

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК [536.24:004.94]:[725.1:613.47-026.912]

М. В. ШАПТАЛА^{1*}, Д. Е. ШАПТАЛА^{2*}

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+ 38 (056) 373 15 87, эл. почта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

^{2*}Каф. «Теплотехника и газоснабжение», Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24 а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, эл. почта darja-osestjanskaja@ Rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАСООБМЕНА ОТКРЫТОГО ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

Цель. В настоящее время эксплуатация открытых плавательных бассейнов часто оказывается нерентабельной и, несмотря на их востребованность, такие бассейны массово закрываются. Проблема состоит в том, что на данный момент не существует цельной математической модели определения, которая бы позволила качественно оценивать эффект от проведения энергосберегающих мероприятий. Целью данной работы является разработка математической модели процессов тепло- и массообмена открытого плавательного бассейна для расчета основных тепловых и массовых потерь, имеющих место при его эксплуатации. **Методика.** Используется методика определения тепловых и массовых потерь на основе критериальных уравнений теории подобия. **Результаты.** Проанализированы основные виды потерь теплоты и массы открытого бассейна, из них выделены и математически описаны наиболее значимые: за счет испарения воды с поверхности бассейна, за счет естественной и вынужденной конвекции, за счет излучения в окружающую среду, расхода теплоты на нагрев подпиточной воды. **Научная новизна.** Разработана математическая модель процессов тепло- и массообмена открытого плавательного бассейна, которая позволяет рассчитывать основные тепловые и массовые потери, имеющие место при его эксплуатации. **Практическая значимость.** Разработана и реализована в виде программного комплекса методика определения массовых и тепловых потерь открытого плавательного бассейна, основанная на предложенной авторами математической модели. Данная методика может быть использована для концептуального проектирования энергоэффективных конструкций открытых бассейнов для оценки энергозатратности их использования и выбора оптимальных энергосберегающих мероприятий. Дальнейшим этапом научных исследований по данному направлению является экспериментальная проверка достоверности разработанной методики расчета тепловых потерь открытого плавательного бассейна при его эксплуатации на примере бассейна Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Бассейн открытый, с подогревом воды от университетской котельной, эксплуатируется круглогодично.

Ключевые слова: математическая модель; массовые и тепловые потери; открытый плавательный бассейн; интенсивность испарения; фактор активности; естественная и вынужденная конвекция

Введение

В связи с регулярным ростом цен на топливные ресурсы и согласно государственной политике Украины по энергосбережению необ-

ходимо разрабатывать мероприятия по снижению энергозатрат в коммунально-бытовом секторе страны. В частности, значительные тепловые нагрузки требуются на обеспечение работы

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

открытых плавательных бассейнов в учебных заведениях, спортивных комплексах, оздоровительных организациях и пр. В связи с этим, эксплуатация открытых бассейнов часто не рентабельна и, не смотря на их востребованность, такие бассейны массово закрываются. Проблема состоит в том, что на данный момент времени не существует цельной математической модели определения тепловых потерь открытых плавательных бассейнов, которая бы позволила качественно оценивать эффект от проведения энергосберегающих мероприятий [1].

При оценке тепловых потерь в открытом плавательном бассейне, которая была проведена в работе [3], учитывались потери только за счет естественной и вынужденной конвекции. Однако, известно [13], что основные потери теплоты как открытых, так и закрытых бассейнов, обусловлены испарением воды и составляют от 50 до 70 % общих тепловых потерь. Кроме этого, имеют место другие тепловые потери. В целом, теплотопери открытого бассейна при его эксплуатации включают:

1. Потери теплоты за счет испарения воды с поверхности бассейна.
2. Потери теплоты за счет естественной и вынужденной конвекции.
3. Потери теплоты за счет излучения в окружающую среду.
4. Расход теплоты на нагрев подпиточной воды.
5. Потери теплоты в грунт. Данные тепловые потери для заглубленных в грунт открытых бассейнов принимают во внимание только при первоначальном подогреве воды, когда происходит прогрев примыкающих элементов бассейна и грунта. При длительной эксплуатации они аккумулируют теплоту, вследствие чего эти потери существенно снижаются.

