельным затратам на выработку тепловой энергии;

e_p – коэффициент затрат первичной энергии;

F – отапливаемая площадь здания, м²;

$K_{\text{ТОП}}$ – коэффициент приведенных затрат энергии топлива;

q_T – среднегодовые удельные затраты тепловой

энергии, полученной при сжигании топлива для нагрева воды, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ТОП}}$ – удельные приведенные затраты энергии топлива, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ТС}}$ – нормативный показатель среднегодового удельного расхода теплоты на теплоснабжение зданий, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ТОП}}^T$ и $q_{\text{ТОП}}^Э$ – отвечают соответственно удельным приведенным затратам энергии топлива на нагрев воды систем теплоснабжения зданий и на получение электроэнергии для использования в данных системах, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ОТ}}$ – нормативный показатель среднегодовых удельных теплотерь здания, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ГВС}}$ – нормативный показатель среднегодового удельного расхода теплоты на горячее водоснабжение, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ЭО}}$ – среднегодовые удельные затраты тепловой энергии для систем теплоснабжения, полученной преобразованием электрической энергии, кВт·ч/(м²год);

$q_{\text{ЭД}}$ – среднегодовые удельные дополнительные затраты электроэнергии на работу вспомогательного оборудования, кВт·ч/(м²год);

S – характеристика температурной зоны Украины, определяемая количеством градусо-суток отопительного периода;
 V_{Γ} – объем годового потребления природного

газа, м³/год;
 β – доля теплопотерь, компенсируемых электронагревом;
 τ – время.

Введение

Повышение энергетической эффективности жилых и общественных зданий является, как известно, одним из важнейших направлений энергосбережения в коммунальной теплоэнергетике. В последний период особое внимание к различным аспектам данной проблемы наблюдается в странах ЕС. Так, согласно основным требованиям новой европейской директивы по энергетическим характеристикам зданий, принятой в 2010 г., уже к 2020 г. энергетические характеристики всех новых зданий должны практически полностью соответствовать показателям так называемых «зданий с нулевым потреблением энергии». Причем, что касается общественных зданий, то для них это требование должно быть выполнено несколько раньше – к 2018 году [1].

Согласно принятому определению «здания с нулевым потреблением энергии» являются энергонезависимыми, их теплоснабжение реализуется без использования первичных энерго-ресурсов. Здания такого типа характеризуются широким использованием энергии, получаемой из возобновляемых источников, обладают весьма малыми теплопотерями, оборудуются высокоэффективными устройствами для аккумуляции тепловой и электрической энергии (бетонными накопителями, подземными водохранилищами и пр.) и т.д. [2,3].

Практическая реализация концепции строительства «зданий с нулевым потреблением энергии», как очевидно, требует чрезвычайно больших затрат и поэтому по мнению ряда исследователей в настоящее время не может рассматриваться в качестве доминирующего направления при планировании ближайшего энергетического будущего (см., например [2]). Ввиду этого в данный период к числу важнейших задач может быть отнесено повышение энергетической эффективности зданий путем

внедрения современных прогрессивных систем теплоснабжения. Одним из перспективных направлений решения такой задачи является широкое применение электроотопления, обладающего целым рядом известных достоинств [4-8]. При этом в зависимости от конкретных условий рациональным оказывается применение различных способов использования электроэнергии для отопления зданий. Так, например, в странах с развитой атомной и гидроэнергетикой эффективным является применение систем электроотопления соответственно аккумуляционного и прямого действия. Применительно к конкретным ситуациям оптимальными могут быть системы теплоснабжения на основе кабельного электроотопления, ИК-нагрева, тепловых насосов, гидродинамического нагрева и пр. [9-14].

Особый интерес представляет также дальнейшее распространение комбинированных систем теплоснабжения, базирующихся на совместном использовании традиционных энерго-ресурсов и электроэнергии. В данной работе рассматриваются особенности применения в Украине ряда таких комбинированных систем теплоснабжения для зданий коттеджного типа.

Методика оценки энергетической эффективности зданий

Существующие в настоящее время методики оценки энергетической эффективности зданий и соответствующие технические регламенты заметно отличаются в разных странах ЕС. Согласно требованиям новой европейской директивы по энергетическим характеристикам зданий (2010 г.), которые следует внедрить во всех странах ЕС к 2020 г., строительные регламенты в области энергоэффективности должны быть гармонизированы и соответствующие методики оценки эффективности унифицированы. При этом национальные целе-

вые показатели энергоэффективности должны основываться на потреблении первичной энергии в кВт·ч/(м²·год) или альтернативном показателе [1].

