

62. Kodeks komertsiynoho obliku elektrychnoyi enerhiyi. Proekt. Versiya 0.75 vid 31.10.2017 r. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/KKO\\_2017-11-03.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/KKO_2017-11-03.pdf).

63. ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.entsoe.eu/>.

**О.В. Коцарь**, канд.техн.наук, доц

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ УКРАИНЫ

*Обеспечение точного и достоверного учета на всех участках производства, передачи и использования электроэнергии является неотъемлемым условием успешного внедрения и эффективного функционирования либерализованных рынков электрической энергии. В статье исследовано формирование информационного обеспечения функционирования рынка электрической энергии Украины. Рассмотрены этапы построения АСКУЭ на оптовом и розничном рынках электрической энергии Украины, в частности, АСКУЭ ОРЭ, ИВК Главного оператора, АСКУЭ субъектов ОРЭ и АСКУЭ потребителей электропередающих компаний - ПРТ. Обосновано, что для успешного внедрения и эффективного функционирования либерализованного рынка электрической энергии Украины необходимо обеспечить интегрирование всех составляющих в единую полномасштабную распределенную АСКУЭ рынка электрической энергии, которая функционирует на принципах открытой архитектуры и единого нормативного обеспечения, надежно реализует точные синхронные измерения и учет электроэнергии во всех точках рынка, формирует полные, достоверные и актуальные данные коммерческого учета и обеспечивает предоставление данных учета, в т.ч. первичных, всем субъектам либерализованного рынка электрической энергии, который объединяет электроэнергетические компании и конечных потребителей для достижения стратегической цели – повышение эффективности энергоиспользования и сокращения вредного воздействия на окружающую природную среду.*

**Ключевые слова:** АСКУЭ, измерения, Главный оператор, данные коммерческого учета, электроэнергия, учет, ОРЭ, либерализация, рынок электрической энергии.

Надійшла 29.10.2017

Received 29.10.2017

УДК 621.577 + 644.652 + 697

**М.К. Безродний**, д-р техн. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0788-5011

**Н.О. Притула**, канд. техн. наук, асист., ORCID 0000-0002-3500-5165

**Т.О. Місюра**

Национальный техничний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СХЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ І СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Проаналізовано ефективність теплонасосної системи опалення з використанням попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря. Розроблено теоретичну модель цієї системи та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Встановлено, що застосування даної системи дозволяє забезпечити більш сприятливі температурні умови роботи теплового насоса в холодний період року, зменшити сумарні питомі затрати зовнішньої енергії на опалення в порівнянні з системою без підігріву. Отримано графічні залежності з зображенням оптимальних режимів роботи теплонасосної системи.*

**Ключові слова:** повітряний тепловий насос, сонячний колектор, сумарні питомі затрати зовнішньої енергії, низькотемпературна система опалення.

© М.К. Безродний, Н.О. Притула, Т.О. Місюра, 2017

ISSN 2308-7382 (Online)

**Вступ.** Безперервний технологічний прогрес, який ми можемо спостерігати у світі, є досить енергоємним процесом, левова частка енергії, що споживається різними галузями щорічно, отримується в результаті використання невідновлюваних джерел, тобто корисних копалин, запасів яких може вистачити лише на декілька сотень років. Тому останніми роками актуальним питанням у теплоенергетичній сфері стало знаходження шляхів, які б змогли зменшити навантаження на традиційні установки.

Пошуками ефективних альтернативних джерел енергії займаються усі провідні країни світу. Деякі з них, такі як країни Скандинавії, впроваджують на законодавчому рівні проекти, що спонукають громадян використовувати енергозберігаючі заходи. Уряд спеціально виділяє для цього кошти на основні капіталовкладення, необхідні для переходу до нетрадиційних енергосистем.

Найбільш поширеними серед даних енергосистем є теплонасосні схеми опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, які як нижнє джерело теплоти утилізують теплоту ґрунту, ґрунтових вод або атмосферного повітря. Останній вид джерела теплоти набув особливо широкого застосування, насамперед, через низькі капіталовкладення в порівнянні з іншими джерелами енергії. Необмеженість та доступність атмосферного повітря робить повітряні теплові насоси (ТН) також більш привабливими для рядового споживача. Проте значним недоліком даних установок є втрата потужності та ефективності із зниженням температури повітря [1].

Для України температурний потенціал атмосферного повітря є недостатнім для ефективного використання теплонасосної системи для цілей опалення протягом холодного періоду року. Для м. Києва, наприклад, розрахункова температура на опалення становить  $-22^{\circ}\text{C}$ . Деякі виробники теплонасосного обладнання припускають нормальну роботу своєї продукції за температур зовнішнього повітря до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Проте в даних умовах роботи коефіцієнти трансформації та використання первинної енергії палива зазвичай знаходяться нижче значень, які прийняті для енергоефективної системи. Тому виникає задача розробки і дослідження комбінованих теплонасосних систем з використанням додаткових джерел теплоти для забезпечення роботи повітряних ТН протягом усього опалювального періоду.