Цель

Цель работы – разработка математической модели процессов тепломассобмена открытого плавательного бассейна, которая позволит определять основные тепловые потери, имеющие место при его эксплуатации.

Методика

Используется методика определения тепловых и массовых потерь на основе критериальных уравнений теории подобия.

Разработка методики расчета тепловых потерь открытого бассейна. Разрабатываемая методика основана на определении массовых и тепловых потерь с помощью эмпирических и критериальных уравнений теории тепло- и массообмена.

Тепловые потери за счет испарения воды. Наибольшие тепловые потери, при эксплуатации бассейнов, наблюдаются за счет испарения воды с поверхности бассейна. Это объясняется тем, что при этом процессе теряется теплота парообразования, которая составляет 2,33 МДж на каждый килограмм испаренной влаги. В соответствии с [11, 10] интенсивность испарения, кг/ч, с поверхности открытого бассейна в период бездействия составляет:

$$W_{\sigma} = \frac{(320,4 + 281,52 v)}{r} F (P_{ж} - P_{в}), \quad (1)$$

где v – скорость окружающего воздуха над поверхностью зеркала бассейна, м/с; r – теплота парообразования при температуре воды в бассейне, кДж/кг; F – площадь поверхности бассейна, м²; $P_{ж}$ и $P_{в}$ – давление насыщенного водяного пара при температуре поверхности воды в бассейне и температуре окружающего воздуха соответственно, кПа.

В период использования бассейна интенсивность испарения увеличивается ввиду наличия волнообразования и разбрызгивания воды, создаваемого купающимися, и может быть определена по соотношению (1) с учетом фактора активности [8, 13]:

$$W_a = W_{\sigma} \Phi_a, \quad (2)$$

где Φ_a – фактор активности;

$$\Phi_a = 1,08 + 0,3623 n, \quad (3)$$

где n – число купающихся в бассейне на 1 м².

Количество теплоты, теряемое с испаренной влагой, рассчитывается из соотношения, Вт:

$$Q_{исп} = W_a r 0,278, \quad (4)$$

где 0,278 – переводной коэффициент; r – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг. Величина r зависит от температуры воды в бассейне ($t_{в}$), и ее можно определить по следующей эмпирической формуле, предложенной М. И. Фильнеем [5, 7]:

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$r = 2\,500 - 2,38 t_B. \quad (5)$$

Тепловые потери за счет естественной и вынужденной конвекции. Тепловые потери за счет естественной конвекции определяются исходя из критериального уравнения [9]:

$$\overline{Nu}_{e,k} = \begin{cases} 0,54 Ra^{\frac{1}{4}}, & \text{при } 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \\ 0,15 Ra^{\frac{1}{3}}, & \text{при } 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \end{cases}, \quad (6)$$

где $\overline{Nu}_{e,k}$ – критерий подобия Нуссельта для естественной конвекции; Ra – число Рэлея, безразмерное число, определяющее поведение жидкости под воздействием градиента температуры.

Тепловые потери за счет вынужденной конвекции. Рассматривается невозмущенный режим течения вдоль плоской поверхности [6].

При ламинарном режиме движения $Re < 5 \cdot 10^5$:

$$\overline{Nu}_{e,k} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}. \quad (7)$$

При турбулентном режиме $Re > 5 \cdot 10^5$:

$$\overline{Nu}_{e,k} = 0,037 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (8)$$

где $\overline{Nu}_{e,k}$ – критерий подобия Нуссельта для вынужденной конвекции.