Основное достоинство концепции первичной энергии в качестве критерия энергетической эффективности зданий состоит в том, что в этом случае учитываются все стадии трансформации энергоресурсов – от генерирования преобразованных видов энергии, их аккумулярования, передачи потребителю до использования у потребителя. При таком подходе фактически определяется расход первичных энергоресурсов, необходимых для производства требуемой конечной энергии, что позволяет принимать во внимание энергетический, экологический и, наконец, экономический аспект эффективности систем теплоснабжения зданий [1, 2].

Потребление первичной энергии при расчете энергетических показателей зданий оценивается годовыми удельными (отнесенными к квадратному метру отапливаемой площади) потерями энергии на всех стадиях трансформации энергоресурсов. Данный методический подход позволяет выполнять поэлементный анализ эффективности соответствующих систем теплоснабжения и, кроме того, дает возможность проводить сравнение энергетической эффективности таких систем для зданий, имеющих различную отапливаемую площадь [6].

Европейские методики оценки энергоэффективности зданий, базирующиеся на концепции первичной энергии, характеризуются также тем, что указанные оценки являются обобщенными и касаются как систем отопления, так и систем вентиляции и горячего водоснабжения.

Рассмотрим вкратце особенности реализации анализируемых методических подходов на примере немецкого стандарта DIN 4701 [15]. В последнем в качестве критерия энергетической эффективности зданий закреплен коэффициент затрат первичной энергии e_p . Данный коэффициент представляет собой отношение годовых удельных (отнесенных к квадратному метру отапливаемой площади) затрат первичной энергии на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию здания к сумме норматив-

ных удельных теплотерь здания и расхода теплоты на горячее водоснабжение в год. Как очевидно, более низким значениям коэффициента e_p отвечает более высокая энергетическая эффективность здания в плане использования первичной энергии.

В данной работе на основе отмеченного выше подхода, отвечающего стандарту DIN 4701, предложена методика оценки энергетической эффективности зданий, в которой принимаются во внимание некоторые особенности функционирования систем теплоснабжения в условиях Украины.

Рассмотрим специфику предлагаемой методики на примере ее реализации для зданий коттеджного типа в ситуациях, отвечающих применению комбинированных систем теплоснабжения, которые базируются на совместном использовании природного газа и электроэнергии.

В качестве критерия оценки энергетической эффективности зданий вводится коэффициент приведенных затрат энергии топлива

$$K_{\text{топ}} = \frac{q_{\text{топ}}}{q_{\text{тс}}}. \quad (1)$$

В отличие от указанного выше стандарта DIN 4701 основная особенность предлагаемой методики, отраженная в выражении (1), состоит в том, что удельные приведенные затраты энергии топлива $q_{\text{топ}}$ определяются с учетом следующих факторов: во-первых, дифференциации цен на природный газ в зависимости от объемов его годового потребления и, во-вторых, двух- и трехзонных тарифов на электроэнергию, дифференцированных по времени суток [16,17]. При этом следует особо отметить, что в приводимом ниже соотношении (6) для $K_{\text{топ}}$ цены на природный газ и электроэнергию вообще не фигурируют. В нем принимаются во внимание лишь так называемые зонные коэффициенты, при умножении которых на установленный рыночный тариф определяется соответствующая ставка тарифа на электроэнергию и природный газ. Это позволяет интерпретировать наличие указанной дифференциации цен на электроэнергию и природный газ как изме-

нение расхода первичной энергии, отвечающее различным тарифным ставкам.

Таким образом, в соответствии с изложенным, коэффициент $K_{\text{топ}}$ отражает энергетическую эффективность здания в плане общих приведенных затрат первичной энергии.

Фигурирующие в (1) удельные приведенные среднегодовые затраты энергии топлива $q_{\text{топ}}$ могут быть представлены в виде

$$q_{\text{топ}} = q_{\text{топ}}^{\text{T}} + q_{\text{топ}}^{\text{Э}} \quad (2)$$

где $q_{\text{топ}}^{\text{T}}$ и $q_{\text{топ}}^{\text{Э}}$ отвечают соответственно удельным приведенным затратам энергии топлива на нагрев воды систем теплоснабжения зданий и на получение электроэнергии для использования в данных системах.

Величина $q_{\text{топ}}^{\text{T}}$ определяется следующим соотношением

$$q_{\text{топ}}^{\text{T}} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot q_{\text{T}} \quad (3)$$

Здесь коэффициент C_1 принимается равным 1,1. Что же касается величины C_1 , то она отличается от единицы только в ситуациях, когда используются водяные системы отопления с централизованным теплоснабжением; при этом полагается $C_2 = 1,1$.

