

ENGINEERING SCIENCES

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹Канд. техн. наук, доц. Ходарина Кристина Валериевна,²Канд. техн. наук, доц. Гаркуша Галина Геннадиевна,³Хлопецкая Лариса Федоровна

Украина, Мариуполь, Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия»;

¹Докторант Национального университета «Одесская морская академия»;²Профессор Одесской национальной морской академии;³Старший преподавательDOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/28022020/6918**ARTICLE INFO****Received:** 18 December 2019**Accepted:** 20 February 2020**Published:** 28 February 2020**KEYWORDS**

ship microclimate,
mathematical model,
algorithm,
control system,
optimal solution.

ABSTRACT

An approach to solving the problem of optimizing the climate control process in a ship's room using elements. The specific microclimate of the ship's premises is determined by their isolation from external atmospheric influences, small volumes and a relatively large number of people, as well as the saturation with various mechanisms, systems, devices, various cargoes transported and the features of the marine climate. Presented technical solutions at the stage of elaboration and the implementation of algorithms based on modern components assume performance of the specified requirements for normal operation of ventilation systems and conditioning of the working area. The article presents the algorithm of the methodology and calculation of elements of system of ventilation and air conditioning systems with rapidly varying air flow in one zone of production facilities. With the aim of improving the accuracy, speed and efficiency, the integrated system that combines proper ventilation, air conditioning and a quantitative regulation of intake air.

Citation: Ходарина К. В., Гаркуша Г. Г., Хлопецкая Л. Ф. (2020) Modelirovanie i Algoritmizaciya Processov Upravleniya Ekspluataciej Sudovyh Energeticheskikh Sistem. *International Academy Journal Web of Scholar*. 2(44). doi: 10.31435/rsglobal_wos/28022020/6918

Copyright: © 2020 Ходарина К. В., Гаркуша Г. Г., Хлопецкая Л. Ф. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Введение. Для решения задачи уравнения судовыми электроэнергетическими установками с элементами оптимизации, необходим математический аппарат, учитывающий значения всех основных параметров и факторов, а также зависимости между ними.

Необходимо задать: структуру обслуживающей системы, типы и количество структурных составляющих системы, условия работоспособности и эксплуатации системы, структуру обслуживающих подсистем.

Задача оптимального управления судовыми электроэнергетическими установками относится к классу задач, в котором нужно максимально приблизить математическую модель к реальному объекту.

Для решения поставленной задачи, необходимо разработать математические модели термодинамического состояния теплового режима, включающие кондиционирование и вентиляцию судового помещения с минимизацией расхода энергии.

Результаты исследования. Задача оптимизации расхода энергии может быть рассмотрена как задача оптимального управления электроэнергетическими установками при определенных начальных условиях, для которых функция:

$$W = \int_{t_2}^{t_1} Q(t)dt, \quad (1)$$

принимает наименьшее из возможных значений.

Пусть $T_{R.st}$ будет начальное (при $t=t_0$), а $T_{R.end}$ – конечное (при $t=t_1$) значение температуры внутреннего воздуха. Функцию $Q(t)$, определенную на отрезке $[t_0, t_1]$, будем называть управлением. Управление $Q(t)$ называется допустимым, если функция $Q(t)$ кусочно непрерывна на отрезке $[t_0, t_1]$ и ее значения не выходят за пределы некоторого множества U . Очевидно, что всякое допустимое управление ограничено.

Управление $Q(t)$, дающее решение поставленной задачи, называется оптимальным управлением, соответствующим переходу от начальной температуры $T_{R.st}$ к конечной температуре $T_{R.end}$, а соответствующая траектория изменения температуры объекта $TR(t)$ – оптимальной траекторией.