В последствие, величина тепловых потерь за счет конвекции рассчитывается по закону Ньютона-Рихмана, Вт [4]:

$$Q_k = \alpha_k F (t_B - t_{возд}), \quad (9)$$

где t_B и $t_{возд}$ – температуры поверхности воды и потока воздуха соответственно, °С; α_k – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией, который определяется как сумма коэффициентов теплоотдачи при естественной конвекции

$\alpha_{e,k}$ и вынужденной конвекции $\alpha_{e,k}$, $\frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$:

$$\alpha_k = \alpha_{e,k} + \alpha_{e,k}. \quad (10)$$

При этом

$$\alpha_{e,k} = \frac{\overline{Nu}_{e,k} \lambda}{l}, \quad (11)$$

$$\alpha_{e,k} = \frac{\overline{Nu}_{e,k} \lambda}{l}, \quad (12)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воды, $\frac{Вт}{м \times ^\circ C}$; l – длина поверхности теплообмена в направлении потока воздуха, м.

Тепловые потери за счет излучения в окружающую среду. Количество теплоты, отдаваемое поверхностью воды за счет излучения, определяется по формуле [5], Вт:

$$Q_l = \varepsilon_n C_0 F \left[\left(\frac{T_B}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{возд}}{100} \right)^4 \right] \Psi, \quad (13)$$

где ε_n – приведенная степень черноты системы; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\frac{Вт}{м^2 \times K^4}$; T_B и $T_{возд}$ – температуры поверхности воды и потока воздуха соответственно, К; Ψ – угловой коэффициент.

Расход теплоты на нагрев подпиточной воды. Согласно [2] на пополнение плавательного бассейна необходимо подавать в среднем за сутки подготовленную воду в объеме 10 % от емкости бассейна. Таким образом, необходимое количество подпиточной воды в сутки определяется, кг:

$$dm = V \rho \theta, \quad (14)$$

где V – объем бассейна, $м^3$; ρ – плотность воды, $кг/м^3$.

Кроме этого, необходимо включать в состав подпиточной воды объем испарившейся воды, поэтому количество теплоты, необходимое для нагрева подпиточной воды определяется следующим образом, Вт:

$$Q_{подн} = (dm + W_a \rho) (t_B - t_{возд}) C_p, \quad (15)$$

где C_p – удельная теплоемкость воды, $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$.

Суммарные тепловые потери при эксплуатации открытого плавательного бассейна. Таким образом, суммарные тепловые потери открытого бассейна составляют, Вт:

$$Q_{сумм} = Q_{исп} + Q_k + Q_l + Q_{подн}. \quad (16)$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Результаты

Проанализированы основные виды потерь теплоты и массы открытым бассейном и из них выделены и математически описаны наиболее значимые: за счет испарения воды с поверхности бассейна, за счет естественной и вынужденной конвекции, за счет излучения в окружающую среду, расход теплоты на нагрев подпиточной воды.

Научная новизна и практическая значимость

Разработана математическая модель тепло-массообменных процессов открытого плавательного бассейна, которая позволяет рассчитывать основные тепловые потери, имеющие место при его эксплуатации. Разработана методика определения массовых и тепловых потерь открытого плавательного бассейна, основанная на предложенной авторами математической модели. Методика реализована в виде программного комплекса и позволяет производить расчеты, с помощью которых можно оценивать энергозатратность использования открытого бассейна и определять степень эффективности энергосберегающих мероприятий.

