

*A. V. Volkova, E. M. Ilyina, K. A. Starkova, A. Yu. Morozov*  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
as-volk@mail.ru, ilyichova@gmail.com, star-kristin@yandex.ru

## ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТЕРЬ

*В работе изложены ход экспериментов и их результаты, доказывающих актуальность разработанной математической модели процессов теплообмена открытого бассейна для определения основных тепловых потерь.*

*Ключевые слова: энергосбережение; экономия энергоресурсов; открытые плавательные бассейны; теплообмен.*

*A. V. Volkova, E. M. Ilyina, K. A. Starkova, A. Yu. Morozov*  
Ural Federal University, Ekaterinburg

## JUSTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE LOSS OF HEAT

*The paper presents the course of experiments and their results proving the relevance of the developed mathematical model of heat and mass transfer processes in the open pool to determine the main heat losses.*

*Keywords: energy saving; energy saving; outdoor swimming pools; heat and mass transfer.*

В настоящее время набирает популярность устройство открытых подогреваемых бассейнов, эксплуатируемых в холодный период года. При проектировании бассейна также важно учитывать процессы тепло- и массообмена (ТМО) на поверхности открытого бассейна.

Некорректный учет этих параметров ведет к необоснованному увеличению или занижению капитальных и эксплуатационных затрат при эксплуатации бассейна (подпитка и водоподготовка, расход теплоты на подогрев воды и т.п.), а также к неправильному режиму его работы. В связи с этим, эксплуатация открытых бассейнов часто не рентабельна, несмотря на их растущую востребованность. Таким образом разработка математической модели для определения энергозатрат открытых бассейнов является актуальной задачей.

Описание процессов ТМО на границе «вода-воздух» предлагается в различных источниках [1–4]. Из аналитического обзора установлено, что основные теплотери с поверхности воды, обусловлены затратами теплоты на испарение воды с поверхности воды, которые ориентировочно составляют 50–70 % от общих теплотери.

В среде *Excel* нами была разработана модель для определения теплотери и интенсивности испарения влаги с водяной поверхности. В основе модели – система эмпирических и критериальных уравнений теории тепло- и массообмена:

1. Наибольшие потери, наблюдающиеся при эксплуатации любых бассейнов – тепловые потери за счет испарения воды. Согласно [1, 2] величину потока массы пара с поверхности открытого бассейна в период бездействия составляет:

$$W = \beta'(p_1 - p_2) \frac{760}{P_6} , \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right] \quad (1)$$

где  $\beta'$  – коэффициент массообмена кг/(м<sup>2</sup>·ч·мм рт. ст.);

$p_1$  – парциальное давление паров на поверхности жидкости при 100 %-ном насыщении и температуре поверхности жидкости, мм рт. ст.;

$p_2$  – парциальное давление паров жидкости в окружающем воздухе, мм рт. ст.;

2. Поток скрытой теплоты, Вт, поступающий в воздух с водяными парами:

$$Q = W \cdot r, [\text{Вт}] \quad (2)$$

где  $r$  – теплота парообразования при температуре воды в бассейне, кДж/кг.

3. Величины потока теплоты и массы вещества за счет естественной и вынужденной конвекции, согласно [1], учитывая критерии Нуссельта:

$$Q = Nu \frac{\lambda}{L} \cdot (t_1 - t_2)F, [\text{Вт}] \quad (3)$$

$$W = Nu' \frac{D'}{L} \cdot (p_1 - p_2)F, [\text{кг/ч}] \quad (4)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – температуры поверхности жидкости и окружающей среды;

$p_1$  и  $p_2$  – парциальные давления паров жидкости на ее поверхности и в окружающей среде;

$D'$  – коэффициент диффузии, отнесенный к градиенту парциального давления.

Для проверки адекватности разработанной математической модели был проведен натурный эксперимент. Целью эксперимента являлось определение реальной интенсивности испарения с поверхности воды.

Объектом исследования была открытая поверхность воды круглой формы ( $0,02 \text{ м}^2$ ). В течение эксперимента измерялись температуры и относительной влажности окружающего воздуха, температуры поверхности воды и воды в толще воды, масса воды.

В эксперименте использовался автономный поверенный регистратор Логгер 100-ТВ, предназначенный для измерения и регистрации относительной влажности и температуры воздуха с заданными интервалами времени.

Сравнение результатов эксперимента и численного моделирования значения приведено в таблице.

### Сравнение результатов эксперимента

Параметры	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
Температура воздуха, °С	17,2	18,4	16,4	18,9
Отн. влажность, %	38	42,8	40,7	49,2
t° точки росы, °С	2,7	5,5	3	8
t° глубины жид., °С	15,2	17,5	15,2	15,9
t° поверхности жид., °С	15,5	17,7	15,5	16,2
Среднее расчетное кол-во воды, испаряющееся с поверхности ванны, г/(ч·м <sup>2</sup> )	257,85	159,2	174,15	213,65
Фактич. кол-во воды, испаряющееся с поверхности ванны, г/(ч·м <sup>2</sup> )	257,15	158,6	173,7	212,5
Расхождение, %	1	1	1	1

Из таблицы очевидна достаточно хорошая сходимость, что подтверждает адекватность разработанной модели.

Дальнейшим этапом исследования предполагается определение потерь теплоты и массы с неровной водяной поверхности с учетом купающихся, фонтанов и других элементов инфраструктуры бассейнов.

#### Список использованных источников

1. Нестеренко А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие. Изд. 3-е, доп. М. : Высшая школа, 1971. 460 с.
2. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И. Расчеты процессов тепло- и массообмена при проектировании вентиляции. Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2004. 87 с.
3. Шаптала М. В., Шаптала Д. Е. Разработка математической модели процессов тепломассообмена открытого плавательного бассейна // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. 2014. № 6 (54). С. 113–118.
4. Каплер Х. П. Индивидуальный бассейн : справ. пособие / пер. с нем. Е. Ш. Фельдман, Д. Г. Копелянский; под ред. Е. М. Лось. М. : Стройиздат, 1993. 96 с.