Одним із таких джерел є енергія сонячного випромінювання, яка за сонячної погоди здатна забезпечувати взимку температуру води в сонячних вакуумних колекторах (СК) до  $20 - 30^{\circ}\text{C}$  [2]. Нині великою популярністю користуються схеми, в яких ТН поєднуються із СК різних конструкцій для забезпечення низькотемпературного водяного опалення та гарячого водопостачання. Але, на жаль, в Україні зими, в основному, з великою хмарністю і тому на Сонце можна покладатись лише в демісезон (весна-осінь). Проте сонячна енергія може бути додатковим джерелом для підігрівання низькотемпературного теплоносія перед випарником ТН [3]. У зв'язку з цим авторами запропонована та проаналізована принципова схема теплонасосної системи опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря.

#### **Мета та завдання**

Метою статті є аналіз ефективності теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної радіації.

#### **Опис роботи схеми**

На рис. 1 зображена принципова схема теплонасосної системи опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря. Принцип роботи схеми: теплоносій СК (наприклад, 35%-ний водний розчин пропиленгліколю) проходить через змійовик контактного теплообмінника (КТО), віддаючи теплоту сонячної радіації воді, яка циркулює у даному апараті. За допомогою вентилятора у КТО подається атмосферне повітря з температурою  $t_0$  та масовою витратою  $G_{\text{п}}$ . Вода, що циркулює в теплообміннику, розпилюється за допомогою форсунок у його верхній частині і підігріває повітря до температури  $t_1$ . Підігріте атмосферне повітря надходить до випарника ТН, де воно охолоджується і на виході має температуру  $t_{\text{в}}$ . Для компенсації витрат теплоти на опалення використовується тепловий потік від компресора ТН  $Q_{\text{оп}}$  з температурою теплоносія  $t_{\text{к}}$  на вході в систему опалення.



де  $G_{\text{п}}$  – масова витрата атмосферного повітря на випарник ТН, кг/с;  $c_p$  – ізобарна теплоємність повітря, кДж/(кг·°С);  $t_1, t_b$  – температури повітря на вході та виході з випарника ТН відповідно, °С.

Тоді, із системи рівнянь (1) – (2) з урахуванням (3), (4) і (5) можемо отримати вирази для  $t_1$  і  $Q_c$ , які мають вигляд:

$$t_1 = t_0 + \frac{A}{\eta} + \frac{Q_c}{Q_{\text{оп}}} \frac{\varphi}{\varphi - 1} \Delta t, \quad (6)$$

$$\frac{Q_c}{Q_{\text{оп}}} = \frac{(t_1 - t_0) \varphi - 1}{\Delta t} - \frac{A \varphi - 1}{\eta \varphi} \frac{1}{\Delta t}, \quad (7)$$

де  $\Delta t = t_1 - t_b$  – різниця температур повітря на вході і виході з випарника ТН, °С;  $A = \Delta p / (\rho_{\text{п}} c_p)$  – комплекс постійних величин, що залежить від аеродинамічного опору випарника.

Різниця температур  $\Delta t$  в формулах (6) і (7) на вході і виході з випарника ТН може бути прийнята рівною оптимальному значенню, яке при врахуванні роботи компресора і вентилятора згідно з роботою [2] визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{A(273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}})}{\eta_{\text{в}} \eta_{\text{пр}}}} \left[ \eta_{\text{ТН}} - 1 + \frac{273 + t_1 - \Delta t_{\text{вип}}}{273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}}} \right] \quad (8)$$

і слабо залежить від температури на вході до випарника ТН [2].  
Коефіцієнт трансформації теплоти ТН визначається як

$$\varphi = \varphi_{\text{Т}} \eta_{\text{ТН}}, \quad (9)$$

де  $\eta_{\text{ТН}}$  – коефіцієнт, що враховує реальні процеси, що здійснюються робочим тілом у ТН, який згідно з рядом джерел може змінюватись в діапазоні 0,6...0,8 (приймаємо  $\eta_{\text{ТН}} = 0,6$ ) [4, 5];  $\varphi_{\text{Т}}$  – теоретичний коефіцієнт трансформації ТН.