Решение поставленной задачи оптимального управления электроэнергетическими установками позволяет получить следующие условия:

- 1) Если время перехода от начальной температуры помещения до требуемой конечной температуры помещения минимально, то минимизируются затраты энергии на разогрев и охлаждение судового помещения.
- 2) Разогрев или охлаждение судовых помещений необходимо начинать с разогрева или охлаждения наиболее теплоемких составляющих теплового баланса помещения.
- 3) Для того, чтобы управление расходом энергии было оптимальным, необходимо стремиться к тому, чтобы первое и второе, изложенные выше положения выполнялись одновременно.

Поставленная цель создания управляющей системы достигается тем, что система управления электроэнергетическими установками, содержащая: ПИД-регуляторы микроклимата, регуляторы параметров, характеризующих формирование микроклимата, регуляторы внешних метеоусловий, связанные через интерпретатор ввода/вывода данных с блоком вычислений, управляющим, в свою очередь, через интерпретатор исполнительными устройствами, дополнительно содержит программный блок-компилятор показаний регуляторов внешних метеоусловий, передающий смоделированные показания регуляторов в блок вычислений [1, 2].

На рисунке 1 показана укрупненная схема управления электроэнергетическими установками.

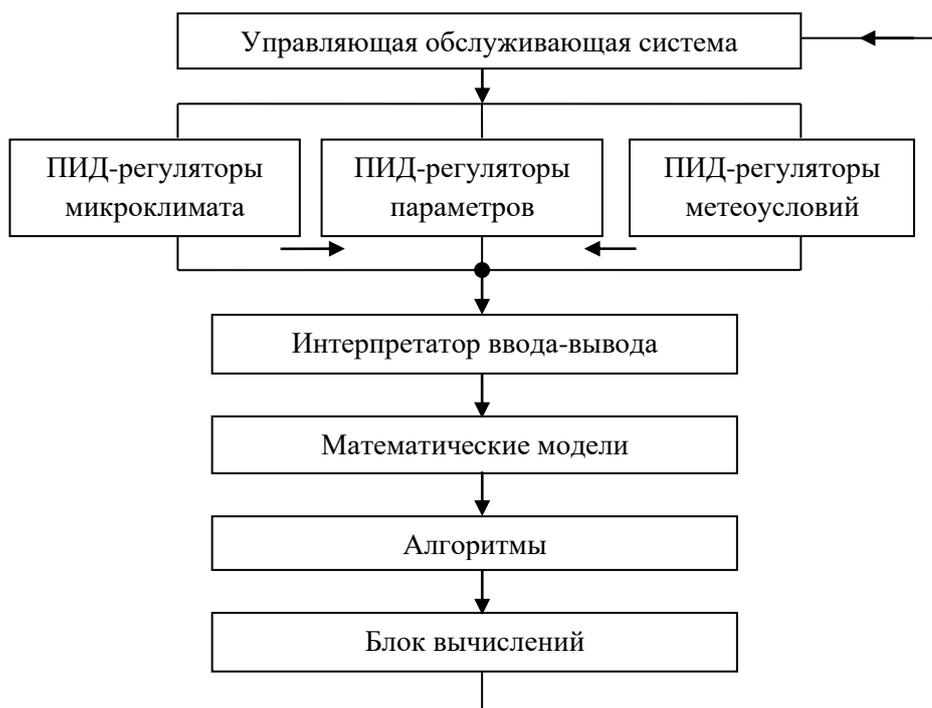


Рис. 1. Укрупненная схема управления электроэнергетическими установками

Система работает следующим образом. Процесс управления разделен на циклы равной продолжительности. В начале каждого цикла производится последовательный опрос ПИД-регуляторов. Блок вычислений через интерпретатор опрашивает ПИД-регуляторы и получает его сценарий. Время, затрачиваемое на преобразование и ввод измерительной информации в блок вычислений, значительно меньше периода колебаний в управляемом процессе. Поэтому вся измерительная информация одного цикла вводится практически одновременно. После того, как вся измерительная информация передана в запоминающее устройство, в течение некоторого времени блок вычислений производит обработку поступивших данных и расчет необходимых управляющих сигналов. Затем управляющий сигнал от интерпретатора к исполнительным устройствам вырабатывает величину управляющего воздействия, которая сохраняется неизменной на протяжении данного цикла управления.

