

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-70-2-7>

УДК 681.513.5

Сергій ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2523>

e-mail: [horiaschenko@khmnu.edu.ua](mailto:horiaschenko@khmnu.edu.ua)

Костянтин ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7034-8702>

e-mail: [kostyakst@ukr.net](mailto:kostyakst@ukr.net)

Георгій ДРАПАК

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4908-0887>

e-mail: [g\\_drapak@i.ua](mailto:g_drapak@i.ua)

Василь НЕЗДОРОВІН

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3592-4548>

e-mail: [nezdorovin@ghmnu.edu.ua](mailto:nezdorovin@ghmnu.edu.ua)

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

У статті представлено моделювання роботи теплоакумулятора при перетворенні електричної енергії в теплову, які мають кращі показники. Перспективним в цьому плані є застосування автономних теплоакумуляючих електронагрівальних приладів, які акумулюють енергію вночі по пільговим тарифам та віддають її протягом дня. Це пов'язано з тим, що постійне збільшення ціни за теплопостачання залежить від ціни на природний газ. В таких умовах електроопалення з використанням низьких нічних тарифів з неефективного стає економічно вигідним і конкурентоспроможним порівняно з іншими видами індивідуального опалення. Проведена оцінка динаміки систем опалення з точки зору ефективності використання теплової енергії та рівня підтримки теплового комфорту в опалювальних приміщеннях у широкому діапазоні показала варіанти технічних рішень ефективного розподілу теплової енергії та забезпечення кращих умов теплового комфорту в опалювальних приміщеннях. Отримана модель може бути корисна для інженерних розрахунків теплоакумуляючих систем з електричною системою опалення

Ключові слова: опалення, динаміка, котел, теплоакумулятор.

Serhiy HORIASHCHENKO, Kostyantyn HORIASHCHENKO,

Georgii DRAPAK, Vasyl NEZDOROVIN

Khmelnytskyi National University

## MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF A HEAT STORAGE SYSTEM

The article presents a model of the operation of a thermal accumulator during the transformation of electrical energy into thermal energy, which may be the best indicators. Prospective in this plan is the installation of autonomous heat-accumulating electric heating appliances, which accumulate energy at night at low tariffs and last through the day. Why is it due to the fact that there will be a permanent reduction in the price for heat supply to deposit in the price of natural gas. In such minds, electric scorching with low nightly tariffs is not efficient, economically viable and competitively equal to other types of individual scorching.

For solving problems of non-stationary and stationary heat conduction with boundary minds of the third kind, it is necessary to know the heat transfer coefficient  $\alpha$ . Krim tsyogo in deyakih vipadkah vinikae nebhidnist i in designated temperature watering in pototsi idini abo gas. Distinguish convective heat exchange during temporal and during free flow. At the first moment, the flow is rushed to the floor by pumps, fans, compressors, etc. In the other, there is a fluctuation of ruh ridini or gas vinikae bil surfacing warm or cold body, the middle  $T_f$  and the surface of the body  $T_W$ . I in case of vibration, and in case of free convection, laminar, transitional and turbulent flow modes are distinguished

An assessment of the dynamics of scorching systems from the point of view of the efficiency of heat energy and the improvement of thermal comfort in scorching areas in a wide range has been carried out, it has shown options for technical solutions for effective distribution of heat energy and for ensuring the safety of heating in reducing comfort. Otriman's model can be adapted for engineering designs of heat-accumulating systems with an electrical scorching system

Key words: scorching, dynamics, boiler, heat accumulator

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В основі роботи опалювальної теплоакумуляційної системи [1,2,3,4] лежить принцип накопичення тепла в теплових акумуляторах, які нагріваються від електричної енергії. Накопичивши тепло теплові акумулятори не споживаючи електроенергію віддають тепло в приміщення, таким чином опалюють його, за рахунок цього і досягається значна економія електроенергії.