Коефіцієнт трансформації теплоти ідеального циклу Карно  $\varphi_{\text{Т}}$  з урахуванням теплових необоротностей у випарнику та конденсаторі ТН визначається за співвідношенням

$$\varphi_{\text{Т}} = \frac{T_{\text{к}}^{\text{ТН}}}{T_{\text{к}}^{\text{ТН}} - T_{\text{в}}^{\text{ТН}}} = \frac{273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}}}{t_{\text{к}} - t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{в}}}, \quad (10)$$

де  $T_{\text{в}}^{\text{ТН}}$  – абсолютна температура випаровування холодильного агента у випарнику ТН, К;  $T_{\text{к}}^{\text{ТН}}$  – абсолютна температура конденсації холодильного агента в конденсаторі ТН, К;  $t_{\text{в}}$  – температура відпрацьованого повітря на виході з випарника ТН, °С;  $t_{\text{к}}$  – температура води на виході з конденсатора ТН, °С;  $\Delta t_{\text{в}}$  – температурний перепад між потоками відпрацьованого повітря й холодильного агента на виході з випарника ТН, °С;  $\Delta t_{\text{к}}$  – температурний перепад між потоками холодильного агента і гріючого теплоносія в системі опалення на виході з конденсатора ТН, °С. У літературі наводяться числові значення температурних перепадів у конденсаторі і випарнику для ТН типу «повітря – вода». Згідно з [4] для конденсатора ТН можна прийняти  $\Delta t_{\text{к}} = 5^\circ\text{С}$ , для випарника –  $\Delta t_{\text{в}} = 10^\circ\text{С}$ .

Температура теплоносія, що подається в систему опалення, визначається за співвідношенням [6]

$$t_{\text{к}} = t_{\text{п}} + (t_{\text{Т}}^{\text{п}} - t_{\text{п}}) \left[ \frac{(t_{\text{п}} - t_0)}{(t_{\text{п}} - t_0^{\text{п}})} \right]^{1+n}, \quad (11)$$

де  $t_{\text{п}}$  – температура повітря у приміщенні, становить  $20^\circ\text{С}$ ;  $t_0$  – температура навколишнього атмосферного повітря;  $t_{\text{Т}}^{\text{п}}$  – розрахункова температура гріючого теплоносія в системі опалення за розрахункової температури атмосферного повітря  $t_0^{\text{п}}$  (у даних розрахунках ця температура складає

-22°C);  $n = 0$  для низькотемпературних систем опалення. Розрахункова температура теплоносія в системі опалення приймається  $t_T^p = 45$  °C.

Важливим параметром при визначенні коефіцієнта трансформації ТН є температура повітря на виході з випарника, що визначається як

$$t_B = t_1 - \Delta t_{\text{опт}} \quad (12)$$

Саме ця температура, буде визначати ефективність роботи ТН за прийнятих умов. Тому, визначення мінімального значення цієї температури має принципове значення. В умовах використання додаткового джерела енергії для подальших розрахунках ми можемо прийняти, що мінімальне значення  $t_B$  знаходиться на рівні розрахункової температури зовнішнього повітря  $t_0^p$ . При цьому теплота атмосферного повітря не буде використовуватись, а необхідна витрата теплоти в випарнику ТН буде повністю покриватись за рахунок сонячної енергії. Тоді, із (12) випливає, що відповідна температура повітря на вході до випарника ТН буде мати граничне значення

$$t_1^{\Gamma P} = t_0^p + \Delta t_{\text{опт}}, \quad (13)$$

яке дозволить за формулою (7) визначити відповідну максимальну відносну потужність СК. Слід зазначити, що мінімальне значення температури  $t_B$  може бути прийняте на більш високому рівні, але це потягне за собою, у відповідності з (13), підвищення температури  $t_1^{\Gamma P}$  і, як наслідок, збільшення необхідної відносної потужності СК.

При підвищенні температури атмосферного повітря температура  $t_1$  на вході у випарник буде визначатись за рівнянням (5) в залежності від відношення  $Q_c / Q_{\text{оп}}$ , яке не буде залежати від атмосферних умов, оскільки тепловий потік, що відводиться в теплообміннику повітрям  $Q_c$  буде зменшуватись приблизно пропорційно зменшенню витрат теплоти на опалення внаслідок зменшення температурного напору між теплоносіями в теплообміннику.

Важливою характеристикою комбінованої теплонасосної установки є також аналіз відносного вкладу окремих нижніх джерел енергії в загальну витрату теплоти на опалення. При цьому вклад сонячної складової визначається рівнянням (6), а вклад теплоти атмосферного повітря може бути визначений із рівняння теплового балансу ТН, яке можна записати у вигляді

$$Q_{\text{п}} + Q_c + L_B + L_K = Q_{\text{оп}}, \quad (14)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – тепловий потік, що вноситься із атмосферним повітрям, кВт.