Величина коэффициента C_3 зависит от объемов годового потребления природного газа $V_{\text{Г}}$. Она численно равна значению так называемого зонного коэффициента. (Путем умножения последнего на цену природного газа при $V_{\text{Г}} = 2500 \text{ м}^3$ в год вычисляется цена газа для различных значений $V_{\text{Г}}$). В соответствии с существующими нормами величина C_3 определяется следующим образом [17]

$$C_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{при } V_{\text{Г}} \leq 2500 \text{ м}^3 \text{ в год;} \\ 1,51 & \text{при } V_{\text{Г}} \leq 6000 \text{ м}^3 \text{ в год;} \\ 3,1 & \text{при } V_{\text{Г}} \leq 12000 \text{ м}^3 \text{ в год;} \\ 3,7 & \text{при } V_{\text{Г}} > 12000 \text{ м}^3 \text{ в год.} \end{cases}$$

Для нахождения величины $q_{\text{топ}}^{\text{Э}}$ используется зависимость

$$q_{\text{топ}}^{\text{Э}} = C_4 \cdot C_5 \cdot q_{\text{ЭО}} + C_4 \cdot q_{\text{ЭД}} \quad (4)$$

Первый член суммы в правой части выражения (4) представляет собой удельные приведенные затраты энергии топлива на получение электроэнергии, которая преобразовывается в тепловую энергию для систем теплоснабжения. Второй член указанной суммы отвечает удельным затратам энергии топлива, идущим на получение электрической энергии, которая используется для работы вспомогательного оборудования (насосы, системы регулирования и пр.).

Значение коэффициента C_4 определяется произведением $C_4 = C_1 \cdot C_6$. Согласно приводимым в литературе данным значение величины для Украины в последние годы составляет 2,3 (см., например, [18]).

Что касается коэффициента C_5 , то он фигурирует в зависимости (4) в случае применения систем электроотопления аккумуляционного действия, использование которых стимулируется наличием в Украине двух- и трехзонного учета электроэнергии. Величина C_5 численно равна значению соответствующего зонного коэффициента [16]:

для двухзонного тарифа

$$C_5 = \begin{cases} 0,7 & \text{при } 23,00 \leq \tau < 7,00; \\ 1,0 & \text{при } 7,00 \leq \tau < 23,00; \end{cases}$$

для трехзонного тарифа

$$C_5 = \begin{cases} 0,4 & \text{при } 23,00 \leq \tau < 7,00; \\ 1,0 & \text{при } 7,00 \leq \tau < 8,00; 11,00 \leq \tau < 20,00; \\ & 22,00 \leq \tau < 23,00; \\ 1,5 & \text{при } 8,00 \leq \tau < 11,00; 20,00 \leq \tau < 22,00. \end{cases}$$

Остановимся вкратце на рассмотрении величины $q_{\text{ТС}}$, фигурирующей в выражении (1). Величина $q_{\text{ТС}}$ представляет собой контрольные значения удельного среднегодового расхода теплоты для теплоснабжения зданий, которые необходимо обеспечить у потребителя. Значения $q_{\text{ТС}}$ определяются соотношением

$$q_{\text{ТС}} = q_{\text{от}} + q_{\text{ГВС}} \quad (5)$$

Здесь $q_{\text{от}}$ и $q_{\text{ГВС}}$ отвечают соответственно отопительным системам здания и системам горячего водоснабжения.

Контрольные показатели q_{OT} , отвечающие удельным теплотерям здания, принимаются в соответствии с существующими в Украине строительными нормами [19]. Согласно указанным нормам величина q_{OT} зависит, прежде всего, от таких факторов, как тип здания, климатическая зона его размещения и пр. Что же касается расхода теплоты на горячее водоснабжение, который должен быть обеспечен для потребителя, то при расчетах он принимается равным 12,5 кВт·ч/(м²год), что соответствует европейским нормам.

Принимая во внимание изложенное, зависимость для определения $K_{ТОП}$ может быть представлена в виде

$$K_{ТОП} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot q_T + C_4 (C_5 \cdot q_{ЭО} + q_{ЭД})}{q_{OT} + q_{ГВС}}. \quad (6)$$

Характеризуя в целом предлагаемую методику оценки энергетической эффективности зданий, следует отметить, что она в отличие от классических европейских методик базируется не на концепции первичной энергии, а на учете приведенных удельных среднегодовых затрат энергии топлива на теплоснабжение зданий. Это позволяет принимать во внимание наличие дифференцированных тарифов на различные энергоносители, что в определенном смысле может трактоваться как соответствующее изменение расхода первичной энергии.

Необходимо также подчеркнуть, что предлагаемый подход, как очевидно, в существенно большей мере, чем указанные европейские, отражает чрезвычайно важный для потребителя экономический аспект эксплуатации систем теплоснабжения зданий.

