

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК [725.1:613.47–026.912]:628.1'17

В. Ф. ИВИН^{1*}, Б. Е. БОДНАРЬ²

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 87

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 34, эл. почта bodnar@nz.diit.edu.ua

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКРЫТЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Цель. Экономия энергоресурсов является основной задачей современной энергетики и различных энергопотребляющих устройств. К энергоемким устройствам относятся открытые плавательные бассейны, для поддержания рабочего состояния которых требуется значительное количество тепловой энергии, особенно в зимнее время. В работе ставится задача существенного снижения теплопотерь открытых плавательных бассейнов на примере плавательного бассейна ДНУЖТа. **Методика.** Используется методика определения массо- и теплопотерь на основе критериальных уравнений теории тепло- и массообмена. **Результаты.** В работе выполнены расчеты реальных тепловых потерь бассейна ДНУЖТа для различных времен года, как для условий естественной конвекции, так и для вынужденного движения воздуха над свободной поверхностью воды. Показано, что для условий адиабатного испарения воды с поверхности бассейна в зимнее время при обдуве ветром теплопотери могут достигать до 2 кВт/м^2 поверхности. Для их снижения в работе предлагается на время, когда бассейн не используется по назначению, покрывать поверхность воды специальным материалом с малой теплопроводностью на основе пористого полиэтилена. Это позволит снизить реальные теплопотери как минимум в 5–6 раз. **Научная новизна.** Решение важной эколого-энергетической проблемы благодаря снижению потерь тепла бассейном в различные времена года и соответственно уменьшению выбросов энергогенерирующих предприятий. **Практическая значимость.** В работе показано, что покрытие поверхности бассейна низкотеплопроводным легкомонтируемым покрытием позволит снизить реальные теплопотери как минимум в 5–6 раз и уменьшить вредные выбросы электростанций, вырабатывающих энергию для подогрева бассейна.

Ключевые слова: энергосбережение; экономия энергоресурсов; открытые плавательные бассейны; загрязнения окружающей среды

Введение

В связи с существенным повышением цен на энергоносители в мире и в Украине особенно остро встают вопросы их экономичного использования. В качестве примера рассмотрим использование энергоносителей при эксплуатации открытого плавательного бассейна ДНУЖТа.

Согласно нормам для обеспечения рабочего состояния такого типа бассейнов среднегодовая

температура воды должна поддерживаться на уровне $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура же окружающего воздуха над свободной поверхностью воды в бассейне ДНУЖТа в зависимости от времени года изменяется в условиях Днепропетровска от -23 до $+24 \text{ }^\circ\text{C}$ [9]. Такой большой перепад температур приводит к значительным потерям тепла со свободной поверхности бассейна и, как следствие, к значительному перерасходу природного газа, сжигаемого для поддержания бассейна в рабочем состоянии.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Анализ общих теплотерь открытых бассейнов показал, что если теплотери за счет контакта воды с чашей бассейна практически невозможно уменьшить без существенной доработки их конструкций, то теплотери с открытого зеркала бассейна за счет конвекции, теплового излучения и массообмена можно значительно снизить.

Одним из путей уменьшения этих потерь может быть сооружение над бассейном крытого стационарного помещения, что является очень дорогостоящим мероприятием и уменьшает эстетическое удовольствие от плавания под открытым небом, особенно в зимнее время. Другой, более дешевый путь заключается в покрытии зеркала бассейна специальным низкотеплопроводным энергосберегающим материалом на время, когда бассейн ДНУЖТа не используется по прямому назначению.

Цель

Целью настоящей работы является оценка реальных теплотерь со свободной поверхности бассейна ДНУЖТа и оценка снижения этих потерь путем покрытия его специальным энергосберегающим материалом.

Оценка теплотерь с поверхности бассейна в зависимости от времени года и состояния воздушной среды над ним показала, что их можно разделить на три составляющие:

- при естественной конвекции;
- при вынужденной конвекции;
- при испарении жидкости с зеркала бассейна.