Розділивши ліву та праву частини рівняння (14) на  $Q_{\text{оп}}$ , з урахування співвідношень (3) і (4), отримаємо

$$\beta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{оп}}} = \frac{\varphi - 1}{\varphi} - k - \frac{\varphi - 1}{\varphi} \frac{A}{\eta \Delta t_{\text{опт}}}, \quad (15)$$

де  $k = Q_c / Q_{\text{оп}}$  – доля сонячної енергії в покритті загальних потреб теплоти на опалення.

Ефективність роботи теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з урахуванням затрат енергії на привід компресора ТН і вентилятора, що нагнітає повітря у випарник ТН, можна охарактеризувати величиною питомих затрат зовнішньої енергії на опалення, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення

$$l_{\text{оп}} = \frac{L_K + L_B}{Q_{\text{оп}}}. \quad (16)$$

З урахуванням (3), (4), (5) після ряду математичних перетворень рівняння (16) для оцінки сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на теплонасосну систему опалення буде мати вигляд

$$l_{\text{оп}} = \frac{1}{\varphi} \left[ 1 + \frac{A}{\eta} \cdot \frac{(\varphi - 1)}{\Delta t_{\text{опт}}} \right]. \quad (17)$$

#### Розрахунковий аналіз схеми

Метою чисельного аналізу був вибір відносної теплової потужності системи СК, що забезпечує витрату теплоти на опалення в найбільш холодний період, тобто при розрахунковій температурі атмосферного повітря, а також інших параметрів теплонасосної схеми, що характеризують ефективність її роботи.

Залежність відносної теплової потужності системи СК від температури повітря  $t_1$  на вході до випарника ТН розрахована за формулою (6) і наведена на рис. 2. На цьому рисунку штриховими лініями відмічені граничні значення температури  $t_1^{ГР}$ , розраховані за формулою (13) і відповідні їм максимальні значення відносної потужності СК за різних значень комплексу  $A$ . Ці максимальні значення відношення  $Q_c/Q_{оп}$  слабо залежать від величини  $A$  і знаходяться в діапазоні  $Q_c/Q_{оп} = 0,517...0,557$ . Це означає, що при такій відносній потужності СК, вони повністю забезпечують потреби теплоти на опалення в розрахунковий період.

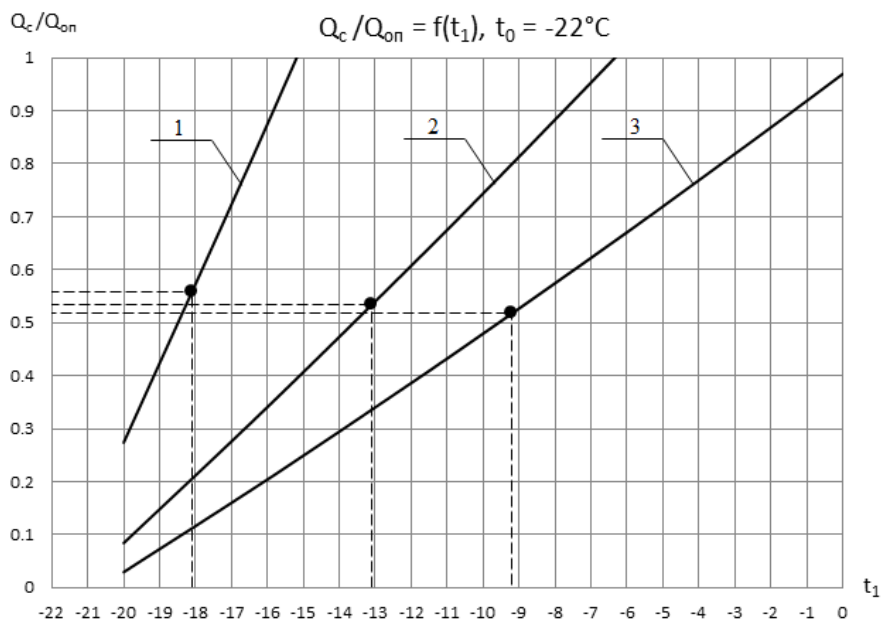
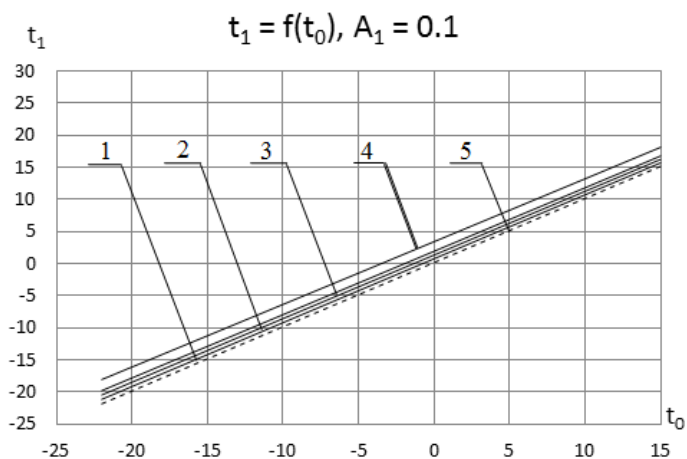


Рисунок 2 – Залежності відношення теплового навантаження СК до потоку теплоти на опалення від температури повітря на вході до випарника ТН: 1-3 –  $A = 0,1; 0,5; 1,0$ .

