

УДК 662.61:621

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГАЗОПОТРЕБЛЯЮЩИХ КОТЛОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ**

**Прокопов В.Г.**

*Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина*

Наведено результати оцінки енергетичної ефективності будівель за умови застосування комбінованих систем теплоснабження з традиційним водяним опаленням та електричним опаленням прямої дії. Визначено оптимальні величини частки теплових втрат будівель, яка компенсується за рахунок електронагріву.

Приведены результаты оценки энергетической эффективности зданий при условии применения комбинированных систем теплоснабжения с традиционным водяным отоплением и электрическим отоплением прямого действия. Определены оптимальные величины доли тепловых потерь зданий, которая компенсируется за счет електронагрева.

The evaluation results of the energy efficiency of buildings, provided the use of combined heating systems with traditional water heating and direct action electric heating are submitted. Optimal quantities of heat loss share of buildings, which is compensated by electrical heating, are determined.

Библ. 7, рис. 4.

**Ключевые слова:** комбинированные системы теплоснабжения зданий, тепловые потери, эффективность.

$F$  – отапливаемая площадь здания,  $m^2$ ;  
 $K_{\text{топ}}$  – коэффициент приведенных затрат энергии топлива;  
 $q_{\text{эо}}$  – среднегодовые удельные затраты тепловой энергии для систем теплоснабжения, полученной преобразованием электрической энергии,  $kWh \cdot ch / (m^2 \cdot год)$ ;

$V_{\text{г}}$  – объем годового потребления природного газа,  $m^3/год$ ;  
 $\beta$  – доля теплотерь здания, компенсируемых электронагревом.

**Индекс:**  
 опт – оптимальный.

Одним из перспективных направлений повышения энергетической эффективности зданий является широкое применение комбинированных систем теплоснабжения, базирующихся на совместном использовании традиционных энергоресурсов и электроэнергии [1-3]. Настоящая работа посвящена исследованию энергетической эффективности зданий в условиях применения комбинированных систем теплоснабжения, в которых наряду с традиционным водяным отоплением используется электрическое отопление прямого действия. При этом особое внимание уделяется сопоставлению эффективности таких систем при различной доле теплотерь  $\beta$ , компенсируемых электронагревом. Проводится сравнительный анализ энергетической эффективности указанных инженерных систем и

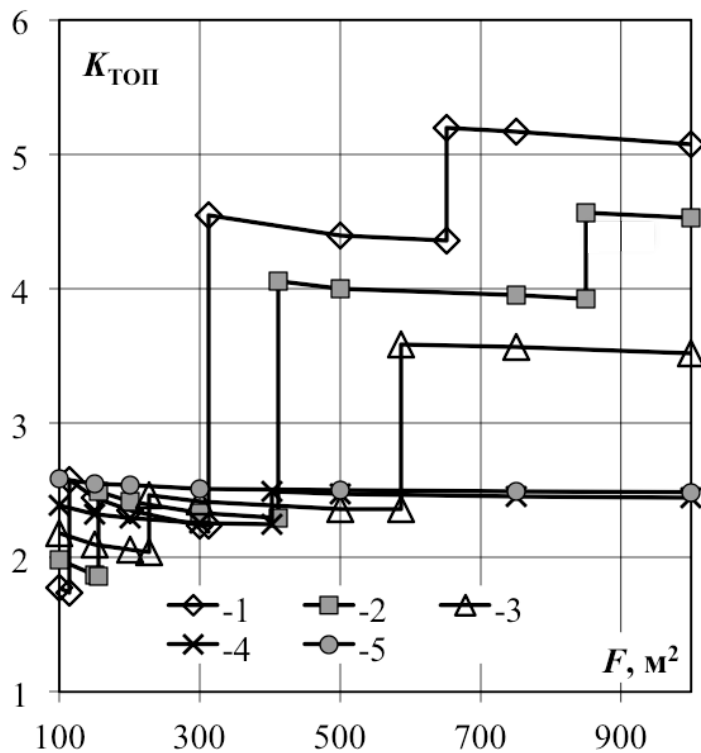
водяной системы теплоснабжения с газопотребляющим и электрическим котлами. Приводятся также результаты исследований по определению оптимального значения  $\beta$  для рассматриваемой системы комбинированного теплоснабжения.