Результаты исследований и их анализ

Ниже представлены характерные результаты выполненного на основе предложенной методики сравнительного анализа энергетической эффективности различных систем теплоснабжения зданий коттеджного типа. Сопоставление проводилось для инженерных систем зданий на основе следующих вариантов их отопления:

I. Водяные системы отопления с теплоснаб-

жением от пристроенных (встроенных) котельных:

- а) с газопотребляющим котлом;
- б) с электродкотлом;

II. Электрические системы отопления прямого действия;

III. Электрические системы отопления аккумуляционного действия (напольное электрокабельное отопление);

IV. Комбинированные системы, базирующиеся на совместном использовании системы Ia и Ib.

Таким образом, сравнению подлежали энергетические эффективности систем, в которых используется либо только один вид энергии – тепловая или электрическая, либо два указанных вида энергии. При этом характеристики таких систем рассматривались в зависимости от отапливаемой площади здания, температурной зоны Украины и пр.

Рассмотрим вначале типичные результаты выполненных расчетных исследований для водяной системы отопления с теплоснабжением от пристроенной (встроенной) котельной с газопотребляющим котлом (вариант Ia). На рис. 1 в качестве примера дана зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива $K_{ТОП}$ от площади здания F для двух температурных зон Украины. Здесь линия 1 отвечает высокотемпературной зоне с количеством градусо-суток S , не превышающим 2500, линия 2 – низкотемпературной зоне, для которой $S < 2500$. Как видно, указанная зависимость имеет достаточно четко выраженный пилообразный характер. При этом усматриваются ниспадающие участки различной протяженности, которые прерываются скачкообразным возрастанием величины $K_{ТОП}$. Последнее обстоятельство обусловлено учетом дифференциации цен на природный газ в зависимости от объемов его потребления в год. Значения F , при которых наблюдаются указанные скачкообразные изменения величины $K_{ТОП}$ отвечают границам зон расхода природного газа, соответствующим принятым отечественным тарифным нормам [17].

Обращает на себя внимание также тот факт, что количество скачкообразных изменений

величины и соответствующих им локальных максимумов на кривых 1 и 2 различно. А именно, в первом случае их количество равно трем, а во втором – двум. Это связано с тем, что в условиях низкотемпературной зоны (линия 1) даже при минимальном из рассматриваемых значений отапливаемой площади ($F = 100 \text{ м}^2$) годовой расход природного газа превышает границу первой тарифной зоны ($V_{\Gamma} = 2500 \text{ м}^3/\text{год}$) и составляет согласно расчетным данным $3054 \text{ м}^3/\text{год}$. Соответственно экстремум, отвечающий данной границе, на графике отсутствует. Иная картина имеет место в случае высокотемпературной

зоны (линия 2). Здесь при $F = 100 \text{ м}^2$ величина $V_{\Gamma} = 2230 \text{ м}^3/\text{год}$, что меньше границы первой тарифной зоны. Ввиду этого на линии 2 и реализуется максимум, связанный с прохождением данной границы.

Данные, приведенные на рис. 1, наглядно свидетельствуют о том, что энергетическая эффективность зданий коттеджного типа для рассматриваемой системы децентрализованного теплоснабжения с газопотребляющим котлом существенно снижается по мере возрастания площади коттеджа и соответственно расхода природного газа (как видно, в этих ус-