На рис. 3, а-в показана залежність температури повітря на вході до випарника від температури зовнішнього повітря при різних значеннях відношення  $k = Q_c/Q_{оп}$ . Штрихові лінії на графіках відповідають значенню  $k = 0$ , тобто випадку за відсутності СК і тоді  $t_1 = t_0$ . З графіків видно, що підігрів повітря за рахунок сонячної енергії за прийнятої потужності СК призводить до більш суттєвого підвищення температури  $t_1$  при великих значеннях комплексу  $A$ , тобто при великих значеннях аеродинамічного опору випарника ТН (рис. 3в).



а)

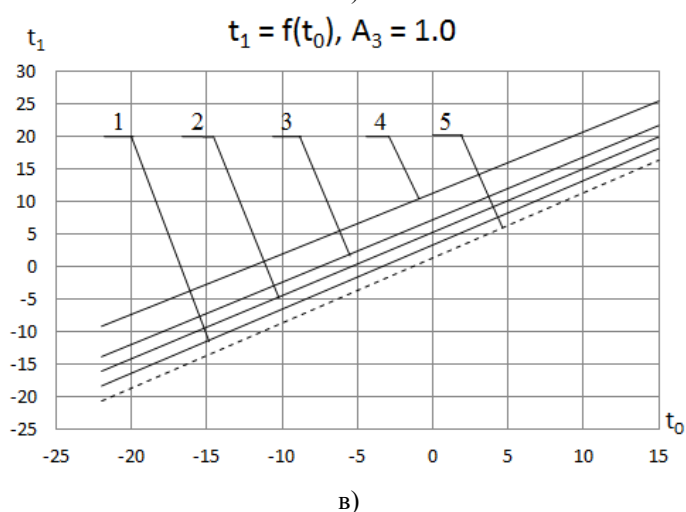
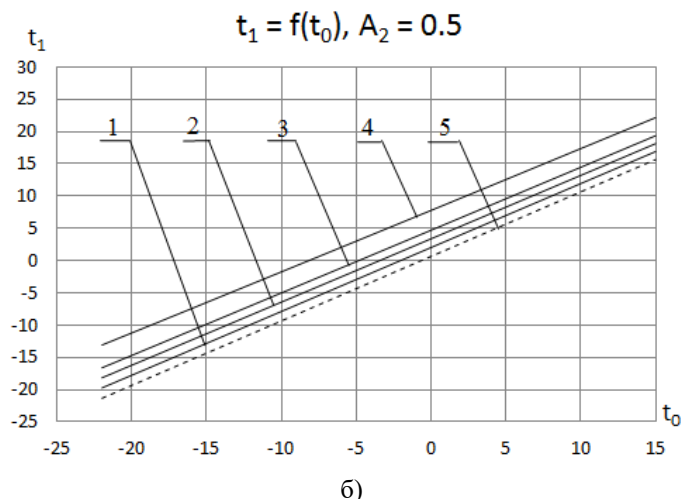


Рисунок 3 – Залежності температури повітря на вході до випарника ТН від температури атмосферного повітря: а), б), в) –  $A = 0,1; 0,5; 1,0$  відповідно; 1-3 –  $k = 0,1; 0,2; 0,3$ ; 4 –  $k_{кр} = 0,557$  (а);  $0,533$  (б);  $0,517$  (в); 5 –  $k = 0$ .

На рис. 4, а-в наведені графічні залежності відношення теплового потоку, отриманого за рахунок використання теплоти атмосферного повітря, до загальної витрати теплоти на опалення від температури атмосферного повітря  $\beta = f(t_0)$ , з яких видно, що коефіцієнт  $\beta$  зменшується зі збільшенням коефіцієнтів  $k$  та  $A$  і збільшується при підвищенні температури атмосферного повітря. Усе поле на графіках для коефіцієнта  $\beta$  нанесені криві ділять на три області: нижче кривих – область, що відповідає частці теплоти зовнішнього повітря в загальних потребах теплоти на опалення; між суцільними кривими та штрихованою лінією – частка сонячної енергії; вище штрихованої лінії – частка енергозатрат на привід компресора ТН і вентилятора. Видно, що за критичних значень коефіцієнтів  $k$  (криві 4) та розрахункового значення температури атмосферного повітря  $t_0^p$  величина  $\beta = 0$ , тобто теплота зовнішнього повітря в ТН не використовується.