В работе оценка энергетической эффективности систем теплоснабжения проводится на основе методики, изложенной в [4]. В данной методике в качестве критерия энергетической эффективности зданий применяется коэффициент приведенных затрат энергии топлива  $K_{\text{топ}}$ . При этом указанный коэффициент определяется 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 элек-

троэнергию, дифференцированных по времени суток [5,6]. Следует особо отметить, что в соотношении для определения  $K_{\text{ТОП}}$  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 изменение расхода первичной энергии, отвечающее различным тарифным ставкам.

Характерные результаты, выполненные на основе указанной методики исследований, представлены на рис. 1-4. Рис. 1 иллюстрирует зависимость  $K_{\text{ТОП}} = f(F)$  при различных значениях параметра  $\beta$  для рассматриваемой комбинированной системы с газопотребляющим котлом и электроотоплением прямого действия применительно ко второй (высокотемпературной) зоне Украины [7]. Согласно приведенным данным, с ростом  $\beta$  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  $\beta$  местоположение указанных скачкообразных изменений смещается в область больших значений  $F$ . Отмеченное смещение обусловлено уменьшением 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. 1 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  $\beta$ . По мере возрастания отапливаемой площади для обеспечения высокой энергетической эффективности здания необходимо соответствующее увеличение параметра  $\beta$ , т.е. повышение доли электрической состав-



**Рис. 1. Зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива  $K_{\text{ТОП}}$  от величины отапливаемой площади  $F$  зданий, расположенных во второй температурной зоне Украины, для комбинированной системы отопления – водяной с газопотребляющим котлом и электрической прямого действия при различной доле теплопотерь  $\beta$ , покрываемых за счет электроэнергии: 1 –  $\beta = 0$ ; 2 –  $0,25$ ; 3 –  $0,5$ ; 4 –  $0,75$ ; 5 – 1.**

ляющей в комбинированной системе теплоснабжения.

Сопоставление зависимостей  $K_{\text{ТОП}} = f(F)$  для рассматриваемой комбинированной инженерной системы и системы с газопотребляющим и электрическим котлами свидетельствует о следующем. Характер указанных зависимостей для двух сравниваемых комбинированных систем теплоснабжения оказывается весьма сходным. При этом, однако, имеют место некоторые количественные расхождения в значениях  $K_{\text{ТОП}}$ .

А именно, в случае комбинированной инженерной системы с прямым электронагревом величины  $K_{\text{ТОП}}$  являются несколько меньшими во

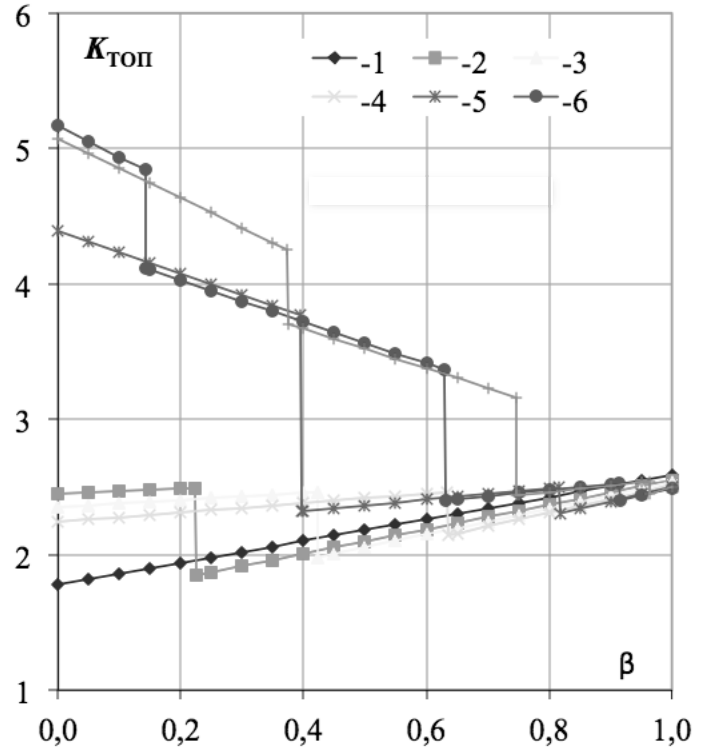
всем рассматриваемом диапазоне изменения отапливаемой площади  $F$ , что обусловлено следующими обстоятельствами. Как уже отмечалось, в случае систем прямого действия, во-первых, удельные затраты  $q_{\text{Э0}}$  оказываются меньшими, чем при использовании электрокотла, главным образом, ввиду отсутствия трубопроводов, являющихся одним из факторов теплопотерь. И во-вторых, системы прямого действия характеризуются более высокой эффективностью регулирования температуры помещений и соответственно пониженными энергетическими затратами на данное регулирование.