Затем обработанная и обобщенная измерительная информация о ходе процесса и состоянии технологического оборудования передается блоком вычислений на запоминающее устройство и на необходимые периферийные устройства. После чего система переходит в состояние ожидания либо к выполнению вспомогательных расчетов, которые могут прерываться без нарушения программы и промежуточных результатов на время очередного цикла управления.

Время между циклами управления используется для самообучения системы, которое осуществляется следующим образом.

К блоку вычислений подключается программный блок математической модели теплового режима помещения. На период между циклами управления блок вычислений включает программный блок-компилятор показаний регуляторов внешних метеоусловий.

Необходимый воздухообмен в помещении определяется на основе удельных норм воздухообмена и на основе расчета воздухообмена, необходимого для обеспечения допустимых концентраций загрязняющих веществ. Система вентиляции может работать «на максимум» так, чтобы гарантировать нормальный уровень CO_2 (согласно действующим стандартам, до 2000 мг/м^3) и других вредных выделений, но такое решение проблемы качества воздуха является неэнергоэффективным.

Воздухообмен в помещении рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{m_{po}}{q_{oz} - q_n}, \quad (2)$$

где q_{oz} – уровень вредных выделений в помещении;

m_{po} – поступление вредных веществ в помещение;

q_n – уровень вредных веществ в подаваемом воздухе.

К вредным выделениям можно отнести: паровыделения и газовыделения, пылевыведения, дымовыведения (аэрозоли), мельчайшие твердые частицы, свободно витающие в воздухе, тумановыведения – образование в воздухе мельчайших частиц той или иной жидкости. Необходимо разработать такие элементы системы вентиляции и кондиционирования, которые обеспечили бы требуемую температуру и качество воздуха в отдельных зонах (помещениях), затрачивая на достижение этой задачи минимальное количество энергии.

Для обеспечения требуемых оптимальных условий в обслуживаемую зону судового помещения подается смесь приточного и рециркуляционного воздуха. В процессе смешения подаваемый воздух ассимилирует избыточное тепло, влагу и другие вредные вещества. С точки зрения математического моделирования, модель помещения представляет собой совокупность неоднородных параметров. Рассредоточение вредных веществ в помещении определяется фундаментальными уравнениями движения потока (непрерывности, энергии, переноса для распределения загрязнений) и тремя уравнениями количества движения (по размерам помещения). Для их решения требуется масштабирование по времени. Локальная турбулентность приведена как переменный коэффициент диффузии, или турбулентная вязкость. Турбулентная вязкость определяется по двум уравнениям переноса: диссипации кинетической энергии турбулентности и кинетической энергии турбулентности. Следовательно, для решения поставленной задачи требуется найти корни нелинейных дифференциальных уравнений. Эти уравнения состоят из производных первой и второй степени, выражающих конвекцию, диффузию и источник с переменным потоком загрязняющих веществ.

Дифференциальные уравнения воздухообмена в помещении решить аналитически не представляется возможным, поэтому, с целью упрощения задачи, рассмотрим параметры

воздуха в рабочей зоне, т.е. там, где установлены датчики. Обслуживаемую зону судового помещения можно представить как объект, на который оказывают влияние внешние и внутренние возмущающие воздействия. Входными параметрами тогда будут: m_{po}, q_{oz}, q_n , и соответственно, регулируемые: температура и качество воздуха.

Тогда динамические свойства объекта будут зависеть от коэффициента K_ϵ – кратности воздухообмена (определяется размерами помещения и общей площадью стен), коэффициентов l_v – теплоемкости, K_{ozp} – теплопереноса ограждений и T_{ozp} – постоянной времени ограждения. Передаточная функция по каналу температуры подаваемого воздуха получена в виде:

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{(T_{\text{огр}}p+1)K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}}p+1}, \quad (3)$$

где $K_{\text{пом}}$ и $T_{\text{ом}}$ определяются по показателям K_ϵ, l_v, K_{ozp} , теплопроводности C_ϵ и плотности P_ϵ воздуха; $T_{\text{пом}}$ – постоянная времени помещения.