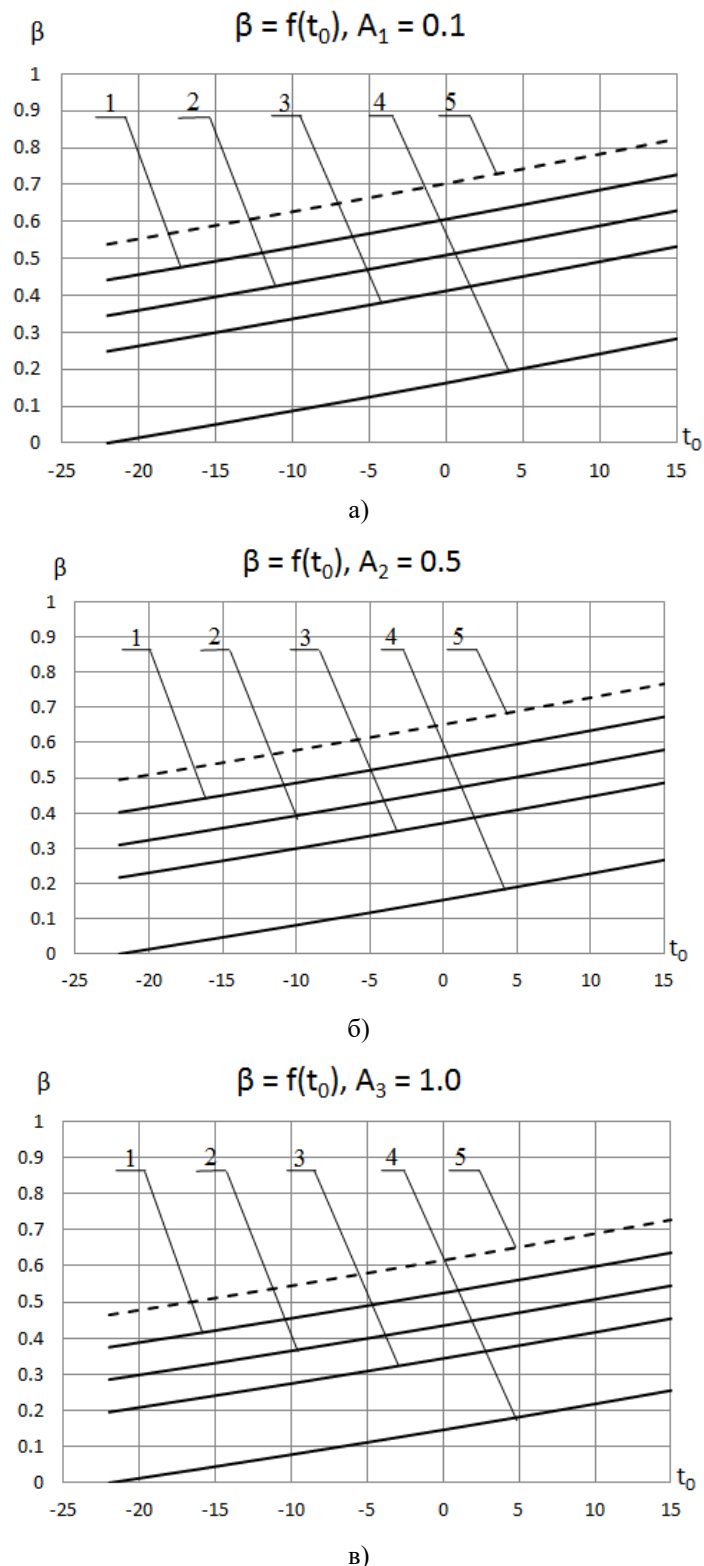


Рисунок 4 – Залежності відношення теплового потоку, що вноситься із атмосферним повітрям, до загальної витрати теплоти на опалення від температури атмосферного повітря: а), б), в) –  $A = 0,1; 0,5; 1,0$  відповідно; 1-3 –  $k = 0,1; 0,2; 0,3$ ; 4 –  $k_{кр} = 0,557$  (а);  $0,533$  (б);  $0,517$  (в); 5 –  $k = 0$ .