Оптимальные значения параметра  $\beta_{\text{ОПТ}}$  определялись из полученных расчетных зависимостей  $K_{\text{ТОП}} = f(\beta)$  при фиксированных величинах отапливаемой площади (рис. 2). Эти значения  $\beta$  отвечают наименьшему значению  $K_{\text{ТОП}}$ , т.е. наибольшей энергетической эффективности здания. Найденные оптимальные значения  $\beta_{\text{ОПТ}}$  и соответствующие им значения  $K_{\text{ТОП}}^{\text{ОПТ}}$  для различных величин отапливаемой площади  $F$  иллюстрируют данные на рис. 3.

Как видно, с ростом  $F$  доля электронагрева  $\beta$  в компенсации теплопотерь здания увеличивается от 0,225 при  $F = 150 \text{ м}^2$  до 0,92 при  $F = 750 \text{ м}^2$ . Далее наблюдается резкое падение величины  $\beta_{\text{ОПТ}}$ , обусловленное изменением годового объема потребления природного газа с  $V_{\text{Г}} = 2500 \text{ м}^3/\text{год}$  на  $V_{\text{Г}} = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$ . При этом параметр  $\beta_{\text{ОПТ}}$  принимает значение 0,63 и с дальнейшим увеличением отапливаемой площади растет до  $\beta_{\text{ОПТ}} = 0,75$  при  $F = 1000 \text{ м}^2$ .

Что касается оптимальных значений  $K_{\text{ТОП}}^{\text{ОПТ}}$  то как следует из данных на рис. 3, величина  $K_{\text{ТОП}}^{\text{ОПТ}}$  монотонно возрастает от 1,85 до 2,44 с изменением отапливаемой площади от 150 до 1000  $\text{м}^2$ . То есть в целом энергетическая эффективность рассматриваемой комбинированной системы падает по мере увеличения отапливаемой площади здания.

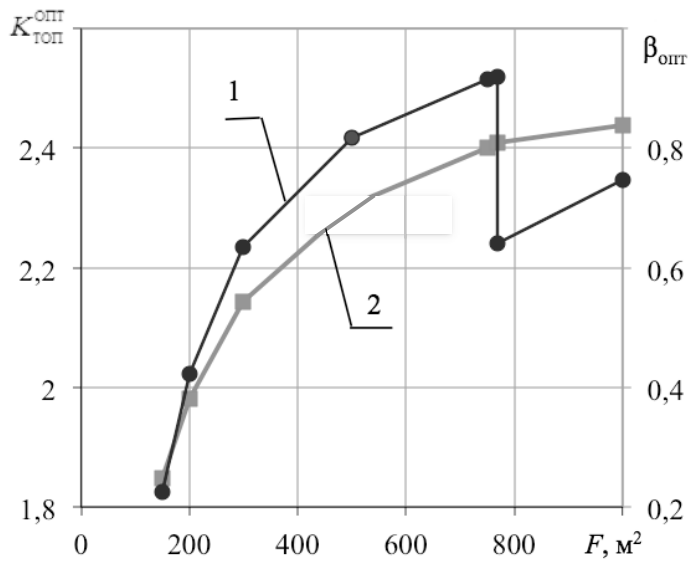
Остановимся вкратце на сопоставлении данных, отвечающих разным температурным зонам Украины. Из сравнения результатов расчетных исследований следует, что в случае первой (низкотемпературной) зоны положения скачков функции  $K_{\text{ТОП}}^{\text{ОПТ}} = f(F)$  смещаются в об-



