

**В. В. ВИСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Є. ДЕНИСОВА, В. О. БУДАРИН**

### **УЗГОДЖЕНІ ПАРАМЕТРИ СЕЗОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ГЕЛІОСИСТЕМИ**

Досліджено нестационарні процеси теплообміну в геліосистемі з сезонним акумулятором теплоти для періодичної його зарядки в літній період і розрядки в зимовий для різних регіонів України. Проведено чисельні дослідження геліосистеми, що враховують взаємний вплив геліоприймача і сезонного твердотілого акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією. Був розглянутий варіант з фіксованими розмірами бака-акумулятора, тому що вибір розмірів зазвичай пов'язаний зі зручністю його розташування в межах заданої ділянки, оскільки при фіксованому об'ємі акумулятора кількість накопиченої енергії визначається тільки його температурою. Ітераційним методом підбиралися умови повного автономного теплопостачання споживача по опалювальному навантаженню. Обґрунтовано можливість підвищення ефективності роботи акумулятора шляхом вибору раціонального його об'єму. Запропоновано метод конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів. Були отримані залежності температури теплового акумулятора від місяця року, його питомого навантаження від співвідношення об'єму акумулятора та площі сонячних колекторів, а також знайдений аналітичний опис залежності сумарного річного вироблення теплоти в геліосистемі від ефективності сонячного колектора в нормалізованому вигляді. Розраховано річне теплове вироблення геліосистеми, представлене в нормалізованому вигляді щодо навантаження в кінці опалювального сезону, від комплексу параметрів, що визначають конструктивні характеристики геліоколекторів.

**Ключові слова:** сезонний акумулятор теплоти, геліосистема, аналітичний опис.

**В. В. ВЫСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, В. А. БУДАРИН**

### **СОГЛАСОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЗОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ГЕЛИОСИСТЕМЫ**

Исследованы нестационарные процессы теплообмена в гелиосистеме с сезонным аккумулятором теплоты для периодической зарядки аккумулятора в летний период и разрядки в зимний для разных регионов Украины. Проведены численные исследования гелиосистемы, учитывающие взаимное влияние гелиоприемника и сезонного твердотельного аккумулятора теплоты с тепловой изоляцией. Был рассмотрен вариант с фиксированными размерами бака-аккумулятора, так как выбор размеров обычно связан с удобством его расположения в пределах заданного участка, поскольку при фиксированном объеме аккумулятора количество накопленной энергии определяется только его температурой. Итерационным методом подбирались условия полного автономного теплоснабжения потребителя по отопительной нагрузке. Обоснована возможность повышения эффективности работы аккумулятора путем выбора рационального его объема. Предложен метод конструктивного выбора размеров аккумуляторного блока для разных регионов. Были получены зависимости температуры теплового аккумулятора от месяца года, его удельной нагрузки от соотношения объема аккумулятора и площади солнечных коллекторов, а также найдено аналитическое описание зависимости суммарной годовой выработки теплоты в гелиосистеме от эффективности солнечного коллектора в нормализованном виде. Рассчитана летняя тепловая выработка гелиосистемы, представленная в нормализованном виде по нагрузке в конце отопительного сезона, от комплекса параметров, определяющих конструктивные характеристики гелиоколлекторов.

**Ключевые слова:** сезонный аккумулятор теплоты, гелиосистема, аналитическое описание.

**V. V. WYSOCHIN, V. R. NIKULSHIN, A. E. DENYSOVA, V. O. BUDARIN**

### **RATIONAL PARAMETERS OF SEASONAL HEAT ACCUMULATORS FOR HELIOS SYSTEM**

Non-stationary processes of heat exchange in a solar system with a seasonal heat accumulator for periodic charging of the battery in the summer and discharging in the winter for different regions of Ukraine are investigated. Numerical studies of the solar system have been carried out, taking into account the mutual influence of the solar collector and the seasonal solid-state heat accumulator with thermal insulation. A fixed size of battery tank was considered, because the choice of sizes is usually related to the constraints of its location within a given area, so in the fixed volume of the accumulator the amount of stored energy is determined only by its temperature. Was developed the iterative selection method of the conditions for completely autonomous heat supply of consumer under the heating load. The possibility of increasing the efficiency of the accumulator by choosing its rational volume is justified. The method of the size selection for accumulator block for different regions of Ukraine is proposed. Was obtained the function of the heat accumulator temperature from the month of the year, its specific load from the ratio of the volume of accumulator to the area of the solar collectors, as well as an analytical description of the total annual heat production in the solar system dependence on the efficiency of the solar collector in the normalized form. The annual heat production of the solar system, represented in the normalized form to the load at the end of the heating season, from the parameters of the solar collectors is calculated.