Розвиток сучасних технологій в галузі перетворення електричної енергії в теплову, які мають кращі показники в теплоакумуляційному забезпеченні споживачів сприяв широкому впровадженню таких систем

як теплові насоси і теплові генератори в усіх індустріально розвинутих країнах, що спонукає до пошуку шляхів більш широкого їх застосування і в Україні [5]. Перспективним в цьому плані є застосування автономних теплоакumuлюючих електронагрівальних приладів, які акумулюють енергію вночі по пільговим тарифам та віддають її протягом дня. Це пов'язано з тим, що постійне збільшення ціни за теплопостачання залежить від ціни на природний газ. В таких умовах електроопалення з використанням низьких нічних тарифів з неефективного стає економічно вигідним і конкурентоспроможним порівняно з іншими видами індивідуального опалення [6, 8, 9].

Розглянемо елементарну область теплообмінника, з урахуванням [6, 7, 10] при нестационарному температурному режимі роботи. Нехай гарячий теплоносій також знаходиться в трубному просторі і його характеристики мають індекс 1. Також зберігаються всі інші позначення, прийняті при моделюванні стаціонарного режиму. При нестационарному температурному режимі витрати теплоносіїв і їх початкові температури можуть залишатися постійними або змінюватися в часі. [12] В цьому випадку елементарна область являє собою елементарний внутрішній обсяг апарату, який визначається так само, як в стаціонарному випадку, але розглянута протягом елементарного інтервалу часу  $\Delta t$ . Допущення про постійність теплофізичних характеристик теплоносіїв усередині елементарної області, прийняте для елементарної області при стаціонарному режимі, залишається в силі. Тепловий баланс елементарної області в нестационарному температурному режимі з урахуванням [13] можна записати як:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_T + \Delta Q_K + \Delta Q_i + \Delta Q_n, \quad (1)$$

де  $\Delta Q_1$  - теплова потужність, що віддається гарячим теплоносієм;

$\Delta Q_2$  - теплова потужність, що отримується холодним теплоносієм;

$\Delta Q_T$  - теплова потужність, що витрачається на нагрів стінок трубок;

$\Delta Q_K$  - теплова потужність, що витрачається на нагрів стінки корпусу;

$\Delta Q_i$  - теплова потужність, що витрачається на нагрів шару теплоізоляції;

$\Delta Q_n$  - теплова потужність втрат в навколишній простір.

Температурне поле елементарної області при нестационарному температурному режимі також моделюється рішенням зв'язаним завданням теплопровідності, що включає задачі нестационарної теплопровідності для полого багатошарового необмеженого циліндра з довільним початковим розподілом і несиметричними неоднорідними граничними умовами 3-го роду на внутрішній і зовнішній поверхнях (температурні поля стінок трубок і теплоізолюваного корпусу), і рівняннями руху рідини, що рухається в режимі ідеального витіснення з каналу (температурні поля теплоносіїв в трубному та міжтрубному просторах). Необхідність використання постановки задач теплопровідності з довільним початковим розподілом диктується методикою використання температурного поля елементарної області для моделювання температурного поля апарату, при якій для чергової елементарної області доводиться вирішувати нове завдання теплопровідності з початковим температурним профілем, відповідним попереднім інтервалом часу для тієї ж просторової області. При відсутності забруднень стінка трубки розглядається як порожній одношаровий необмежений циліндр, при наявності - відповідно як багатошаровий. Теплоізолюваний корпус апарату в залежності від наявності забруднень, покриттів, еcranів, також може розглядатися як дво- або багатошаровий порожній необмежений циліндр.