В соответствии с этим в работе выполнена оценка влияния каждой из этих составляющих.

Методика

В работе используется методика определения массо- и теплотерь на основе критериальных уравнений теории тепло- и массообмена.

Результаты

Теплотери бассейна за счет естественной конвекции. Данные теплотери были оценены по формуле О. В. Нестеренко [7]

$$\text{Nu} = 5(\text{Ar Pr})^{0,104}, \quad (1)$$

где Nu – критерий Нуссельта, $\text{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda}$; Ar –

критерий Архимеда; Pr – число Прандтля, $\text{Pr} = \frac{V}{a}$ (a – коэффициент температуропроводности воздуха).

$$\text{Ar} = \text{Ga} \frac{\rho_B - \rho_F}{\rho_B} = \frac{g l^3}{V^2} \frac{\rho_B - \rho_F}{\rho_B},$$

где Ga – критерий Галилея, $\text{Ga} = \frac{g l^3}{V^2}$ (g – ускорение силы тяжести; V – кинематический коэффициент вязкости воздуха); ρ_B и ρ_F – плотность окружающего воздуха и воздуха в пограничном слое (вода-воздух) соответственно.

Расчеты выполнялись для зеркала бассейна площадью $F = B \times l = 10 \times 25$ м, температуры поверхности зеркала $t_{\text{п}} = 27$ °С в диапазоне изменения температуры окружающего воздуха от + 23 до – 24 °С (минимум для Днепропетровска) [11, 12].

В целях применимости для расчетов формулы (1), которая справедлива в диапазоне изменения произведения $3 \cdot 10^6 \leq \text{Ar} \cdot \text{Pr} \leq 2 \cdot 10^8$, расчеты проводились для элементарной ширины зеркала бассейна $b = 0,25$ м и длины $l = 25,0$ м. В последующем полученные результаты расчетов суммировались для всей поверхности бассейна.

Результаты расчетов зависимости коэффициентов теплоотдачи α_c от воды к воздуху в расчетном интервале температур для элементарной ячейки зеркала бассейна представлены на рис. 1.

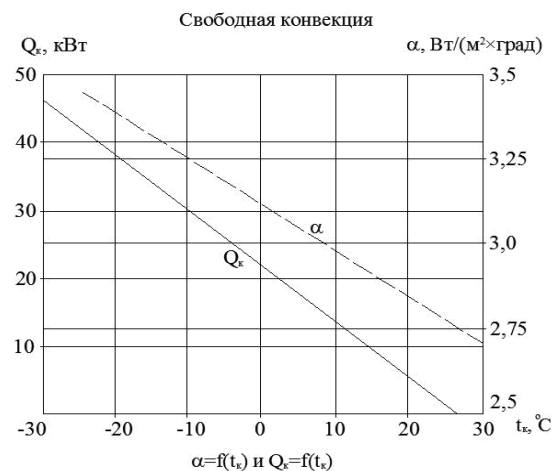


Рис. 1

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Там же представлена величина суммарних теплотерь всех элементарных ячеек бассейна за счет естественной конвекции в том же интервале температур, которые оценивались по формуле Ньютона [1–5, 8, 10, 13]

$$Q_k = \alpha_c F (t_w - t_b), \quad (2)$$

где t_w и t_b – температуры поверхности воды и окружающего воздуха соответственно.

Теплопотери при вынужденном движении воздуха над свободной поверхностью воды. Коэффициенты теплоотдачи для данных условий оценивались по критериальным зависимостям, справедливым для процессов адиабатного испарения воды [7]

$$\overline{Nu} = 0,027 Re_f^{0,9} Pr_f^{0,33} Gu^{0,175} \theta, \quad (3)$$

где Gu – температурный фактор, $Gu = \frac{T_c}{T_F}$

(T_F – абсолютная температура поверхности воды, К) или параметрический критерий.