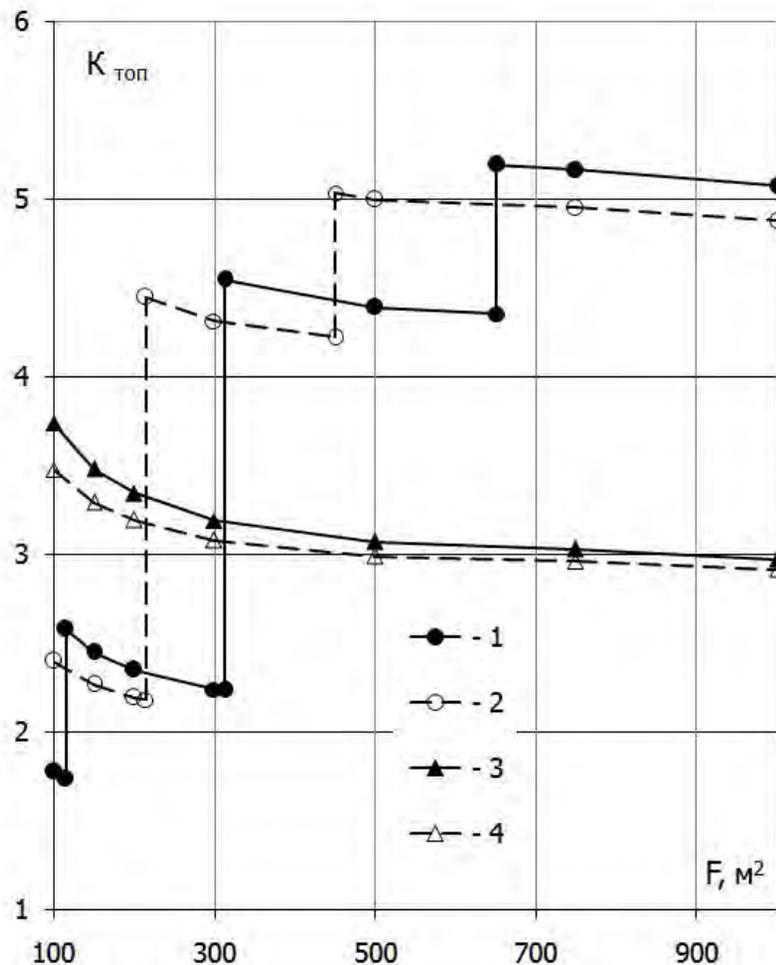


Рис. 1. Зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива $K_{\text{топ}}$ от величины отапливаемой площади F при использовании водяной системы отопления с теплоснабжением от газопотребляющего котла (линии 1,2) и от электродотла (линии 3, 4) для различных температурных зон Украины: 1, 3 – высокотемпературная зона ($S < 2500$); 2, 4 – низкотемпературная зона ($S > 3500$).

ловиях критерий эффективности зданий $K_{\text{топ}}$ возрастает более чем в 2,5 раза). По существу полученный вывод является отражением применяемой в Украине тарифной политики, стимулирующей сокращение объемов потребления природного газа.

Остановимся вкратце на рассмотрении полученных данных в части оценки энергетической эффективности водяной системы отоп-

ления с теплоснабжением от пристроенной (встроенной) котельной с электродкотлом. Как видно из рис. 1, величина $K_{\text{топ}}$ монотонно убывает с ростом отапливаемой площади здания F . Это обусловлено тем, что удельные затраты тепловой энергии $q_{\text{ЭО}}$ по мере увеличения F снижаются. Важно также отметить, что как свидетельствуют приведенные на рис.1 данные, при относительно малых значениях F