На основі числового аналізу співвідношення (16) побудовано графічні залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури атмосферного повітря (рис. 5, а-в). Видно, що питомі затрати зменшуються з підвищенням температури навколишнього повітря та зі зростанням коефіцієнту  $k$ . При



збільшенні аеродинамічного опору випарника ТН (при зростанні  $A$ ) питомі затрати, навпаки, збільшуються. Але перевага використання досліджуваної схеми порівняно з вихідною проявляється саме за високих значень коефіцієнта  $A$ . При значенні  $A = 0,1$  ця перевага стає мінімальною.

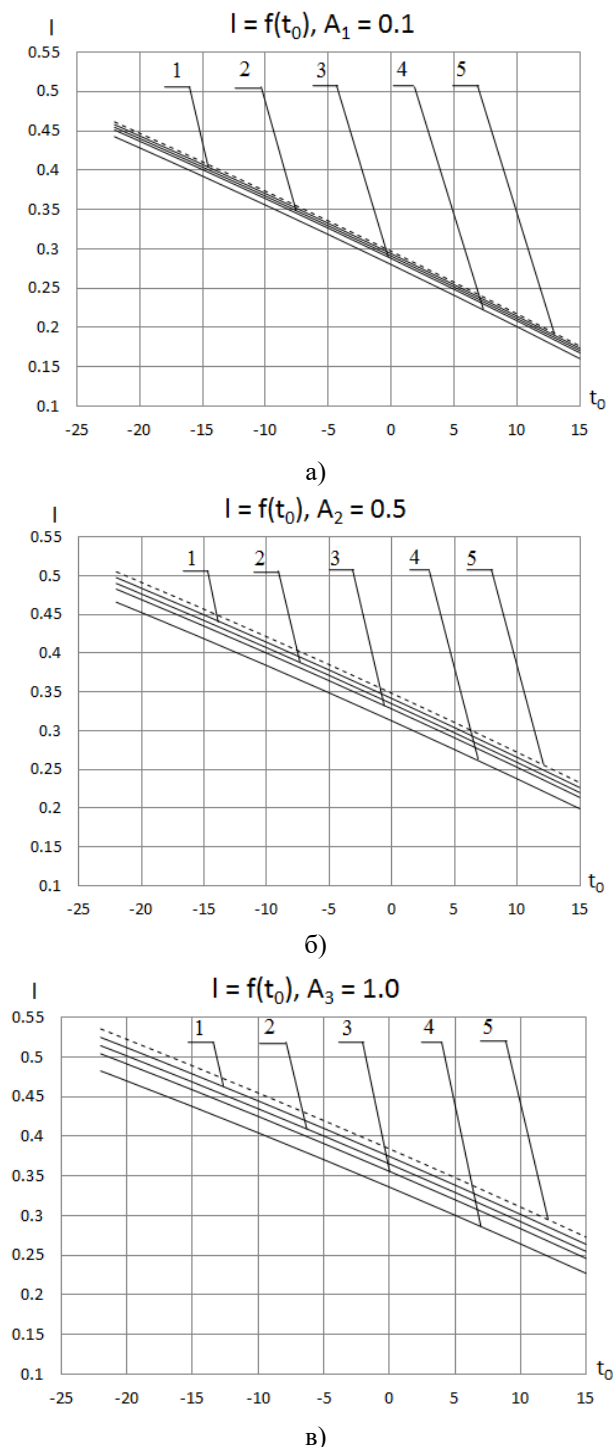


Рисунок 5 – Залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури атмосферного повітря: а), б), в) –  $A = 0,1; 0,5; 1,0$  відповідно; 1-3 –  $k = 0,1; 0,2; 0,3$ ; 4 –  $k_{кр} = 0,557$  (а);  $0,533$  (б);  $0,517$  (в); 5 –  $k = 0$ .

#### Висновки

1. Використання теплоти підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря дозволяє забезпечити більш сприятливі температурні умови роботи ТН в холодний період року, підвищуючи температуру повітря на вході та виході з випарника.

2. Комбіноване використання теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії в повітряних теплових насосах дає можливість забезпечити потреби теплоти на опалення при значному зменшенні необхідної теплової потужності або площі сонячних колекторів.

3. Наведена методика розрахунку дає змогу оцінити необхідну потужність сонячних колекторів за різних розрахункових температур атмосферного повітря.

4. Використання сонячної радіації як додаткового джерела теплоти для повітряних ТН в загальному випадку призводить до суттєвого зниження затрат зовнішньої енергії на вироблення теплоти в низькотемпературних теплонасосних системах опалення.

#### **Список використаної літератури**

1. Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами [Текст] / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.

2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Пritула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с.

3. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.

4. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов [Текст] / Т. В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.

5. Steward F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward // Energy Conversion Mgmt. – 1984. Vol. 24 – № 2. – С. 123–129.

6. Шубин Е. П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов [Текст] / Е. П. Шубин. – М: Энергия, 1979. – 359 с.