#### Формулювання цілей статті

В позначеннях, аналогічних прийнятим для моделювання стаціонарного режиму, температурне поле елементарної області теплообмінника, що працює в нестационарному температурному режимі, моделюється системою рівнянь [10]:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + W_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial x} + K_1 t_1(x, \tau) = F_1(x, \tau), \quad 0 \leq x \leq \Delta x; \quad (2)$$

$$(3)$$

$$t_1(0, \tau) = t_{10}(\tau); \quad t_1(x, 0) = f_1(x);$$

$$(4)$$

$$\frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = a_r^2 \left( \frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad r_T \leq r \leq r_T + \delta_T, \quad \tau > 0; \quad (5)$$

$$U(r, 0) = f_r(r);$$

Вихідними даними для розрахунку є наступні.

1) Дані по апарату:

$D_k$  - внутрішній діаметр корпусу апарату;

$d_t$  - внутрішній діаметр трубок;

$\delta_k$  - товщина стінки корпусу;

$T$  - товщина стінки трубок;

$\delta_i$  - товщина шару теплоізоляції;

$\delta_z$  - товщина забруднень;

$n$  - число трубок в пучку;

$m$  - число ходів;

$l_p$  - відстань між перегородками;

$s_e$  - площа поперечного перерізу, відокремлена екранами;

$\lambda_t, \lambda_k, \lambda_i, \lambda_z$  - коефіцієнти теплопровідності матеріалів трубок, корпусу, теплоізоляції і забруднень відповідно.

2) Дані про речовини, які беруть участь в теплообміні:

$P_1, P_2$  - тиску в трубному та міжтрубному просторах;

$\rho_1(t), \rho_2(t)$  - щільності;

$c_1(t), c_2(t)$  - теплоємності;

$\lambda_1(t), \lambda_2(t)$  - теплопровідності;

$\mu_1(t), \mu_2(t)$  - динамічні в'язкості;

$\beta_1(t), \beta_2(t)$  - коефіцієнти об'ємного розширення;

$\sigma_1(t), \sigma_2(t)$  - поверхневі натягу;

$r_1(t), r_2(t)$  - питомі теплоти фазових переходів;

$t_{f1}(P), t_{f2}(P)$  - температури фазових переходів;

$t_{oc}$  - температура навколишнього середовища.

$k_1$  - індекс, що визначає взаємне напрямки руху теплоносіїв;

$F$  - площа поверхні теплообміну;

$G_1, G_2$  - масові витрати теплоносіїв;

$t_{1n}, t_{2n}$  - початкові температури теплоносіїв;

$t_{1k}, t_{2k}$  - кінцеві температури теплоносіїв.

### Виклад основного матеріалу

Модель динаміки представимо у вигляді:

$$t_1(x, d\tau) = \exp(-P_1 x) \left( t_{10}(d\tau) + \int_0^x \theta_1(x, d\tau) \exp(P_1 x) dx \right), \quad (6)$$

$$P_1 = \frac{K_1 d\tau + 1}{W_1 d\tau}; \quad \theta_1(x, d\tau) = \frac{1}{W_1} \left( F_1(x, d\tau) + \frac{f_1(x)}{d\tau} \right). \quad (7)$$

Гradient температури:

$$U(r, \tau) = A + B \ln(r) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\xi(v_n, \tau) \zeta(r, v_n)}{Z_n}, \quad (8)$$

$$B = \frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_2}{\ln(r_T) - \ln(r_T + \delta_T) + \lambda_T \left( \frac{1}{r_T \alpha_1} - \frac{1}{(r_T + \delta_T) \alpha_2} \right)}; \quad (9)$$

$$A = \bar{t}_1 - B \left( \ln(r_T) + \frac{\lambda_c}{\alpha_1 r_T} \right). \quad (10)$$