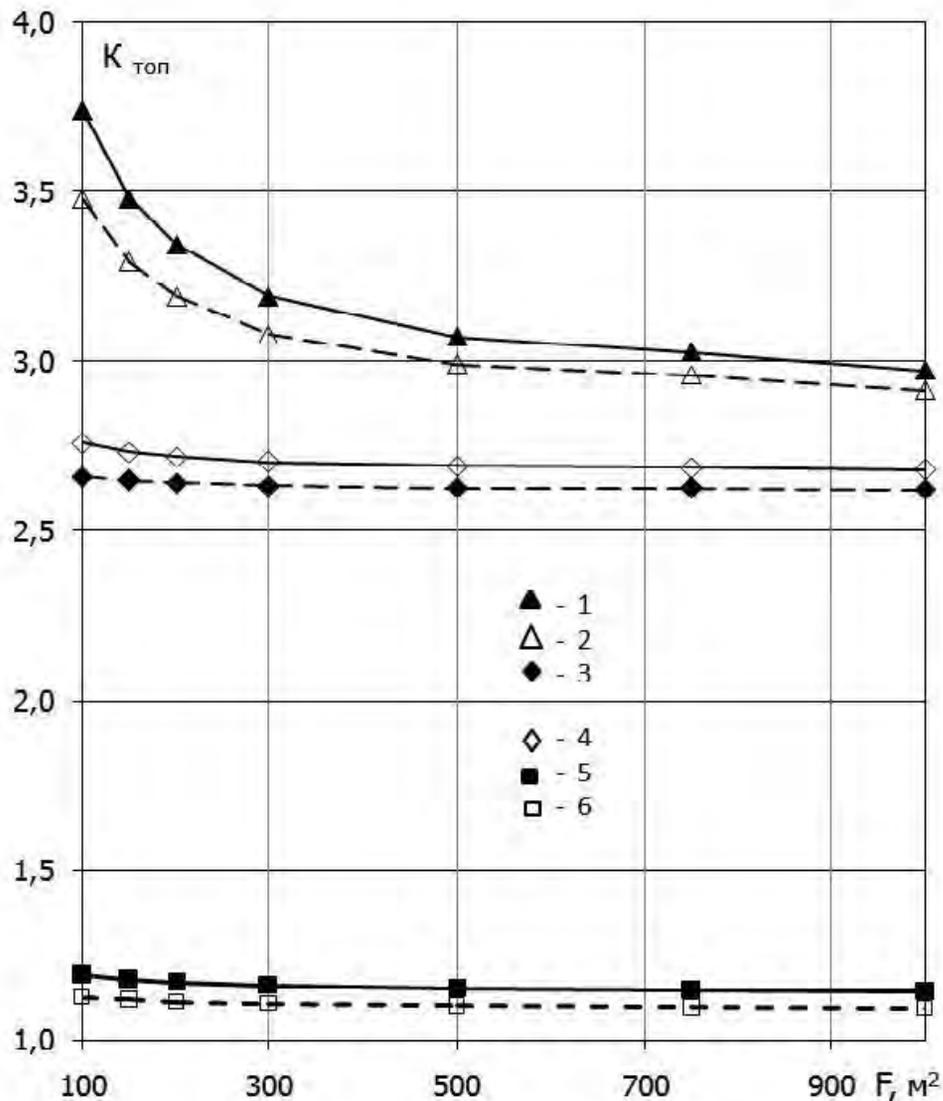


Рис. 2. Зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива $K_{\text{топ}}$ от величины отапливаемой площади F для высокотемпературной (1, 3, 5) и низкотемпературной (2, 4, 6) зоны Украины при использовании различных электрических систем отопления: 1, 2 – водяная система с электродкотлом; 3, 4 – система прямого действия; 5, 6 – напольная кабельная система аккумуляционного действия.

коэффициент $K_{\text{ТОП}}$ оказывается ниже для газопотребляющего котла, чем для электрического. При достаточно больших F имеет место противоположная картина. То есть в зависимости от величины F энергетически более эффективной является та или иная из рассматриваемых водяных систем отопления.

На рис. 2 представлены характерные результаты расчетных исследований, касающиеся электрических систем отопления прямого и аккумуляционного действия. Здесь же в целях сопоставления приведены соответствующие данные для водяной системы отопления с электрическим котлом.

Как видно из графика, во всем диапазоне изменения отапливаемой площади F значения $K_{\text{ТОП}}$ для системы с электродкотлом превышают величину $K_{\text{ТОП}}$, отвечающую электрической системе отопления прямого действия. Это обусловлено, прежде всего, двумя обстоятельствами. Во-первых, как известно, в случае систем прямого действия удельные затраты тепловой энергии $q_{\text{ЭО}}$ оказываются меньшими, главным образом ввиду отсутствия трубопроводов, являющихся одним из факторов теплопотерь. И, во-вторых, эти системы характеризуются более высокой эффективностью регулирования температуры помещений и соответственно пониженными энергетическими затратами на данное регулирование [6].

Обращает на себя внимание также тот факт, что в случае электрических систем отопления прямого действия, величина $K_{\text{ТОП}}$ с увеличением F уменьшается весьма незначительно. Здесь проявляется известная особенность данных систем, состоящая в незначительном изменении значений $q_{\text{ЭО}}$ с ростом отапливаемой площади.

Рассмотрим далее некоторые результаты исследований, касающиеся оценки энергетической эффективности электрокабельных систем напольного отопления аккумуляционного действия. В данной ситуации важнейшим фактором, обуславливающим высокую энергетическую эффективность системы теплоснабжения, является использование при осуществлении аккумуляции тепла ночного тарифа на электроэнергию. Приведенные на рис. 2 дан-

ные наглядно иллюстрируют более высокую энергетическую эффективность последней из указанных систем, что собственно и является результатом использования указанного ночного тарифа. Заметим, что удельные затраты тепловой энергии $q_{\text{ЭО}}$ для рассматриваемой системы аккумуляционного теплоснабжения оказываются, как известно, все же несколько более высокими, чем для системы прямого действия. Это связано с большими в первом случае затратами энергии на регулирование температуры помещений.

Таким образом, сопоставление данных, полученных при использовании в качестве критерия энергетической эффективности зданий величины $K_{\text{ТОП}}$, показывает, что сравниваемые электрические инженерные системы по степени уменьшения их эффективности ранжируются следующим образом:

- 1) электрические кабельные системы напольного отопления аккумуляционного действия;
- 2) электрические системы отопления прямого действия;
- 3) водяные системы отопления с теплоснабжением от пристроенных (встроенных) котельных с электродкотлом.

К тому же следует подчеркнуть, что все указанные системы являются более эффективными при значительных отапливаемых площадях здания F . При малых же величинах F более эффективными оказываются водяные системы децентрализованного теплоснабжения с газопотребляющими котлами.

Ввиду отмеченного различия зон эффективного использования рассматриваемых систем отопления представляет интерес изучение возможностей их рационального сочетания в определенных условиях.