Результаты расчетов зависимости коэффициента теплоотдачи $\alpha_k = f(w)$ от воды к воздуху в расчетном интервале температур представлены на рис. 2.

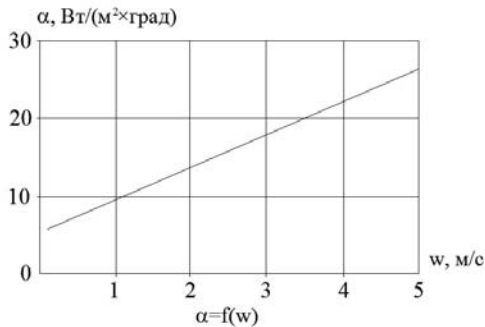


Рис. 2

На рис. 3 представлена величина теплопотерь зеркала бассейна за счет вынужденной конвекции в том же интервале температур, что и для случая теплопотерь при естественной конвекции.

Расчеты теплопотерь для различных скоростей обдува ветром поверхности бассейна выполнялись по закону Ньютона–Рихмана

$$Q_k = \alpha_k F (t_F - t_b),$$

где средний коэффициент конвективной тепло-

отдачи от свободной поверхности воды к воздуху при вынужденной конвекции определялся как

$$\alpha_k = \frac{\overline{Nu} \cdot \lambda}{b}, \quad (4)$$

где b – минимальный размер элементарной ячейки поверхности бассейна.

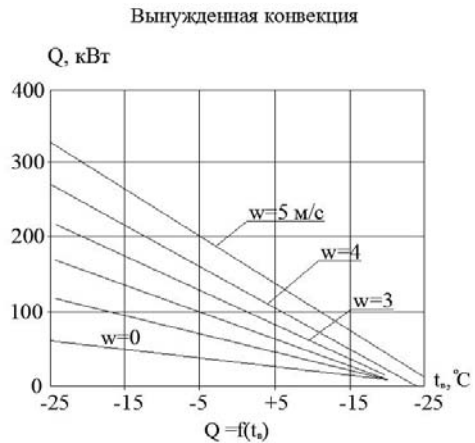


Рис. 3

Анализ полученных в результате расчетов величин теплопотерь с поверхности зеркала бассейна ДНУЖТа в расчетном диапазоне температур окружающего воздуха г. Днепропетровска показал, что даже в спокойную погоду в зимнее время они могут составлять 40...50 кВт, а при обдуве ветром доходят до 300 кВт. В пересчете на единицу площади бассейна эти потери доходят до 2 кВт/м². А если учесть еще и неадиабатичность протекания процессов теплообмена зеркала бассейна с окружающей средой, сопровождающегося процессом испарения жидкости, то величины теплопотерь могут еще более возрасти.

Исходя из этого, в работе была проведена оценка ожидаемых теплопотерь бассейна с учетом использования теплозащитного покрытия.

Расчет теплопотерь бассейна, покрытого теплоизолирующим материалом (вспененный полиэтилен). Вспененный полиэтилен выпускается в виде рулонов длиной 1,2/1,5 м, шириной 40/70 м и толщиной 10, 15 и 20 мм. Удельная плотность $\rho = 30$ кг/м³. Диапазон рабочих температур – 50...+ 105 °С. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,040$ Вт/м град.

Такие благоприятные теплофизические характеристики вполне могут быть использованы для уменьшения теплопотерь бассейна

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ДНУЖТа путем покрытия зеркала бассейна рулонным вспененным полиэтиленом в ночное и в неиспользуемое для плавания время.

Применение данного покрытия сразу исключит из перечня вышеприведенных теплопотерь потери за счет испарения жидкости. Исходя из этого, процесс передачи тепла от зеркала воды бассейна через покрытие в окружающий воздух можно представить как теплопередачу от воды к воздуху через разделяющую стенку.