Рівняння функції зміни температури в просторі:

$$\xi(v_n, \tau) = \xi(v_n, 0) \exp(-v_n^2 \tau); \quad (11)$$

$$\zeta(r, v_n) = J_0\left(\frac{v_n r}{a_c}\right) + D_n Y_0\left(\frac{v_n r}{a_c}\right); \quad (12)$$

$$\quad (13)$$

$$\xi(v_n, 0) = \int_{r_T}^{r_T + \delta_T} r(f_t(r) - A - B \ln(r)) \zeta(r, v_n) dr;$$

$$D_n = \frac{\frac{\lambda_T v_n}{a_t} J_1\left(\frac{v_n r_T}{a_t}\right) - \alpha_1 J_0\left(\frac{v_n r_T}{a_t}\right)}{\alpha_1 Y_0\left(\frac{v_n r_T}{a_t}\right) - \frac{\lambda_T v_n}{a_t} Y_1\left(\frac{v_n r_T}{a_t}\right)}; \quad (14)$$

де  $v_n$  - послідовні позитивні коріння рівняння.

Стан теплової рівноваги визначається так:

$$J_0\left(\frac{v(r_T + \delta_T)}{a_t}\right) - \frac{v \lambda_T}{a_t \alpha_2} J_1\left(\frac{v(r_T + \delta_T)}{a_t}\right) +$$

$$+ D \left( Y_0\left(\frac{v(r_T + \delta_T)}{a_t}\right) - \frac{v \lambda_T}{a_t \alpha_2} Y_1\left(\frac{v(r_T + \delta_T)}{a_t}\right) \right) = 0. \quad (15)$$

При цьому стан рівняння теплопровідності є для ізоляції є:

$$C_{1,n} J_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) + D_{1,n} Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) - D_{2,n} Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right);$$

$$C_{2,n} = \frac{Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right)}{Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right)}; \quad (16)$$

$$D_{2,n} = \frac{\frac{\lambda_1 a_{21}}{\lambda_2 a_1} J_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right) \left( C_{1,n} J_1\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) + D_{1,n} Y_1\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) \right) -$$

$$J_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right) Y_1\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right) -$$

$$- J_1\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right) \left( C_{1,n} J_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) + D_{1,n} Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1}\right) \right)}{- J_1\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right) Y_0\left(\frac{\mu_n R_1}{a_2}\right)}; \quad (17)$$

$\mu_n$  - n-й позитивний корінь рівняння. При цьому:

$$C_2 \left( J_0\left(\frac{\mu R_2}{a_2}\right) - \frac{\mu \lambda_2}{a_2 \alpha_{oc}} J_1\left(\frac{\mu R_2}{a_2}\right) \right) + D_2 \left( Y_0\left(\frac{\mu R_2}{a_2}\right) - \frac{\mu \lambda_2}{a_2 \alpha_{oc}} Y_1\left(\frac{\mu R_2}{a_2}\right) \right) = 0. \quad (18)$$

Температурна напруженість в моделі:

$$\sigma(\mu_n, 0) = \sum_{m=1}^2 \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_{R_{m-1}}^{R_m} r_m (\vartheta_m(r_m) - A_m - B_m \ln(r_m)) \times$$

$$\times \left( C_{m,n} J_0\left(\frac{\mu_n r_m}{a_m}\right) + D_{m,n} Y_0\left(\frac{\mu_n r_m}{a_m}\right) \right) dr_m; \quad (19)$$

$$\sigma(\mu_n, \tau) = \sigma(\mu_n, 0) \exp(-\mu_n^2 \tau). \quad (20)$$

У формулах (17) - (19) індекс 1 відноситься до стінки корпусу, а індекс 2 - до шару теплоізоляції.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Для вирішення задач нестационарної та стаціонарної теплопровідності з граничними умовами третього роду потрібне знання коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ . Крім цього в деяких випадках виникає необхідність і в визначенні температурних полів в потоці рідини або газу. Розрізняють конвективний теплообмін при вимушеному і при вільному перебігу. У першому випадку потік збуджується до руху насосами, вентиляторами, компресорами і т.д. У другому ж випадку рух рідини або газу виникає біля поверхні теплого або холодного тіла, середовища  $T_f$  і поверхні тіла  $T_W$ . І при вимушеній, і при вільній конвекції розрізняють ламінарний, перехідний і турбулентний режими течії.

