УДК 620.92:725.74:697.1

Боднар Л. А.
Гусар С.В.

ОЦІНКА СТРУКТУРИ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КРИТОГО БАСЕЙНУ ТА ВПЛИВУ ТЕПЛОЗБЕРІГАЮЧОГО НАКРИТТЯ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено структуру повного теплового балансу критого плавального басейну санаторно-курортного закладу в кліматичних умовах міста Вінниця. Встановлено, що домінуючою статтею витрат теплової енергії є випаровування та конвекція з відкритої поверхні водного дзеркала порівняно з тепловтратами через огороджувальні конструкції чаші та витратами на підігрів свіжої води. Змодельовано режим експлуатації басейну із застосуванням нічного теплозберігаючого накриття, що суттєво скорочує добові тепловтрати та уповільнює нічне охолодження водного масиву. Доведено, що впровадження теплозберігаючої ролети забезпечує значну річну економію природного газу та створює сприятливі передумови для подальшої ефективної інтеграції сонячних колекторів.

Ключові слова: випаровування, конвекція, тепловтрати, басейн, природний газ, сонячні колектори.

Abstract

This study examines the total heat balance structure of an indoor swimming pool at a health resort, specifically within the climatic conditions of the city of Vinnytsia. It is established that heat loss due to evaporation and convection from the open water surface is the dominant component of total heat energy expenditure, significantly exceeding heat losses through the pool basin structures and the energy required to heat fresh water. The study models the pool's operation using a night-time thermal cover, which substantially reduces daily heat loss and slows the cooling of the water mass overnight. It is demonstrated that the implementation of a thermal cover system yields significant annual savings in natural gas consumption and creates favorable conditions for the effective future integration of solar collectors.

Keywords: evaporation, convection, heat loss, swimming pool, natural gas, solar collectors.

Вступ

Експлуатація критих плавальних басейнів у санаторно-курортних закладах супроводжується високим рівнем енергоспоживання, оскільки підтримання нормованої температури води (+26…+28 °С [1]) вимагає безперервної компенсації теплових втрат.

Оптимізація систем теплопостачання таких об’єктів неможлива без детального аналізу структури теплового балансу та оцінки ефективності пасивних заходів енергозбереження, зокрема використання нічних теплозберігаючих накриттів (ролет) [2, 3].

Мета роботи – визначити складові повного теплового балансу критого басейну санаторію в кліматичних умовах м. Вінниця та кількісно оцінити зміну теплового навантаження й економію природного газу при застосуванні нічного теплозберігаючого накриття дзеркала води.

Основна частина

Об’єктом дослідження є басейн, що знаходиться в приміщенні санаторію у м. Вінниця з площею дзеркала води $S_{дз}$=66 м^2, середньою глибиною H=1,5 м та об’ємом води V=99 м^3. Загальна площа огороджувальних поверхонь чаші (дна та стін) становить $S_{чаші}$=117м^2. Розрахункова температура води у басейні прийнята $t_в$=27 ºС, температура повітря у залі басейну $t_{пов}$=28 ºС, температура навколишнього грунту/підвального приміщення навколо басейну взято $t_{навк}$=11 ºС, температура холодної водопровідної води для підживлення – $t_{хол}$=10 ºС.

Повний тепловий баланс басейну формується трьома основними статтями витрат теплоти:

$$Q_{заг} = Q_{пов} + Q_{ог} + Q_{під}, \quad (1)$$

де $Q_{пов}$ – втрати теплоти з випаровуванням і конвекцією з відкритої поверхні води, Вт; $Q_{ог}$ – тепловтрати через залізобетонну чашу басейну, Вт; $Q_{під}$ – витрати теплоти на підігрів свіжої води, Вт.

За методиками [4 – 6] виконано розрахунок теплового балансу для базового режиму експлуатації (без накриття водного дзеркала). Встановлено, що втрати теплоти випаровуванням і конвекцією з відкритої поверхні води становлять $Q_{пов}$ =12 кВт (288 кВт·год/добу). Тепловтрати через утеплену залізобетонну чашу басейну (приведений термічний опір $R_{ог}$=1,65 (м²·ºС/Вт) становлять 1135 Вт (1,14 кВт). При нормативному добовому водообміні $V_{під}$=1,2 м³/добу (1,2 % від обєму чаші) витрати $Q_{під}$=0,99 кВт.

Таким чином, повні тепловтрати відкритого басейну становлять 14,13 кВт або 339,1 кВт·год/добу. У структурі балансу переважають втрати з поверхні води (84,9 %), тоді як на огороджувальні конструкції припадає 8,1 %, а на підігрів свіжої водт – 7 %.