**Keywords:** seasonal heat accumulator, solar system, analytic description.

**Вступ.** Завданням енергозбереження та розробки енергоефективних технологій приділяється значна увага як з точки зору вже досягнутих результатів, так і в планованих розробках на майбутнє [1, с.27].

При цьому розглядаються можливості вдосконалення систем, що використовують як поновлювані, так і традиційні джерела енергії [2, с.29].

© В.В. Височин, В.Р. Нікульшин, А.Є. Денисова, В.О. Бударин, 2020

### Аналіз стану питання.

Акумулявання та інші засоби регенерації теплоти, як відомо, дозволяють суттєво знижувати витрати первинних енергоресурсів, що забезпечує їх широке застосування у різних галузях виробництва. Такі засоби використовувалися для підвищення ефективності систем:

- опалення будівель [3, с.247; 4, с. 55; 5, с.356], централізованого опалення [6, с.487]
- виробництва теплоти на ТЕЦ та у інших варіантах мультигенерації [7, с. 243; 8, с. 581; 9, с. 295; 10, с. 302]
- використання сонячної енергії [11, с.151; 12, с.132; 13, с.23; 17, с.206; 18, с.152],
- теплонасосних [14, с.517; 15, с.491] та геотермальних [16, с.630].

Нижче розглянуті системи сонячного опалення, які відрізняються суттєвою невідповідністю між сезонною пропозицією і попитом енергії. Тому для них вкрай актуальні пристрої для акумулявання енергії. Існує велика кількість позитивних прикладів роботи геліосистем з сезонними акумуляторами теплоти (САТ). Вони відрізняються конструкцією і видом акумуляуючої речовини.

В даний час відсутні надійні рекомендації з вибору раціональних параметрів і режимів роботи комплексів геліосистема – сезонний моноблочний акумулятор.

Як відомо, по виду акумуляуючої речовини (насадки) САТ поділяються на рідинні (водні) і твердотільні. Рідинні, в основному водяні, сезонні акумулятори геліосистем для односімейних котеджів, досить незручні, бо необхідно обслуговування і існує небезпека прориву великої маси води.

Альтернативою є твердотільний акумулятор, яким може служити монолітний бетонний блок з вбудованим теплообмінником. Система повністю безпечна, не вимагає обслуговування і нескладна при будівництві.

Такі САТ найбільш затребувані для невеликих будинків котеджів, для яких прийнятним є блоки обсягом 30..80 м<sup>3</sup>. Подібні акумулятори впроваджуються в практику, однак їхня робота не вивчена в належній мірі, що не дозволяє коректно проектувати повністю автономні геліосистеми, які не потребують дублюючих джерел теплоти.

Сезонні акумулятори теплоти без теплової ізоляції не ефективні, бо має місце значна втрата енергії.

Тому існує необхідність в розробці методу дослідження роботи сезонних акумуляторів з бетонної насадкою і тепловою ізоляцією.

Суттєвими є фактори взаємовпливу геліоприймача і сезонного твердотільного акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією в повністю автономній режимі роботи системи теплопостачання.

Для практичних цілей важливо встановлення високого ступеня достовірних режимних параметрів, що потребує розв'язання таких задач із застосуванням математичних моделей високої точності.

### Мета.

Знаходження раціональних параметрів твердотільного сезонного акумулятора теплоти, узгоджених з характеристиками геліоколекторів.

### Методи дослідження.

Розроблена математична модель для дослідження описує двоконтурну геліосистему (рис. 1) з водяним баком-акумулятором (БА) добового циклу роботи і сезонним бетонним акумулятором, який включений в другий контур геліосистеми з водяним теплоносієм.

Розглядаються нестационарні умови роботи геліосистеми - з визначенням миттєвої теплової продуктивності і температури теплоносіїв на протязі заданих діб.

Завдання вирішувалося з урахуванням процесів поглинання променевої енергії в сонячному колекторі (СК) і перенесення теплоти в добовому БА і блоці САТ з вбудованим теплообмінником.

Для математичної моделі розроблено зручний для реалізації в комп'ютерній програмі розрахунковий метод визначення кліматичних умов роботи сонячного колектора.