Анализ переходного процесса, проведенный на основании математической модели (рис. 2, кривая 1) и эксперимента (рис. 2, кривая 2), показал, что температура в помещении меняется в два этапа. На этапе *A* температура изменяется быстро, при этом скорость изменения температуры обратно пропорциональна кратности воздухообмена 3–4 K_ϵ . На этапе *B* изменение температуры воздуха существенно замедляется, так как стены помещения обладают большой теплоемкостью [3].

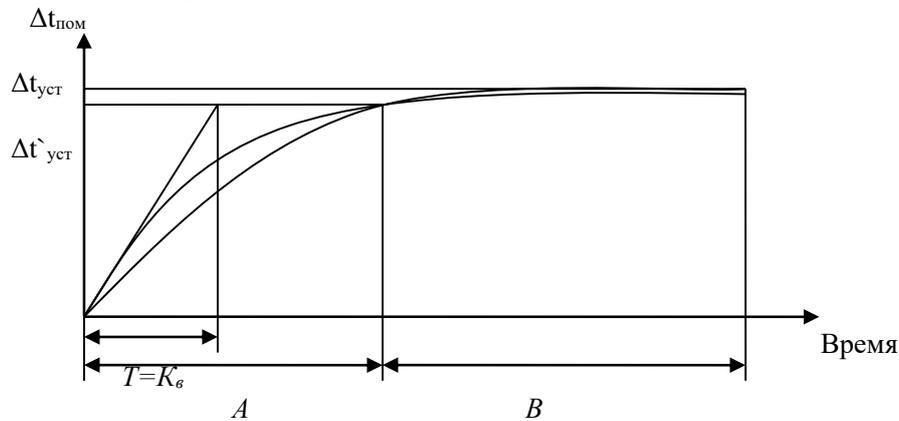


Рис. 2. Переходный процесс параметров воздуха в производственных помещениях

Инерционностью ограждений пренебрегаем. Входным воздействием будем Q – тепло, Вт, а выходом – отклонение температуры, °С/Вт. Тогда дифференциальное уравнение для исследуемого помещения:

$$V \cdot c_B p_B \frac{d\Delta\epsilon}{dt} = \Delta Q_{\text{пр}} - \Delta T_3, \quad (4)$$

где $\Delta\epsilon$ – отклонение температуры;

$\Delta Q_{\text{пр}}$ – тепло приточного воздуха (не зависит от помещения);

ΔT_3 – температура зоны (изменяемая величина в течение рабочей смены).

Температура рабочей зоны может быть определена зависимостью $\Delta T_3 = K_\epsilon \Delta\epsilon$, где коэффициент K_ϵ можно вычислить по формуле:

$$K_\epsilon = G_B \cdot c_B p_B \cdot q. \quad (5)$$

Перенесем ΔT_3 в левую часть уравнения (4) и разделим на K_ϵ , тогда получим выражение:

$$\frac{V \cdot c_B p_B}{K_\epsilon} \cdot \frac{d\Delta\epsilon}{dt} + \Delta\epsilon = \frac{\Delta Q_{\text{пр}}}{K_\epsilon}. \quad (6)$$

Постоянная времени (зависит от типа помещения):

$$T_{\text{пом}} = \frac{V \cdot c_B p_B}{K_\epsilon}. \quad (7)$$

Коэффициент усиления (зависит от типа помещения):

$$K_{\text{пом}} = \frac{1}{K_\epsilon}. \quad (8)$$

Представим функцию (3) температуры подаваемого воздуха по каналу аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}p+1}}, \quad (9)$$