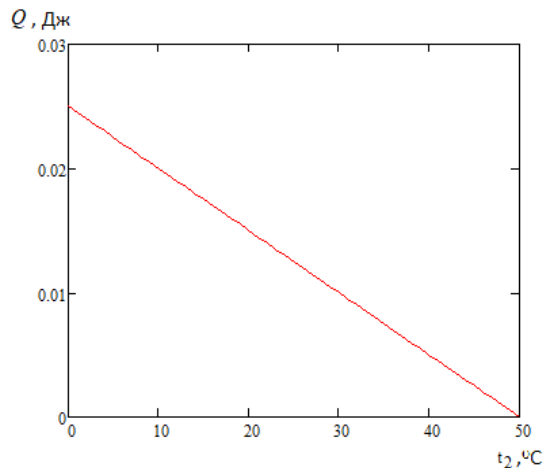


Рис. 1. Залежність теплоти, що випромінюється в залежності від перепаду температур

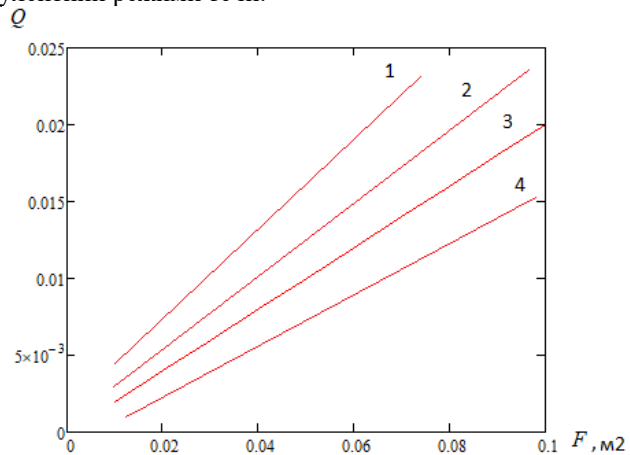


Рис. 2. Залежність теплоти, що випромінюється площі від теплообмінника при різних температурах: 1- 20 °C, 2- 30 °C, 3- 40 °C, 4- 50 °C

Через те, що фактори, що визначають режими теплопостачання та теплоспоживання будинків, мають в більшій своїй частині імовірнісний характер і залежать від особливостей умов функціонування даної конкретної системи (її розміру, стану обладнання метеорологічних умов, режиму центрального регулювання відпуску тепла, тепло-фізичних характеристик огорожувальних конструкцій та ін.), представляється можливим дати узагальнену кількісну оцінку втрат при розподілі теплоносія між опалювальними приміщеннями з урахуванням ефективності автоматичного регулювання.

Проведена оцінка динаміки систем опалення з точки зору ефективності використання теплової енергії та рівня підтримки теплового комфорту в опалювальних приміщеннях у широкому діапазоні показала варіанти технічних рішень ефективного розподілу теплової енергії та забезпечення кращих умов теплового комфорту в опалювальних приміщеннях. Отримана модель може бути корисна для інженерних розрахунків теплоакуюлюючих систем з електричною системою опалення