Поверхня нагрівача САТ має вигляд трубчастого теплообмінника, який закладений в бетон.

Для цього теплообмінника використано рівняння теплового балансу в нестационарному тепловому режимі, що описує зміну температури теплоносія вздовж потоку.

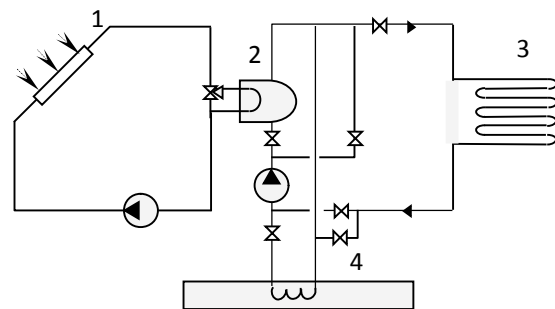


Рис. 1 – Розрахункова схема геліосистеми:

1 – сонячні колектори; 2 – добовий акумулятор теплоти БА; 3 – споживач; 4 – сезонний акумулятор теплоти САТ.

Рівняння збереження енергії в нестационарному режимі нагріву бетону САТ приймалося в припущенні рівномірного поля миттєвої температури в об'ємі, що допустимо за умови якісного контакту поверхні теплообмінника та бетону. Система диференціальних рівнянь нестационарного теплообміну розв'язувалась чисельно.

Математична модель дозволяє досліджувати процеси нестационарного перетворення енергії в геліосистемі з САТ при різних крайових умовах.

Доцільність сезонного акумулятора теплоти визначається його здатністю накопичувати і зберігати тривалий час необхідну кількість енергії.

Дослідження таких властивостей акумулятора можна проводити при фіксованих розмірах пристрою або при змінних. Був розглянутий варіант з фіксованими розмірами, тому що вибір розмірів зазвичай пов'язаний зі зручністю розташування САТ в межах заданої ділянки. При фіксованому об'ємі акумулятора кількість накопиченої енергії визначається тільки його температурою. Обсяг акумуляуючої речовини прийнятий рівним  $75 \text{ м}^3$ .

Для акумуляуючих систем суттєвими є тривалість періодів накопичення теплоти при роботі геліосистеми в літній сезон і здатність утримання її без суттєвих втрат в зимовий сезон.

Акумуляуюча здатність пристрою із заданим типом насадки залежить від якості теплової ізоляції огорож. Саме наявність теплової ізоляції відрізняє розглянутий тип САТ від ґрунтових акумуляторів.

**Результати досліджень.** Варіантний аналіз показав, що для сучасних теплоізоляційних матеріалів раціональним є пінопласт, стирольна або пропіленова ізоляція товщиною  $0,4 \dots 0,5 \text{ м}$ . Така ізоляція дозволяє витримувати необхідний рівень температури насадки протягом усього циклу. Зарядка при цьому може здійснюватися як в неопалювальний період, так і взимку - при наявності достатньої інсоляції, що сприяє забезпеченню заданого температурного рівня нагріву теплоносія.

Показники акумулятора щодо досягнення відповідного температурного рівня та його підтримка в певному часовому інтервалі зв'язані з потужністю геліосистеми.

Тому для досягнення необхідних умов експлуатації геліосистеми її потужність повинна бути узгоджена з характеристиками акумулятора.

При аналізі розглядалася зміна температури в САТ без відбору теплоти протягом усього року для СК з різними характеристиками і рівною площею поверхні.

Розглядалися режими, умовою яких було досягнення повторюваного циклу зарядки-розрядки, коли температура розрядки (мінімальна в циклі) ставала рівною температурі початку активної фази зарядки САТ.

Не конкретизуючи конструкції СК, можна характеризувати їх основними показниками, що впливають на теплову продуктивність системи - оптичний ( $\tau\alpha$ ) та коефіцієнт втрат теплоти ( $U$ ).

Дані отримані для різної теплової продуктивності геліосистеми, що досягалося зміною параметра  $U/\tau\alpha$  в діапазоні величин  $(0,6 \dots 9,6) \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

Показано, що зростанню температури в САТ сприяє зниженню параметра  $U/\tau\alpha$ . При значеннях

$U/\tau\alpha$  в діапазоні близьких до  $0,6 \dots 1,0$  можна досягнути максимальної температури в циклі -  $(70 \dots 80)^\circ\text{C}$ .