Оценка теплопотерь бассейна с учетом покрытия его теплоизолирующим материалом выполнялась по зависимости

$$Q = kF(t_F - t_B), \quad (5)$$

где k – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху; F – площадь зеркала бассейна; t_B и t_F – температуры воды и воздуха.

Коэффициент теплопередачи рассчитывался по зависимости

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_F} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (6)$$

где α_F и α_B – коэффициенты теплоотдачи от воды к покрытию и от покрытия к воздуху, Вт/м²·град.; δ – толщина покрытия, м.; λ – коэффициент теплопроводности покрытия, Вт/м град.

Так как коэффициент теплоотдачи к воздуху α_B второго порядка малости по сравнению с коэффициентом теплоотдачи к воде α_F , то им можно пренебречь и зависимость (6) примет вид:

$$k = \frac{1}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B}}. \quad (7)$$

Коэффициенты теплоотдачи от покрытия к воздуху определялись по зависимости

$$Nu = 0,032 Re_\lambda^{0,8}, \quad (8)$$

где $Re = \frac{wl}{\nu}$ – критерий Рейнольдса (где l – длина бассейна).

Результаты расчетов ожидаемых коэффициентов теплоотдачи от покрытия в зависимости от температуры окружающего воздуха и скоро-

сти обдува покрытия ветром представлены на рис. 4, а на рис. 5 приведены теплопотери бассейна, покрытого теплоизолирующим материалом, в зависимости от толщины покрытия.

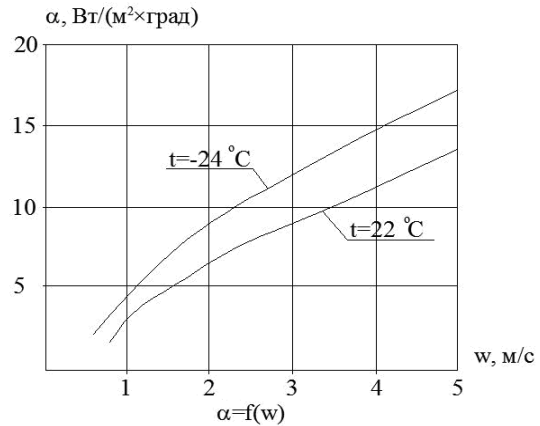


Рис. 4

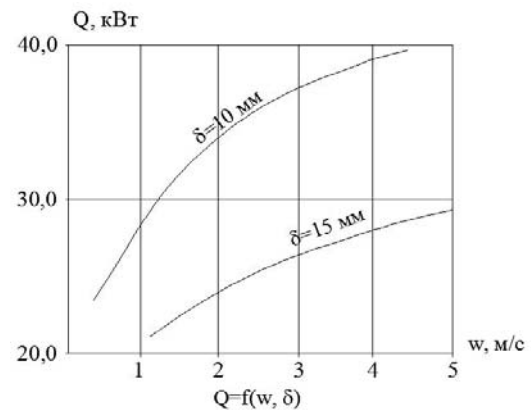


Рис. 5

Научная новизна и практическая значимость

Предложен способ защиты открытых подогреваемых плавательных бассейнов от тепловых потерь с помощью специального теплоизолирующего покрытия.

Применение его позволит в несколько раз снизить тепловые потери бассейнов, уменьшить расход тепла на их подогрев и снизить тепловое загрязнение окружающей среды.

Выводы

Сравнение расчетных теплопотерь открытого бассейна и бассейна с теплоизолирующим покрытием показало, что использование его может на порядок уменьшить теплопотери.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