Ниже в качестве примера применения комбинированных систем рассматривается ситуация, отвечающая водяной системе отопления с теплоснабжением от газопотребляющего и электрического котлов. Энергетическая эффективность данной системы, как очевидно, существенным образом зависит от соотношения долей тепловых затрат здания, покрываемых

за счет электронагрева и сжигания природного газа.

На рис. 3 представлены характерные результаты расчетов по определению величины $K_{\text{ТОП}}$ при варьировании доли теплопотерь здания β , компенсируемых электронагревом. Согласно приведенным данным с ростом β уменьшается число скачкообразных изменений функции $K_{\text{ТОП}}$. Так, их количество равно трем при $\beta = 0,25$, двум – при $\beta = 0,5$ и одному – при $\beta = 0,75$. Причем при увеличении β местоположение указанных скачкообразных изменений смещается в область больших значений F . Отмеченное смещение обусловлено уменьше-

нием общего годового расхода газа ввиду увеличения электрической составляющей в комбинированной системе теплоснабжения, так что граничные значения расхода газа, отвечающие его различным тарифам, достигаются при больших величинах отапливаемой площади.

Как свидетельствуют приведенные на рис. 3 данные, в условиях относительно малых площадей здания наиболее эффективным является применение водяных систем отопления с газопотребляющими котлами, а также рассматриваемой комбинированной системы при небольших величинах β . По мере возрастания отапливаемой площади для обеспечения

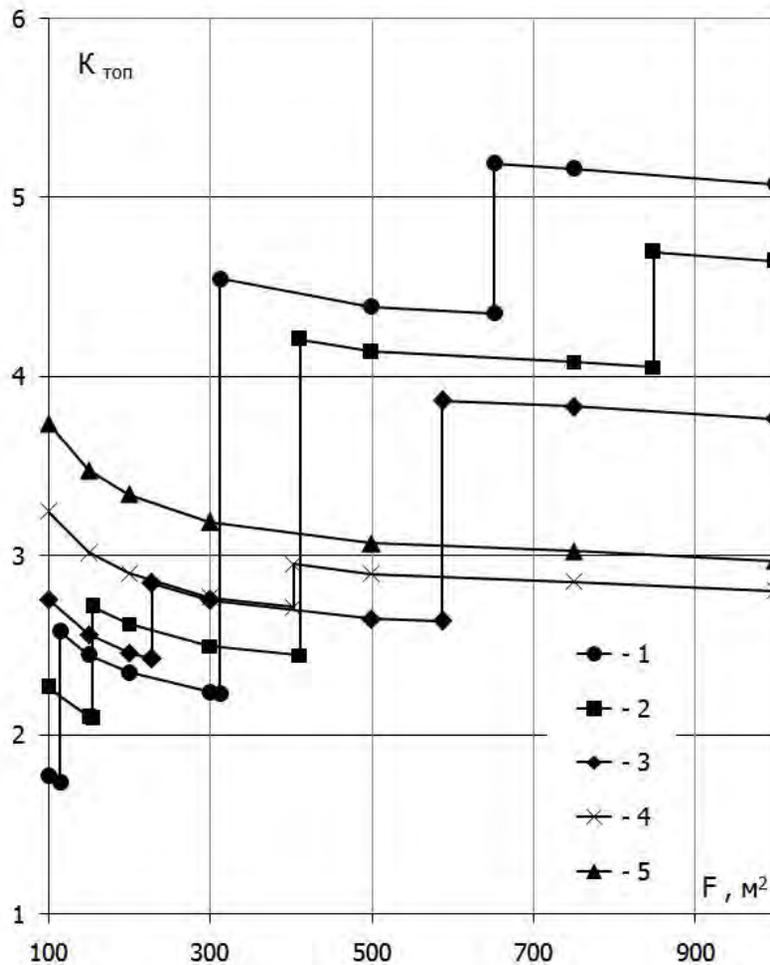


Рис. 3. Зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива $K_{\text{ТОП}}$ от величины отапливаемой площади F для комбинированной системы водяного отопления с газопотребляющим и электрическим котлами для высокотемпературной зоны Украины при различной доле теплопотерь β , покрываемых за счет электронагрева: 1 – $\beta = 0$; 2 – $\beta = 0,25$; 3 – $\beta = 0,5$; 4 – $\beta = 0,75$; 5 – $\beta = 1,0$.

высокой энергетической эффективности здания необходимо соответствующее увеличение параметра β , т.е. повышение доли электрической составляющей в комбинированной системе теплоснабжения.