Наявність навантаження опалення змінює річний хід температури САТ (рис. 2).

На графіку представлені дані для одного типу СК ( $U/\tau\alpha = 0,6$ ) з різною активною поверхнею ( $A$ ) та при змінному розрахунковому навантаженню опалення ( $Q_0^p$ ), що знайдене при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для систем опалення.

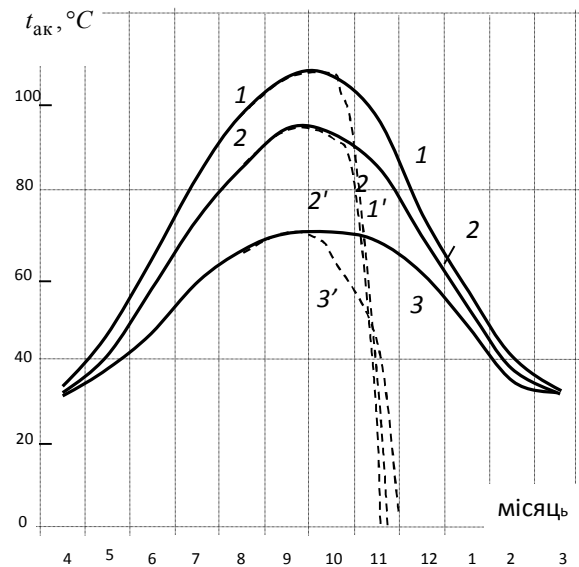


Рис. 2 – Залежність температури теплового акумулятора від місяця року, питомого навантаження опалення і відносини  $V/A$ .

Два останніх параметра об'єднані в єдиний комплекс – питоме навантаження опалення  $Q_0^p/A$ . Параметром представленої залежності також є відношення об'єму САТ до площі сонячних колекторів  $V/A$ .

Відповідно при  $U/\tau\alpha = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ :

$$1(1') - \frac{V}{A} = 7 \text{ м}; \quad 2(2') - \frac{V}{A} = 8,65 \text{ м};$$

$$3(3') - \frac{V}{A} = 16,3 \text{ м}.$$

Розрахункове навантаження опалення, віднесене до площі СК,  $Q_0^p/A$ ,  $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{міс})$ : 1 – 170; 2 – 130; 3 – 50; 1', 2', 3' – 1200.

При великому питомому навантаженню опалення  $Q_0^p/A = 460 \text{ Вт}/\text{м}^2$  ефективність акумулятора, як пристрою для забезпечення автономності, низька.

Запасу теплоти ледь вистачає на один місяць опалення (лінії 1', 2', 3'). Зниження питомого

навантаження збільшує тривалість автономного робочого ходу акумулятора, температурний режим роботи САТ наближається до показників, при яких може бути повністю забезпечена навантаження опалення.

Відповідно, можна говорити про зростання ефективності акумулятора в геліосистемі.

Температурні криві складаються з двох частин. Перша з них, що відповідає зарядці акумулятора в літній сезон, є однаковою для будь-яких навантажень, але залежить від теплової продуктивності системи (в даному випадку від площі поверхні сонячних колекторів).

Друга частина, відповідно до зимового сезону, тобто періоду розрядки акумулятора, залежить і від теплової продуктивності системи, і від навантаження опалення.

На рис. 3 показана залежність сумарної річної виробленої теплоти геліосистеми, яка представлена в нормалізованому вигляді щодо теплового навантаження в кінці опалювального сезону ( $Q_{0,IV}^{сут}$ ), і комплексу параметрів, які визначають конструктивні характеристики сонячних колекторів ( $U/\tau\alpha$ ).

Ця залежність має зростаючий характер при зниженні ефективності СК (при збільшенні  $U/\tau\alpha$ ). Її можна апроксимувати наступним виразом

$$\left(\frac{Q_{гс}}{Q_{0,IV}^{сут}}\right)_{\Sigma}^{\text{л}} = 8,36(U/\tau\alpha)^2 - 32,53(U/\tau\alpha) + 278,64$$

Отриманий вираз дозволяє визначити загальну вироблену теплоту геліосистемою поза опалювального періоду.