### Література

1. 86 Пат.112572 Україна, МПК F24H 1/20. Електродний нагрівач рідини із зворотним зв'язком/Любчик Віталій Романович; Рибалко Олег Петрович; Горященко Сергій Леонідович; Параска Георгій Борисович; Заявник та патентовласник Хмельницький національний університет; Патент опубліковано 26.12.2016, бюл. № 24/2016 -5 с.
2. Пат. 89286 Україна, МПК F24D 11/00, F24D 15/02. Теплоаккумулятор з теплоізолюючою перегородкою/ Г. Б. Параска; С. Л. Горященко; В. Р. Любчик; А. В. Вітюк; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.04.2014, Бюл. № 7/2014 – 4 с.
3. Пат. 9148 Україна, F24D 11/00. Система опалення приміщень/ Г. Б. Параска; С. Л. Горященко; В. Р. Любчик; А. В. Вітюк; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.07.2014, Бюл. № 13/2014 – 5 с.
4. Пат. 99525, Україна. F24D 15/02, F24D 11/00. Теплоаккумулятор з теплоізолюючою перетинкою/ С. Л. Горященко, Г. Б. Параска, А. В. Вітюк, В. Р. Любчик; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.06.2015, Бюл. № 11/2015 – 4 с.
5. Теплове господарство України: сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку : монографія / В. І. Пила, В. Я. Чевганова, В. В. Скриль ; Полтавський нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. - К. : Центр учбової літератури, 2014. - 341 с.
6. Інженерія та енергетика: теорія, аналіз, практика : матеріали другої регіональної наук.-практ. конф. студ. та викладачів, (Луганськ, 11 квіт. 2013 р.) / Луган. облрада директорів ВНЗ I-II рівнів акредитації, ДВНЗ «Луган. буд. коледж». - Луганськ : Ноулідж, 2013. - 160 с. : іл., табл.

7. Інноваційне управління енергозбереженням промислових підприємств: монографія / Аптекар С. С., Іванова В. В.; Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. - Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. - 286 с.
8. Інтеграція технологій екологізації та енергозбереження в освітніх закладах: монографія / Совгіра С. В., Гончаренко Г. Є., Гончаренко В. Г.; МОН. - Умань: Видавець "Сочінський", 2014. - 182 с.
9. Управління проектами енерговикористання: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів, які навч. за спец. "Енергетичний менеджмент" / Ю. Г. Качан, К. О. Братковська; Запорізька інж. акад. - Запоріжжя: ЗДІА, 2014. - 141 с.
10. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства: монографія / О. М. Ковалко, О. В. Новосельцев, Т. О. Євтухова; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. - К.: 2014. - 253 с.
11. Теплове господарство України: сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку: монографія / В. І. Пила, В. Я. Чевганова, В. В. Скриль; Полтавський нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. - К.: Центр учбової літератури, 2014. - 341 с.
12. Математичне моделювання автоматизованої теплоакumuлюючої системи/ С.Л. Горьщенко, О.О. Нікітін, Ю.Ю. Кушнір, С.В. Успенко//Вісник хмельницького національного університету серія: Технічні науки, Хмельницький. ХНУ, т.6., - 2017, с. 60-64
13. Моделювання роботи тепло-холодоакumuлюючої системи/ С.Л. Горьщенко, С.В. Успенко//Вісник хмельницького національного університету серія: Технічні науки, Хмельницький. ХНУ, №3, 2017, с.77-79