А если учесть, что время полезной эксплуатации бассейна к времени простоя составляет величину порядка 50 %, то реальные потери тепла бассейном ДНУЖТа могут быть уменьшены как минимум в 5–6 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1981. – 416 с.
- Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М.; Л. : Машгиз, 1962. – 456 с.
- Лабай, В. И. Тепломассообмен / В. И. Лабай. – Львов : Триада Плюс, 1998. – 256 с.
- Лыков, А. В. Тепломассообмен. Справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1965. – 560 с.
- Мак-Адамс, В. Х. Теплопередача / В. Х. Мак-Адамс. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 686 с.
- Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 343 с.
- Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – М. : Высшая шк., 1971. – 460 с.
- Осипова, В. А. Теория подобия и размерностей, моделирование и аналогия в тепловых процессах / В. А. Осипова. – М. : МЭИ, 1962. – 115 с.
- Справочник по теплоснабжению и вентиляции : в 2 т. / под общ. ред. Р. В. Щекина. – К. : Будівельник, 1976. – 2 т.
- Теория тепломассообмена / под ред. А. И. Леонтьева. – М. : Высшая шк., 1979. – 495 с.
- Теплотехнический справочник : в 2 т. / под общ. ред. В. Н. Юренина, П. Д. Лебедева. – М. : Энергия, 1975–1976. – 2 т.
- Чиркин, В. С. Теплофизические свойства веществ / В. С. Чиркин. – М. : Физматгиз, 1959. – 356 с.
- Эккерт, Э. Р. Теория тепло- и массообмена / Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
- An overview of heat transfer enhancement methods and new perspectives: Focus on active methods using electroactive materials / L. Léal, M. Miscevic, P. Lavieille et al. // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 61. – P. 505–524.
- Heat Transfer-A Review of 2004 Literature / R. J. Goldstein, W. E. Ibele, S. V. Patankar et al. // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 53, iss. 21. – P. 4397–4447.
- Tsung-Lin, Liu. Boiling heat transfer of co- and counter-current microchannel heat exchangers with gas heating / Liu Tsung-Lin, Ben-Ran Fu, Chin Pan // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 56, iss. 1–2. – P. 20–29.

В. Ф. ІВІН^{1*}, Б. Є. БОДНАР²

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 34, ел. пошта bodnar@nz.dit.edu.ua

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДКРИТИХ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ

Мета. Економія енергоресурсів є основним завданням сучасної енергетики. До енергоємних пристроїв належать відкриті плавальні басейни, для підтримання робочого стану яких потрібна значна кількість теплової енергії, особливо в зимовий час. У роботі ставиться завдання суттєвого зниження тепловтрат відкритих плавальних басейнів на прикладі плавального басейну ДНУЗТу. **Методика.** Використовується методика визначення масо- і тепловтрат на основі критеріальних рівнянь теорії тепло- і масообміну. **Результати.** У роботі виконано розрахунки реальних теплових втрат басейна ДНУЗТа для різних пір року, як для умов природної конвекції, так і для вимушеного руху повітря над вільною поверхнею води. Показано, що для умов адиабатного випаровування води з поверхні басейну в зимовий час у разі обдування вітром тепловтрати можуть доходити до 2 кВт/м² поверхні. Для їх зниження в роботі пропонується на час, коли басейн не використовується за призначенням, покривати поверхню води в басейні спеціальним матеріалом з малою теплопровідністю на основі пористого поліетилену. Показано, що впровадження цих заходів дозволить знизити реальні тепловтрати басейну як мінімум у 5–6 разів. **Наукова новизна.** Вирішення важливої еколого-енергетичної проблеми завдяки зниженню втрат тепла басейном у різні пори року й відповідно зменшенню

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

викидів енергогенеруючих підприємств. **Практична значимість.** У роботі показано, що покриття поверхні басейну низькотеплопровідним покриттям, легким у монтажі, дозволяє знизити реальні тепловтрати як мінімум у 5–6 разів і зменшити шкідливі викиди електростанцій, які виробляють енергію для підігріву басейна.