Выводы

Дальнейшим этапом научных исследований по данному направлению является экспериментальная проверка достоверности разработанной методики расчета тепловых потерь открытого плавательного бассейна при его эксплуатации на примере бассейна ДНУЖТ им. ак. Лазаряна. Бассейн открытый, с подогревом воды от университетской котельной, эксплуатируется круглогодично.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Габрінець, В. О. Шляхи підвищення ефективності енергетичних підрозділів залізничного транспорту / В. О. Габрінець, Є. В. Христян, І. В. Титаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 187–190.
2. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. – Введ. 01.03.2013. – Київ : Мінрегіон України, 2013 – 104 с.
3. Ивин, В. Ф. Энергосбережение при эксплуатации открытых плавательных бассейнов / В. Ф. Ивин, Б. Е. Боднар // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 40–46.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Москва : Энергия, 1977. – 343 с.
5. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – Москва : Высш. шк., 1971. – 460 с.
6. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник / Х. Уонг. – Москва : Атомиздат, 1979. – 216 с.
7. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства веществ / В. С. Чиркин. – Москва : Физматгиз, 1959. – 356 с.
8. Almanza, R. Energy requirements for a swimming pool through a water-atmosphere energy balance / R. Almanza, J. Lara // Solar Energy. – 1994. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 37–39. doi:10.1016/S0038-092X(94)90602-5.
9. Bejan, A. Heat Transfer Handbook / A. Bejan, D. A. Kraus. – New-York : John Wiley & Sons Ltd., 2003. – 1488 p.
10. Jones, R. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool / R. Jones, Charles C. Smith, G. Löf // Proc. of the 1993 Annual Conf. of the American Solar Energy Society. – Washington D.C., 1993. – 245 p.
11. Jones, R. Measurement and Analysis of Evaporation From an Inactive Outdoor Swimming Pool / R. Jones, C. Charles Smith, G. Löf // Solar Energy. – 1994. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 3–7. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90597-5.
12. Jones, R. Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use / R. Jones, Charles C. Smith, G. Löf // American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Transactions. – 1998. – Vol. 104. – 514 p.
13. Reducing swimming pool heat loss / E Source Companies LLC/1986-2011/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mge.com/images/PDF/Brochures/residential/ReducingSwimmingPoolHeatLoss.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.04. 2014.

М. В. ШАПТАЛА^{1*}, Д. Є. ШАПТАЛА^{2*}

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

^{2*}Каф. «Теплотехніка та газопостачання», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, ел. пошта darja-osetjanskaja@rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ВІДКРИТОГО ПЛАВАЛЬНОГО БАСЕЙНУ

Мета. В даний час експлуатація відкритих плавальних басейнів часто виявляється нерентабельною і, не дивлячись на їх затребуваність, такі басейни масово закриваються. Проблема полягає в тому, що на даний момент не існує цілісної математичної моделі, яка б дозволила якісно оцінювати ефект від проведення енергозберігаючих заходів. Метою даної роботи є розробка математичної моделі процесів тепло- і масообміну відкритого плавального басейну для розрахунку основних теплових і масових втрат, що мають місце при його експлуатації. **Методика.** Використовується методика визначення теплових і масових втрат на основі критеріальних рівнянь теорії подібності. **Результати.** Проаналізовано основні види втрат теплоти і маси відкритого басейну, з них виділені і математично описані найбільш значущі: за рахунок випаровування води з поверхні басейну, за рахунок природної і вимушеної конвекції, за рахунок випромінювання в навколишнє середовище, витрати теплоти на нагрів підживлювальної води. **Наукова новизна.** Розроблено математичну модель процесів тепло- і масообміну відкритого плавального басейну, яка дозволить розраховувати основні теплові і масові втрати, що мають місце при його експлуатації. **Практична значимість.** Розроблена та реалізована у вигляді програмного комплексу методика визначення масових і теплових втрат відкритого плавального басейну, яка заснована на запропонованій авторами математичній моделі. Дана методика може бути використана для концептуального проектування енергоефективних конструкцій відкритих басейнів, для оцінки енерговитратності їх використання та вибору оптимальних енергозберігаючих заходів. Подальшим етапом наукових досліджень по даному напрямку є експериментальна перевірка достовірності розробленої методики розрахунку теплових втрат відкритого плавального басейну при його експлуатації на прикладі басейну Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Басейн відкритий, з підгрівом води від університетської котельні, експлуатується цілий рік.