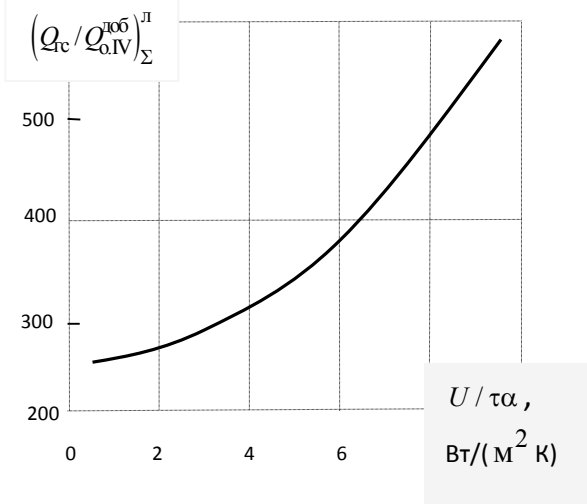


Рис. 3 – Залежність сумарного річного вироблення теплоти геліосистеми від ефективності СК в нормалізованому вигляді.

Запропонований підхід дозволяє визначити співвідношення об'єму сезонного акумулятора і площі СК  $V/A$ , необхідного для повного задоволення теплового навантаження опалення в заданому температурному діапазоні.

Для цієї мети можна використовувати залежність, представлену на рис. 4 в координатах:  $(V/A)_{\text{опт}} - (Q_0^p/A)$ .

При побудові залежності був обраний температурний режим роботи акумулятора теплоти, який відповідає параметрам теплоносія для підлогового опалення («тепла підлога»).

Для таких умов мінімальна температура акумулятора прийнята рівною 35 °С.

У цьому випадку співвідношення розмірів акумулятора та СК, якщо вони забезпечать задане теплове навантаження протягом всього опалювального сезону без залучення дублюючого джерела теплоти, можна назвати оптимальним  $(V/A)_{\text{опт}}$ . Зі зростанням розрахункового теплового

навантаження  $(Q_0^p/A)$  співвідношення  $(V/A)_{\text{опт}}$  зменшується. Залежність нелінійна — зростання  $(Q_0^p/A)$  призводить до зниження темпу зміни  $(V/A)_{\text{опт}}$ . На розглянуту залежність істотний вплив також має конструкція СК. З ростом комплексу  $U/\tau\alpha$  питома характеристика САТ  $(V/A)_{\text{опт}}$  знижується. Можна відзначити залежність конструктивного параметра геліосистеми  $(V/A)_{\text{опт}}$  від широти місцевості  $\varphi$ , її характер – зростаючий.

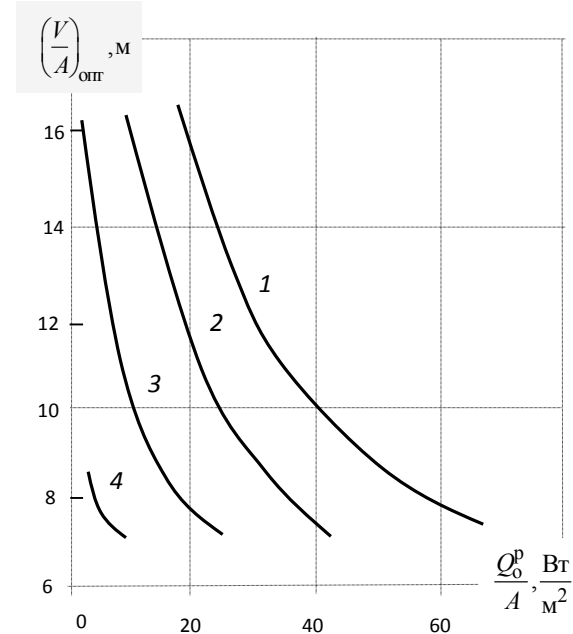


Рис. 4 – Залежність оптимального співвідношення об'єму теплового акумулятора і площі СК  $(V/A)$  від розрахункового навантаження опалення.

Відповідно до значень  $U/\tau\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К): 1– 0,6; 2 – 3,0; 3 – 6,0; 4 – 9,6.

Для опису отриманих даних пропонується наступне співвідношення

$$\left(\frac{V}{A}\right)_{\text{опт}} = \frac{68,84 \cdot \varphi}{(4,9 + U/\tau\alpha) \left[ Q_0^p / A - 550 / (U/\tau\alpha - 38) \right]}$$

Це співвідношення визначено з похибкою апроксимації розрахункових даних не більше 5% в таких інтервалах: широта місцевості  $\varphi = (44...52)$  градусів;

$$\frac{Q_0^p}{A} = (0,4...0,65) \text{ Вт/м}^2; \quad \frac{U}{(\tau\alpha)} = (0,6...9,6) \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Отримані результати показують можливість використання такого акумулятора теплоти для цілорічної автономної експлуатації системи тепlopостачання, а також дають змогу конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів.

#### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

1. Проведено чисельні дослідження геліосистеми, що враховують взаємний вплив геліоприймача і сезонного твердотілого акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією.

2. Отримані результати показують можливість використання такого акумулятора теплоти для цілорічної автономної експлуатації системи тепlopостачання.

3. Визначено залежність для визначення річної теплової вироблення геліосистеми, представлені в нормалізованому вигляді щодо навантаження в кінці опалювального сезону, від комплексу параметрів, що визначають конструктивні характеристики геліоколекторів.

4. Запропоновано метод конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів.

#### Список використаних джерел

1. Салько А. Энергосбережение и энергоэффективность в Украине. Достижения и планы // *Электрик*. 2018. № 11–12. С. 26–28.
2. Білодід В. Д. Прогнозна структура тепlopозабезпечення України на період до 2040 року // *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 1 (44). С. 24–33.
3. Hakan Caliskan. Energy, exergy, thermoeconomic and sustainability analyses of a building heating system with a combi-boiler. / Hakan Caliskan. // *Int. J. of Exergy*, 2014 – Vol. 14, №.2, pp. 244–273
4. Dshko V.I. Building heat source choice using exergoeconomic approach. /Deshko V.I.,Buyak N.A.//*Energy, energy saving and rational nature use*, №.4,2017, pp.50–60.
5. Roozbeh Sangi. Thermoeconomic analysis of a building heating system./ Roozbeh Sangi, Paula Martínez Martín, Dirk Müller // *Energy*, Vol. 111, 2016, pp. 351–363.
6. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt.

// *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489–496.

7. Yannay Casas Ledón. Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. // Yannay Casas Ledón, Patricia González, Scarlett Concha, Claudio A. Zaror, Luis E. Arteaga-Pérez *Energy*, Vol. 114, 2016, pp. 239–252.
8. Konstantinos Braimakis. Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. / Konstantinos Braimakis, Sotirios Karellas.// *Energy*, Vol. 121, 2017, pp. 570–598.
9. F. Calise. PiacentiN. Exergetic and exergoeconomic analysis of a renewable polygeneration system and viability study for small isolated communities. / F. Calise, M. Denticce d'Accadia, A. PiacentiN. // *Energy*, Vol. 92, Part 3, 2015, pp. 290–307.
10. Stéphane Gourmelon. A systematic approach: combining process optimisation exergy analysis and energy recovery for a better efficiency of industrial processes. /Stéphane Gourmelon, Raphaële Théry-Hétreux, Pascal Floquet. // *Int. J. of Exergy* 2017 – Vol. 23, №.4, pp. 298– 329
11. Han-Hui Zhu. Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO2 Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. / Han-Hui Zhu, Kun Wang, Ya-Ling He. // *Energy*, Vol. 140, Part 1, 2017, pp. 144–157.
12. K.R. Ranjan. Energy and exergy analyses of solar ponds in the Indian climatic conditions. /K.R. Ranjan, S.C. Kaushik, N.L. Panwar. // *Int. J. of Exergy*, 2014, – Vol. 15, №.2, pp. 121–151.
13. Mingjiang Ni. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation./ Mingjiang Ni, Tianfeng Yang, Gang Xiao, Dong Ni, Kefa Cen. // *Energy*, Vol. 137, 2017, pp. 20– 30.
14. Ugur Akbulut. Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system. / Ugur Akbulut, Zafer Utlu, Olcay Kincay. // *Energy*, Vol. 107, 2016, pp. 502–522.
15. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489– 496.
16. Ehsan Akrami. Energetic and exergoeconomic assessment of a multi-generation energy system based on indirect use of geothermal energy. / Ehsan Akrami, Ata Chitsaz, Hossein Nami. // *Energy*, Vol. 124, 2017, pp. 625–639.
17. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ДЕНИСОВА А.С. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2016. – 470 с.
18. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ЗІПУННІКОВ М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.