### References

1. 86 Pat.112572 Ukrayina, MPK F24H 1/20. Elektrodnyj nahrivach ridyny iz zvorotnym zv'yazkom/Lyubchik Vitalij Romanovych; Rybalko Oleh Petrovych; Horyashhenko Serhij Leonidovych; Paraska Heorhij Borysovych; Zayavnyk ta patentovlasnyk Xmel"nyc"kyj nacional"nyj universytet; Patent opublikovano 26.12.2016, byul. № 24/2016 -5 s.
2. Pat. 89286 Ukrayina, MPK F24D 11/00, F24D 15/02. Teploakumulyator z teploizolyuyuchoyu perehorodkoyu/ H. B. Paraska; S. L. Horyashhenko; V. R. Lyubchik; A. V. Vityuk; zayavnyk i patentovlasnyk Xmel"nyc"kyj nacional"nyj universytet; opublikovano 10.04.2014, Byul. № 7/2014 - 4 s.
3. Pat. 9148 Ukrayina, F24D 11/00. Systema opalennya prymishhen"/ H. B. Paraska; S. L. Horyashhenko; V. R. Lyubchik; A. V. Vityuk; zayavnyk i patentovlasnyk Xmel"nyc"kyj nacional"nyj universytet; opublikovano 10.07.2014, Byul. № 13/2014 - 5 s.
4. Pat. 99525, Ukrayina. F24D 15/02, F24D 11/00. Teploakumulyator z teploizolyuyuchoyu peretynkoyu/ S. L. Horyashhenko, H. B. Paraska, A. V. Vityuk, V. R. Lyubchik; zayavnyk i patentovlasnyk Xmel"nyc"kyj nacional"nyj universytet; opublikovano 10.06.2015, Byul. № 11/2015 - 4 s.
5. Teplove hospodarstvo Ukrayiny: suchasnyj stan, problemy ta perspektyvy rozvytku: monohrafiya / V. I. Pyla, V. Ya. Chevhanova, V. V. Skryl"; Poltavskiy nac. techn. un-t imeni Yuriya Kondratyuka. - K.: Centr uchbovoyi literatury, 2014. - 341 s.
6. Inzheneriya ta enerhetyka: teoriya, analiz, praktyka: materialy druhoi rehional'noyi nauk.-prakt. konf. stud. ta vykladachiv, (Luhansk, 11 kvit. 2013 r.) / Luhan. obrada dyrektoriv VNZ I-II rivniv akredytatsiyi, DVNZ «Luhan. bud. koledzh». - Luhansk: Noulidzh, 2013. - 160 s.: il., tabl.
7. Innovatsijne upravlinnya enerhozberezhenniam promyslovykh pidpryemstv: monohrafiya / Aptekar S. S., Ivanova V. V.; Donec"kyj nac. un-t ekonomiky i torhivli imeni Mykhajla Tugan-Baranovskoho. - Donec"kyj: DonNUET, 2012. - 286 s.
8. Intehratsiya tehnologij ekolohizatsiyi ta enerhozberezhennya v osvithnix zakladax: monohrafiya / Sovhira S. V., Honcharenko H. Ye., Honcharenko V. H.; MON. - Uman': Vydavec "Sochinsk"kyj", 2014. - 182 s.
9. Upravlinnya proektamy enerhovykorystannya: navch. posib. dlya stud. vyssh. navch. zakladiv, yaki navch. za spec. "Enerhetychnyj menedzhment" / Yu. H. Качан, К. О. Братковска; Zaporizka inzh. akad. - Zaporizhzhya: ZDIA, 2014. - 141 s.
10. Vstup do teoriiy enerhoefektyvnosti bahatorivnevnykh system: metody ta modeli enerhetychnoho menedzhmentu v systemi zhytlovo-komunal'noho hospodarstva: monohrafiya / O. M. Kovalko, O. V. Novosel'cev, T. O. Yevtuxova; NAN Ukrayiny, In-t techn. teplofizyky. - K.: 2014. - 253 s.
11. Teplove hospodarstvo Ukrayiny: suchasnyj stan, problemy ta perspektyvy rozvytku: monohrafiya / V. I. Pyla, V. Ya. Chevhanova, V. V. Skryl"; Poltavskiy nac. techn. un-t imeni Yuriya Kondratyuka. - K.: Centr uchbovoyi literatury, 2014. - 341 s.
12. Matematychnye modelyuvannya avtomatyzovanoj teploakumulyuyuchoyi sysetemy/ S.L. Horyashhenko, O.O. Nykytyn, Yu.Yu. Kushnir, S.V. Uspalenko//Visnyk xmel"nyc"kocho nacional'noho universytetu seriya: Texnichni nauky, Xmel"nyc"kyj. XNU, t.6., - 2017, s. 60-64
13. Modelyuvannya roboty teplo-xolodoakumulyuyuchoyi systemy/ S.L. Horyashhenko, S.V. Uspalenko//Visnyk xmel"nyc"kocho nacional'noho universytetu seriya: Texnichni nauky, Xmel"nyc"kyj. XNU, №3, 2017, s.77-79