Ключові слова: математична модель; масові та теплові втрати; відкритий плавальний басейн; інтенсивність випаровування; фактор активності; природна і вимушена конвекція

M. V. SHAPTALA^{1*}, D. E. SHAPTALA^{2*}

^{1*}Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

^{2*}Dep. «Heat Engineering and Gas Supply», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskiy St., 24a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. + 38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, e-mail darja-osetjanskaja@rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN THE OUTDOOR SWIMMING POOL

Purpose. Currently exploitation of outdoor swimming pools is often not cost-effective and, despite of their relevance, such pools are closed in large quantities. At this time there is no the whole mathematical model which would allow assessing qualitatively the effect of energy-saving measures. The aim of this work is to develop a mathematical model of heat and mass exchange processes for calculating basic heat and mass losses that occur during its exploitation. **Methodology.** The method for determination of heat and mass losses based on the theory of similarity criteria equations is used. **Findings.** The main types of heat and mass losses of outdoor pool were analyzed. The most significant types were allocated and mathematically described. Namely: by evaporation of water from the surface of the pool, by natural and forced convection, by radiation to the environment, heat consumption for water heating.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Originality. The mathematical model of heat and mass exchange process of the outdoor swimming pool was developed, which allows calculating the basic heat and mass losses that occur during its exploitation. **Practical value.** The method of determining heat and mass losses of outdoor swimming pool as a software system was developed and implemented. It is based on the mathematical model proposed by the authors. This method can be used for the conceptual design of energy-efficient structures of outdoor pools, to assess their use of energy-intensive and selecting the optimum energy-saving measures. A further step in research in this area is the experimental validation of the method of calculation of heat losses in outdoor swimming pools with its use as an example the pool of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. The outdoor pool, with water heating-up from the boiler room of the university, is operated year-round.

Keywords: mathematical model; mass and heat losses; outdoor swimming pool; evaporation rate; factor activity; natural and forced convection

REFERENCES

1. Habrinets V.O., Khrystian Ye.V., Tytarenko I.V. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti enerhetychnykh pidrozdilov zaliznychnoho transportu [Ways to improve the energy units' efficiency of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 187-190.
2. *DBN V.2.5-64:2012. Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia*. [Plumbing and sewage system]. Kyiv, Minrehion Ukrainy Publ., 2013. 104 p.
3. Ivin V.F., Bodnar B.Ye. Energoberezheniye pri ekspluatatsii otkrytykh plavatelnykh basseynov [Energy saving at operation of outdoor swimming pool]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 40-46.
4. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer principles]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p.
5. Nesterenko A.V. *Osnovy termodinamicheskikh raschetov ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Fundamentals of thermodynamic calculations of air ventilation and conditioning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 460 p.
6. Uong Kh. *Osnovnyye formuly i dannyye po teploobmenu dlya inzhenerov* [The basic formulas and data on heat exchange for engineers]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 216 p.
7. Chirkin V.S. *Teplofizicheskiye svoystva veshchestv* [Thermophysical properties of substances]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 356 p.
8. Almanza R., Lara J. Energy requirements for a swimming pool through a water-atmosphere energy balance. *Solar Energy*, 1994, vol. 53, issue 1, pp. 37-39. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90602-5.
9. Bejan A., Kraus D.A. *Heat Transfer Handbook*. New-York, John Wiley & Sons Ltd., 2003. 1488 p.
10. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool. Proc. of the 1993 Annual Conf. of the American Solar Energy Society. Washington D.C., 1993. p. 245.
11. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool. *Solar Energy*, 1994, vol. 53, issue 1, pp. 3-7. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90597-5.
12. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use. *American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers Transactions*, 1998, vol. 104, p. 514.
13. Reducing swimming pool heat loss. E Source Companies LLC/1986-2011/. Available at: <http://www.mge.com/images/PDF/Brochures/residential/ReducingSwimmingPoolHeatLoss.pdf> (Accessed 23 April 2014).

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Ф. Иродовым (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию: 20.08.2014

Принята к печати: 23.10.2014