Ключові слова: енергозбереження; економія енергоресурсів; відкриті плавальні басейни; забруднення навколишнього середовища

V. F. IVIN^{1*}, B. YE. BODNAR²

^{1*}Деп. «Heating engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 87

²Деп. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 34, e-mail bodnar@nz.diit.edu.ua

ENERGY SAVING AT OPERATION OF OUTDOOR SWIMMING POOLS

Purpose. Energy saving is a major problem in modern power engineering and various energy-consuming devices. They include outdoor swimming pools. In order to maintain them in working condition, especially in winter period, it takes significant amount of thermal energy. Task of heat loss substantial decrease in open swimming pools is considered in the article (on DNURT example). **Methodology.** The method of determining the mass and heat loss on the basis of criteria equations of heat and mass transfer theory is used. **Findings.** Calculations of the actual DNURT pool heat loss for different seasons, as for natural convection both for air forced motion above the free water surface are performed. It is shown that for the adiabatic evaporation conditions of water from the pool in winter during blow-off with wind the heat loss can be up to 2 kW/m² on surface. To reduce these losses it is offered to cover water surface in a pool with a special material with low thermal conductivity on the basis of porous polyethylene during the time when the pool is not used for other purposes. It is shown that the implementation of these standards will reduce the actual heat loss, at least 5-6 times. **Originality.** The solution of important environmental and energy problem thanks to reducing heat losses by the pool in different times of a year and correspondingly lower emissions of power generating enterprises. **Practical value.** It is shown that the coating surface of the pool with poorly heat-conducting and easy to install coating will let, at a minimum, to reduce the actual heat loss on 5-6 times and reduce the emissions of power plants generating energy for pool heating.

Keywords: energy saving; energy supply economy; outdoor swimming pools; environmental pollution

REFERENCES

1. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teplotperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1981. 416 p.
2. Kutateladze S.S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. Moscow, Leningrad, Mashgiz Publ., 1962. 456 p.
3. Labay V. I. *Teplomassoobmen* [Heat and Mass Transfer]. Lviv, Triada Plus Publ., 1998. 256 p.
4. Lykov A.V. *Teplomassoobmen. Spravochnik* [Heat and Mass Transfer. Thermal guide]. Moscow, Energiya Publ., 1965. 560 p.
5. Mak-Adams V.H. *Teplotperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1961. 686 p.
6. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Osnovy teplotperedachi* [Fundamentals of Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p.
7. Nesterenko A.V. *Osnovy termodinamicheskikh raschetov ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Fundamentals of thermodynamic calculations of ventilation and air-conditioning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 460 p.
8. Osipova V.A. *Teoriya podobiya i razmerennostey, modelirovaniye i analogiya v teplovykh protsessakh* [Similarity theory and regularity, analogy and modeling in thermal processes]. Moscow, MEI Publ., 1962. 115 p.
9. Shchekin R.V. *Spravochnik po teplosnabzheniyu i ventilyatsii. V 2-kh tomakh* [Handbook of heating and ventilation. Volume 1, 2]. Kyiv, Budivel'nik Publ., 1976.
10. Leontyev A.I. *Teoriya teplomassoobmena* [Theory of Heat and Mass Transfer]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1979. 495 p.
11. Yurenev V.N., Lebedev P.D. *Teplotekhnicheskii spravochnik. V 2-kh tomakh* [Thermal guide. Volume 1, 2]. Moscow, Energiya Publ., 1975-1976.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Chirkin V.S. *Термофизические свойства веществ* [Thermo-physical properties of materials]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 356 p.
13. Ekkert Ye.R., Dreyk R.M. *Теория тепло- и массообмена* [Theory of Heat and Mass Transfer]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1961. 680 p.
14. Léal L., Miscevic M., Lavieille P. An overview of heat transfer enhancement methods and new perspectives: Focus on active methods using electroactive materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 61, pp. 505-524.
15. Goldstein R.J., Ibele W.E., Patankar S.V. Heat Transfer-A Review of 2004 Literature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, issue 21, pp. 4397-4447.
16. Tsung-Lin Liu, Ben-Ran Fu, Chin Pan. Boiling heat transfer of co- and counter-current microchannel heat exchangers with gas heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 56, issue 1-2, pp. 20-29.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию 15.08.2013

Принята к печати 04.09.2013