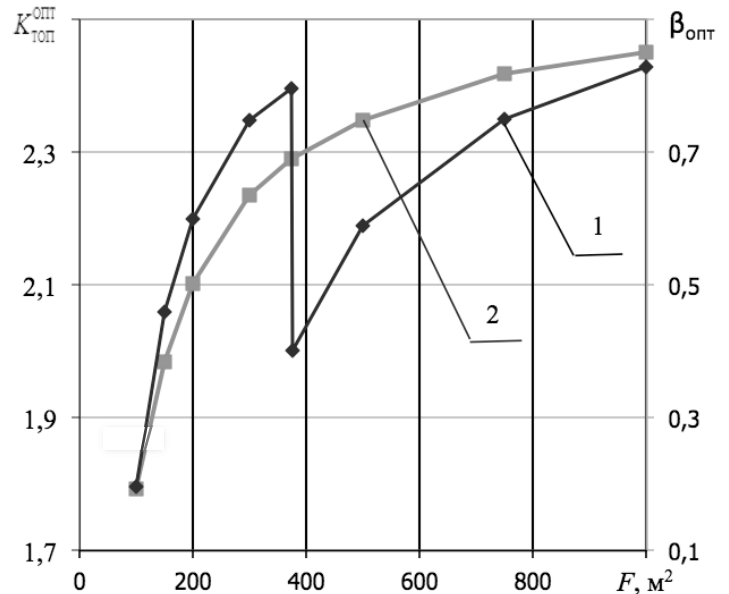
**Рис. 2. Зависимость коэффициента приведенных затрат энергии топлива  $K_{\text{ТОП}}$  от доли теплопотерь  $\beta$  в компенсации теплопотерь зданий, расположенных во второй температурной зоне Украины, для комбинированной системы отопления – водяной с газопотребляющим котлом и электрической прямого действия при различных величинах отапливаемой площади  $F$ : 1 –  $F = 100 \text{ м}^2$ ; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 300; 5 – 500; 6 – 750; 7 – 1000.**

ласть меньших значений отапливаемой площади. При этом уровень величины  $K_{\text{ТОП}}^{\text{ОПТ}}$  на сходственных отрезках монотонного изменения функции оказывается несколько ниже.

Для разных температурных зон Украины зависимости  $\beta_{\text{ОПТ}} = f(F)$  хотя и являются качественно сходными, существенно отличаются в количественном отношении. Так, в случае низкотемпературной зоны на участке, отвечающем относительно небольшим отапливаемым площадям до скачкообразного изменения  $\beta$ , значения  $\beta_{\text{ОПТ}}$  заметно превышают соответствующие значения для высокотемпературной зоны. Например, при  $F = 200 \text{ м}^2$   $\beta_{\text{ОПТ}} = 0,42$  и 0,6 соответственно для высоко-



**Рис. 3.** Оптимальные значения доли теплопотерь  $\beta_{\text{опт}}$ , покрываемых за счет электроэнергии (1), и соответствующие значения  $K_{\text{топ}}^{\text{опт}}$  (2) для различных величин отапливаемой площади  $F$  зданий, расположенных во второй температурной зоне Украины, при использовании комбинированной системы отопления – водяной с газопотребляющим котлом и электрической прямого действия.



**Рис. 4.** Оптимальные значения доли теплопотерь  $\beta_{\text{опт}}$ , покрываемых за счет электроэнергии (1), и соответствующие значения  $K_{\text{топ}}^{\text{опт}}$  (2) для различных величин отапливаемой площади  $F$  зданий, расположенных в первой температурной зоне Украины, при использовании комбинированной системы отопления – водяной с газопотребляющим котлом и электрической прямого действия.

и низкотемпературной зоны Украины. Обращает на себя внимание также тот факт, что положение скачка функции  $\beta_{\text{опт}} = f(F)$  в условиях низкотемпературной зоны существенно смещается в область меньших значений отапливаемой площади. В рассматриваемой ситуации положение указанного скачка смещается от  $F = 750 \text{ м}^2$  для высокотемпературной зоны до  $F = 380 \text{ м}^2$  для низкотемпературной зоны.