#### References

1. Sal'ko A. Jenergosberezhennie i jenergojeffektivnost' v Ukraine. Dostizhenija i plany [Energy saving and energy efficiency in Ukraine. Achievements and plans]. *Jelektrik*. 2018, no. 11–12, pp. 26–28.
2. Bilodid V. D. Prognozna struktura teplopозабepchennja Ukraїny na period do 2040 roku [Estimated structure of

- heat supply in Ukraine until 2040]. *Problemy zagal'noi' energetyky*. 2016, no. 1 (44), pp. 24–33.
3. Hakan Caliskan. Energy, exergy, thermoeconomic and sustainability analyses of a building heating system with a combi-boiler. / Hakan Caliskan. // *Int. J. of Exergy*, 2014 – Vol. 14, N.2. pp. 244–273.
  4. Deshko V. I. Building heat source choice using exergoeconomic approach. / Deshko V.I., Buyak N.A. // *Energy, energy saving and rational nature use*, N.4, 2017, pp. 50–60.
  5. Roozbeh Sangi. Thermoeconomic analysis of a building heating system. / Roozbeh Sangi, Paula Martínez Martín, Dirk Müller // *Energy*, Vol. 111, 2016, pp. 351–363.
  6. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps. / Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489–496.
  7. Yannay Casas Ledón. Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. // Yannay Casas Ledón, Patricia González, Scarlett Concha, Claudio A. Zaror, Luis E. Arteaga-Pérez // *Energy*, Vol. 114, 2016, pp. 239–252.
  8. Konstantinos Braimakis. Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. / Konstantinos Braimakis, Sotirios Karellas. // *Energy*, Vol. 121, 2017, pp. 570–598.
  9. F. Calise. Piacenti N. Exergetic and exergoeconomic analysis of a renewable polygeneration system and viability study for small isolated communities. / F. Calise, M. Dentice d'Accadia, A. Piacenti N. // *Energy*, Vol. 92, Part 3, 2015, pp. 290–307.
  10. Stéphane Gourmelon. A systematic approach: combining process optimisation exergy analysis and energy recovery for a better efficiency of industrial processes. / Stéphane Gourmelon, Raphaële Théry-Hétreux, Pascal Floquet. // *Int. J. of Exergy* 2017 – Vol. 23, N.4, pp. 298–329
  11. Han-Hui Zhu. Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO<sub>2</sub> Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. / Han-Hui Zhu, Kun Wang, Ya-Ling He. // *Energy*, Vol. 140, Part 1, 2017, pp. 144–157.
  12. K.R. Ranjan. Energy and exergy analyses of solar ponds in the Indian climatic conditions. / K.R. Ranjan, S.C. Kaushik, N.L. Panwar. // *Int. J. of Exergy*, 2014, – Vol. 15, N.2 pp. 121–151.
  13. Mingjiang Ni. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation. / Mingjiang Ni, Tianfeng Yang, Gang Xiao, Dong Ni, Kefa Cen. // *Energy*, Vol. 137, 2017, pp. 20–30.
  14. Ugur Akbulut. Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system. / Ugur Akbulut, Zafer Utlu, Olcay Kinca. // *Energy*, Vol. 107, 2016, pp. 502–522.
  15. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps. / Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489–496.
  16. Ehsan Akrami. Energetic and exergoeconomic assessment of a multi-generation energy system based on indirect use of geothermal energy. / Ehsan Akrami, Ata Chitsaz, Hossein Nami. // *Energy*, Vol. 124, 2017, pp. 625–639.
  17. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisowa A.E. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik*. – K.: CNL, 2016. – 470 p.
  18. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik*. – K.: CNL, 2013. – 352 p.

Надійшла (received) 19.02.2020

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Височин Віктор Васильович (Высочин Виктор Васильевич, Wysochin Viktor Vasylovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна;

ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2279-203X>; e-mail: [vwwin.od@gmail.com](mailto:vwwin.od@gmail.com)

**Нікульшин Володимир Русланович (Никольшин Владимир Русланович, Nikulshin Volodymyr Ruslanovych)** – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5946-8562>; e-mail: [vnikul@paco.net](mailto:vnikul@paco.net)

**Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsiivna)** – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, директор Українсько-польського інституту; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3906-3960>; e-mail: [alladenysova@gmail.com](mailto:alladenysova@gmail.com).

**Бударін Віталій Олександрович (Бударин Виталий Александрович, Budarin Vitalii Oleksandrovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна;

ORCID <http://orcid.org/0000-0003-4841-2189>; e-mail: [vwwin.od@gmail.com](mailto:vwwin.od@gmail.com)