**M. Bezrodny**, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID**: 0000-0002-0788-5011

**N. Prytula**, Cand. Sc. (Eng.), TF, **ORCID**: 0000-0002-3500-5165

**T. Misiura**

**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE HEAT PUMP HEATING SCHEME USING THE HEAT OF ATMOSPHERIC AIR AND SOLAR ENERGY**

*In this article the efficiency of a heat pump low-temperature water heating system using the preheated with solar radiation atmospheric air is analysed. A theoretical model of the system has been developed and a numerical analysis of its thermodynamic efficiency was conducted. The purpose of numerical analysis was to obtain values of solar collector specific thermal power which would be optimal to provide enough heat for the heating system during the coldest period, i.e. at rated temperature of atmospheric air, as well as other parameters of the heat pump scheme which characterise the efficiency of its operation. It was found that the use of this system makes it possible to provide more favourable temperature conditions for the operation of a heat pump in the cold period of year, to reduce total specific costs of external energy for heating in comparison with the system without preheating of atmospheric air. Graphic dependencies were obtained with the image of optimal operating conditions of the heat pump system.*

**Key words:** air heat pump, solar collector, total specific costs of external energy, low-temperature heating system

#### **References**

1. Gershkovich, V. F. (2009). Features of the design of heating systems of buildings with heat pumps. Kyiv, Ukraine: Ukrainian Academy of Architecture "Energominimum", 60 p.

2. Bezrodny M.K. Thermodynamic and energy efficiency of heat pump heat supply circuits: monograph / M.K. Bezrodny, N.O. Pritula - Kyiv: NTUU "KPI" View "Polytechnic", 2016. - 272 p.

3. Bezrodny M. K., Pukhovy I. I., Kutra D. S. Heat pumps and their use. Kyiv, NTUU «KPI» Publ., 2013. 312 p.

4. Morozjuk, T. V. (2006). The theory of chillers and heat pumps. Odessa, Ukraine: Studija «Negoci-ant», 712 p.

5. Steward, F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward // Energy Conversion Mgmt. – 1984. Vol. 24 – № 2. – pp. 123–129.

6. Shubin, E. P. (1979). The main issues of cities' heating systems designing. Moscow, USSR: Jenergija, 359 p.

УДК 621.316

**М.К. Безродный**, д-р техн. наук, проф., ORCID: 0000-0002-0788-5011

**Н.А. Притула**, канд. техн. наук, асис., ORCID: 0000-0002-3500-5165

**Т.А. Мисюра**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СХЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ АТМОСФЕРНО-ГО ВОЗДУХА И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

*Проанализирована эффективность теплонасосной системы отопления с использованием предварительно подогретого за счёт солнечной радиации атмосферного воздуха. Разработана теоретическая модель этой системы, и выполнен числовой анализ её термодинамической эффективности. Установлено, что использование данной системы позволяет обеспечить более благоприятные температурные условия работы ТН в холодный период года, уменьшить суммарные удельные затраты внешней энергии на отопление в сравнении с системой без подогрева. Получены графические зависимости с изображением оптимальных режимов работы теплонасосной системы.*

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, солнечный коллектор, суммарные удельные затраты внешней энергии, низкотемпературная система отопления.

Надійшла 02.10.2017

Received 02.10.2017

УДК 536.24

**Ю.Е. Николаенко**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр., ORCID 0000-0002-3036-5305

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Б.И. Басок**, член-корреспондент НАН Украины, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-8935-4248

**Институт технической теплофизики НАН Украины**

**Д.В. Козак**, аспирант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

*Проблема энергосбережения является актуальной как для Украины, так и для других стран мира. От 19 до 22 % вырабатываемой в мире электроэнергии расходуется на освещение, значительная часть которой идет на внутреннее освещение помещений жилищного фонда и объектов социально-культурного назначения. В статье предложены новые схемы энергоэффективных светодиодных осветительных приборов с тепловыми трубами для использования их в энергоэффективных зданиях с минимальным потреблением электроэнергии. Экспериментально исследованы зависимости термического сопротивления тепловых труб от мощности светодиодных модулей. Исследовано влияние материала тепловых труб, типа капиллярной структуры и вида теплоносителей на термическое сопротивление тепловых труб. Показано, что для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодных осветительных приборов наиболее рациональными вариантами являются конструкции медных и алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой, как более технологичные по сравнению с тепловыми трубами, имеющими другие типы капиллярных структур. Рекомендованными теплоносителями для медных тепловых труб являются этанол и хладон 141b, для алюминиевых тепловых труб – n-пентан и хладон 141b.*

**Ключевые слова:** тепловая труба, термическое сопротивление, светодиодный осветительный прибор, энергоэффективное здание.