Что же касается собственно величины скачка функции  $\beta_{\text{опт}} = f(F)$ , то она возрастает от 0,29 для высокотемпературной зоны до 0,37 для низкотемпературной зоны.

Относительно значений  $K_{\text{топ}}^{\text{опт}}$ , отвечающих оптимальной величине  $\beta_{\text{опт}}$ , следует отметить, что согласно полученным данным эти значения для низкотемпературной и высокотемпературной зоны Украины отличаются незначительно. Причем в случае низкотемпературной коэффициент  $K_{\text{топ}}^{\text{опт}}$  оказывается несколько выше.

### Выводы

1. Выполнена оценка энергетической эффективности зданий в условиях применения комбинированных систем теплоснабжения с традиционным водяным отоплением и электрическим отоплением прямого действия. Представлены данные об эффективности таких систем при различной доле теплопотерь зданий, которые компенсируются электронагревом.

2. Для различных температурных зон Украины определены оптимальные значения доли, компенсируемы электронагревом теплопотерь здания, которые отвечают его наибольшей энергетической эффективности.

### ЛИТЕРАТУРА

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

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

3. *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.* – Київ: Видавництво Купріянова О.О., 2009. – 252 с.

4. *Фиалко Н.М.* Энергетическая эффективность комбинированных систем традиционно и электрического отопления зданий / Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Гнедой Н.В., Иваненко Г.В., Юр-

чук В.Л., Гнедаш Г.А. // Промышленная теплотехника. – 2011, №5. – С. 49 – 59.

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

6. *Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України «Про затвердження Роздрібних цін на природний газ, що використовується для потреб населення, Міжнародного дитячого центру «Артек» і Українського дитячого центру «Молода гвардія» № 812 від 13.07.2010.*

7. *Зміна №1 ДБН В.2.6-31: 2006.*

## ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS WITH COMBINED HEATING SYSTEMS BASED ON GAS CONSUMING BOILERS AND ELECTRICAL SYSTEMS OF DIRECT ACTION

**Prokopov V.G.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

The present work is devoted to investigation of the energy efficiency of buildings in the use of combined heating systems, which along with the traditional water heating using electric heating of direct action. Particular attention is paid to the comparison of the effectiveness of such systems at different share of heat loss, electrically compensated. A comparative analysis of the energy efficiency of these engineering systems and water heating system with gas consumption and electric boilers are submitted. The results of

studies to determine of the optimal value of heat loss for the concerned system of combined heating are presented. References 7, Fig 4.

**Key words:** combined heating systems of buildings, thermal losses, efficiency.

1. *Pyrkov V.V.* Electric cable heating system. Energy comparison. – Kiev: ООО «Media-Maks», 2004. – 88 p. (Rus.)

2. *Energy-saving technology* heat accumulative electric heating in housing and agro-industrial complex of Ukraine / Edited by D.I. Rozynsky. – Kyiv: Publishing Kupriyanov O.O., 2007. – 272 p. (Ukr.)

3. *Current status and main directions* using of electricity for heating in Ukraine / Edited by Acad. NAS of Ukraine A.A. Dolinsky and Ph.D. D.I. Rozynsky. – Kyiv: Publishing Kupriyanov O.O., 2009. – 252 p. (Ukr.)

4. *Fialko N.M.* The energy efficiency of the combined systems of traditional and electric heating of buildings Fialko N.M., Sherenkovsky

Ju.V., Prokopov V.G., Meranova N.O., Gnedoj N.V., Ivanenko G.V., Jurchuk V.L., Gnedash G.A. // Industrial heat engineering. – 2011, №5. – P. 49 – 59. (Rus.)

5. *Resolution of the National Electricity Regulatory Commission of Ukraine on tariffs, differentiated by time of day, № 529, 19.07.2005.* (Ukr.)

6. *Resolution of the National Electricity Regulatory Commission of Ukraine "On Approval retail prices for natural gas used for the needs of the population, International Children's Center" Artek " and Children's Center of Ukrainian "Young Guard ", № 812, 13.07.2010.* (Ukr.)

7. *Change № 1 to the state building codes V.2.6 – 31: 2006.* (Ukr.)

*Получено 05.12.2014*

*Received 05.12.2014*