Выводы

В работе представлены результаты расчетных исследований, касающиеся оценки энергетической эффективности зданий коттеджного типа в условиях применения систем децентрализованного теплоснабжения, которые базируются на водяном отоплении с теплоснабжением от газопотребляющих котлов и различных систем электрообогрева. При этом:

1. Предложена методика оценки энергетической эффективности зданий, в основу которой положен учет приведенных затрат энергии топлива. Одна из основных особенностей данной методики заключается в том, что при определении указанных затрат принимается во внимание дифференциация цен на природный газ в зависимости от объемов его годового потребления, а также двух- и трехзонные тарифы на электроэнергию.

2. На базе разработанной методики для различных температурных зон Украины выполнен сравнительный анализ эффективности водяных систем отопления с газопотребляющими и электрическими котлами, а также электрических систем прямого и аккумуляционного действия. В частности, показано, что:

- водяные системы отопления с газопотребляющими котлами оказываются более эффективными, чем рассмотренные электрические системы при сравнительно малых значениях площади здания;

- электрические системы отопления характеризуются большей энергетической эффективностью при значительных отапливаемых площадях здания;

- среди электрических систем отопления наиболее эффективной является система аккумуляционного действия.

3. Проведены исследования энергетической эффективности комбинированной водяной системы отопления с теплоснабжением от

газопотребляющего и электрического котлов. Установлены закономерности влияния величины доли теплопотерь, покрываемых за счет электронагрева, на характеристики эффективности рассматриваемой комбинированной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сеппанен О.* Европа устанавливает новые требования к энергетическим характеристикам зданий // Энергосбережение. – 2010. – № 4. – 4 с.

2. *Люке А.* Первичная энергия как критерий энергетической эффективности // Экологические системы. – 2011. – № 9. – 6 с.

3. *Широков Е.И.* Экодом нулевого энергопотребления // www.ecodom.ru

4. *Тименко С.М., Меженый С.Я., Розинський Д.Й.* Сучасний стан і перспективи розвитку систем електрообігріву в Україні (до постановки питання) // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2006. – Вип. 4. – С. 3 – 9.

5. *Использование электрической энергии в теплоснабжении* / Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В. и др. // В мат. XX межд. конференции «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. – К.: ИПЦ АЛКОН, 2010. – С. 240 – 241.

6. *Пырков В.В.* Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление. – Киев: ООО «Медиа-Макс», 2004. – 88 с.

7. *Енергоощадна технологія електротеплоаккумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України* / Під.ред. Д.Й. Розинського. – Київ: Видавництво Купріянова О.О., 2007. – 272 с.

8. *Сучасний стан і основні напрямки застосування електричної енергії для теплопостачання в Україні* / Під. ред. акад. НАНУ А.А. Долінського, к.т.н. Д.Й. Розинського. – К.: Видавництво Купріянова О.О., 2009. – 252 с.

9. *Розинський Д.Й., Тимченко М.П.* Електрокабельні системи обігрівання – підсумки та перспективи // Будівництво України. – 2005. – № 5. – С. 36 – 40.

10. *Джангиров В., Лелюшкин Н., Маслов В.*

Перспективы электроснабжения (Ч. 2) // Энергорынок. – 2010. – № 2. – 5 с.

11. Желих В.М., Фіалко Н.М. Експериментальні дослідження температурних режимів сільськогосподарських приміщень при створенні локального мікроклімату із застосуванням інфрачервоного нагріву // Пром. тепло-техника. – 2011. – № 1. – С. 70 – 74.

12. Никифорович Є.І., Литвинюк Ю.М. Перспективи використання теплових насосів для утилізації низькопотенційного тепла на прикладі ТЕЦ-5 м. Києва // Нова тема. – 2008. – № 4. – С. 13 – 16.

13. Халатов А.А., Коваленко А.С., Шевцов С.В., Франко Н.В. Вихревые теплогенераторы (термеры) проблемы и перспективы // Вісник Академії митної служби України. – сер. техн. наук. – 2009. – № 1. – С. 78 – 90.

14. Онищенко Н.Ф., Вест Д.А. Технико-экономическая оценка внедрения централизованно-управляемых теплоаккумулирующих потребителей-регуляторов в энергетике Украины. Книга 1. Общая пояснительная записка. – Киев: ООО «УКРЕНЕРГОПРОМ-2», 2006. – 77 с.

15. Die «DIN V 4701-10: 2001-02, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung».

16. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України про тарифи, диференційовані за часом доби, № 529 від 19.07.2005.

17. Постанова НКРЕ від 13.07.2010 № 812 «Про затвердження Роздрібних цін на природний газ, що використовується для потреб населення, Міжнародного дитячого центру «Артек» і Українського дитячого центру «Молода гвардія».

18. Статистичний щорічник України за 2007 рік. – Київ: Видавництво «Консультант», 2008. – 572 с.

19. Изменение № 1 СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – Приказ Госстроя Украины № 117 от 27.06.1996.

Получено 05.09.2011 г.