Змодельовано режим експлуатації із застосуванням нічної теплозберігаючної ламельної ролети. Прийнято графік роботи санаторного басейну: 12 годин на добу (з 8 год по 20 год) дзеркало відкрите, а 12 годин (з 20:00 до 8:00) – закрите ролетою, яка знижує втрати теплоти випаровуванням та конвекцією на 75 % (до 3 кВт). У результаті добові втрати теплоти з поверхні води скорочуються з 288 до 180 кВт·год/добу. Порівняльні показники обох режимів роботи показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння теплового балансу критого басейну за різних режимів експлуатації

Стаття теплового балансу	Без накриття (базовий режим), кВт	Без накриття, кВт·год/добу	Середнє значення із нічною ролетою (12 год), кВт	Сумарно за добу із нічною ролетою (12 год) кВт·год/добу
Випаровування та конвекція з поверхні, $Q_{пов}$	12	288 (84,9 %)	7,5	180
Тепловтрати через конструкції чаші, $Q_{ог}$	1,14	27,4 (8,1 %)	1,14	27,4
Нагрівання свіжої води на підживлення $Q_{під}$	0,99	23,8 (7 %)	0,99	23,8
Разом по басейну $Q_{заг}$	14,13	339,1 (100 %)	9,63	231,1

Аналіз отриманих даних показує, що використання нічного теплозберігаючого укриття зменшує сумарні добові тепловтрати басейну на 108 кВт·год/добу, знижуючи середнє теплове навантаження з 14,13 кВт до 9,63 кВт. Закриття поверхні води уповільнює швидкість пасивного охолодження води. При експлуатації басейну протягом 365 днів на рік впровадження нічної ролети забезпечує річну економію теплової енергії в обсязі 39420 кВт·год. При ККД газової котельні 90 % (теплота згорання газу $Q_н^р = 34{,}5$ МДж/м³) економія природного газу становитиме 4112 м³, а зниження викидів вуглекислого газу 7,98 тон/рік. Додатковим позитивним ефектом є зниження вологовиділень у приміщення басейну в нічний час, що зменшує витрати електроенергії на роботу систем припливно-витяжної вентиляції та осушення повітря.

Отримані дані дозволяють більш точно підібрати необхідну кількість сонячних колекторів для підігріву води в басейні. Сонячна енергія є сталим та економічно вигідним рішенням для низькотемпературних систем опалення, включаючи підігрів басейнів [7].

ВИСНОВКИ

У роботі досліджено структуру повного теплового балансу критого плавального басейну санаторію в умовах м. Вінниця (об’єм чаші 99 м³, площа дзеркала води 66 м²). Визначено, що основною статтею витрат теплоти є випаровування та конвекція з поверхні води, які становлять 84,9 % від загальних тепловтрат (14,13 кВт). Змодельовано режим експлуатації басейну із застосуванням нічної теплозберігаючої ролети (12 годин на добу), що дозволяє зменшити добові тепловтрати на 31,8 % – із 339,1 до 231,1 кВт·год/добу. Встановлено, що впровадження накриття забезпечує річну економію природного газу на рівні 4112 м³ та створює передумови для ефективної інтеграції сонячних колекторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптимальна температура води в басейні. URL: https://5element.ua/ua/blog/post-optimalnaya-temperatura-vody-v-bassejne/ (дата звернення 17.11.2026 р).
2. Автоматичні ролети для басейнів https://i-klever.com.ua/roller-for-pool (дата звернення 17.11.2026 р).
3. Як зменшити теплові втрати басейну на 70%: ролети та солярна плівка https://full-pool.com.ua/rozrahunok-ta-optimzacya-teplovih-vtrat-baseinu-yak-zakriti-dzerkalo-vodi-i-zekonomiti-70-tepla?srsltid=AYCX9vLGmX88jOxNMHTwKrDxH3q8_CdPxm1iPUI09i5et1cuWsB40MTv (дата звернення 17.11.2026 р).
4. Методика розрахунку. https://calorex.in.ua/ua/info/project/ (дата звернення 17.11.2026 р).
5. Yantong Li, Natasa Nord, Gongsheng Huang, Xin Li. Swimming pool heating technology: A state-of-the-art review. Building Simulation. Volume 14, pages 421–440, (2021). URL: https://doi.org/10.1007/s12273-020-0669-3. (дата звернення 17.11.2026 р).
6. Лабай В. Й. Тепломасообмін: підручник для ВНЗ. Львів: Тріада Плюс, 1998. 260 с.
7. Pater, S.; Kupiec, K. Study of Long-Term Thermal Performance of Solar Pool Heating Systems at Selected Locations in Europe. Energies 2026, 19, 2348. https://doi.org/10.3390/en19102348 (дата звернення 17.11.2026 р).

Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: Bodnar06@ukr.net
Гусар Сергій Васильович, студент групи ТЕ-26м, gysarsergey523@gmail.com

Bodnar Liliia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Bodnar06@ukr.net.
Husar Serhii, student, gysarsergey523@gmail.com