где коэффициент $K_{\text{пом}}$ и постоянная $T_{\text{пом}T}$ находятся из выражений:

$$K_{\text{пом}T} = \frac{1}{G_B \cdot c_B \rho_B \cdot q} = \frac{1}{2,49 \cdot 1,2 \cdot 1,025 \cdot 0,24} = 1,36; \quad (10)$$

$$T_{\text{пом}} \sim K_B^{-1} = \frac{V \cdot c_B \rho_B}{G_B \cdot c_B \rho_B \cdot q} = \frac{500}{2,49 \cdot 0,24} = 836 \text{ с}, \quad (11)$$

где G_B – расход воздуха, м³/с;

c_e – удельная теплоемкость воздуха, КДЖ/кг·с;

p – плотность воздуха, кг/м³;

V – объем помещения, м³;

q – показатель теплообмена по поверхностям, °С/Вт (примем $q = 0,24$).

Процесс изменения качества воздуха в помещении также представим аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}p+1}}. \quad (12)$$

Входящим воздействием будет CO₂ – вредные выделения, ppm/c, а выходом – отклонение качества воздуха ΔCO₂ ppm. Значение коэффициента $K_{\text{пом}}$ можно определить как отношение входящей величины к выходящей и характеризуется коэффициентами $K_{\text{пом}} = \frac{511}{71} = 7,25$ и $T_{\text{пом}} = K_B^{-1} = 200$ (с), которые остаются неизменными.

Такое упрощение не оказывает значительного влияния на расчет рассредоточенных параметров воздуха в помещении, учитывая быстрое перемещение воздушных масс под действием гравитационных и тепловых воздействий и расположение воздухопритока и воздухозабора в промышленном помещении [4].

Алгоритм работы системы следующий: текущие значения параметров непрерывно измеряются контрольно-измерительной техникой и поступают на блок вычислений, туда поступает и заданное значение результирующей температуры, которое определяется назначением помещения и родом деятельности людей, находящихся в нем. Блок вычисления на основе входных данных формирует заданные значения. Сигнал ошибок по каждой переменной поступают на вход ПИД-регулятора, который функционирует по следующему закону:

$$y(\tau) = K_i x(\tau) + \frac{1}{T_u} \int_0^{\tau} x(\tau) d\tau + T_d \frac{dx(\tau)}{d\tau}, \quad (13)$$

где $y(\tau)$ – выход регулятора;

$x(\tau)$ – вход регулятора (сигнал ошибки регулируемой величины);

K_i – коэффициент передачи регулятора;

T_u – время интегрирования регулятора;

T_d – время дифференцирования регулятора.

Сигнал управления с выходов регуляторов поступает на соответствующие регулирующие органы системы кондиционирования и вентиляции, оказывая влияние на регулируемую величину, пока сигнал ошибки не войдет в зону нечувствительности регулятора.

Алгоритм работы вычислительного блока в схеме основан на минимизации многомерной функции с учетом ограничений, накладываемых на основные переменные ($tc \ \varphi \ \omega \ tr$) [5].

$$(W_{\text{пом}}(p), tc, \varphi, \omega, tr) = \arg \min [PT(W_{\text{пом}}(p), tc, \varphi, \omega, tr) - PT_{\zeta}]^2.$$

Блок-схема укрупненного алгоритма функционирования управляющей системы представлена на рис. 3.

Реализуется данный алгоритм в программе Matlab.

Выводы. Изложен подход к решению задачи оптимизации процесса управления эксплуатацией судовых электроэнергетических систем. Специфика микроклимата судовых помещений определяется их изолированностью от внешнего атмосферного влияния, малыми объемами и относительно большим количеством людей, а также насыщенностью различными механизмами, системами, устройствами, разнообразными перевозимыми грузами и особенностями морского климата. Предложено оптимизировать микроклимат судового помещения с помощью симбиоза кондиционирования и вентиляции судовых помещений.

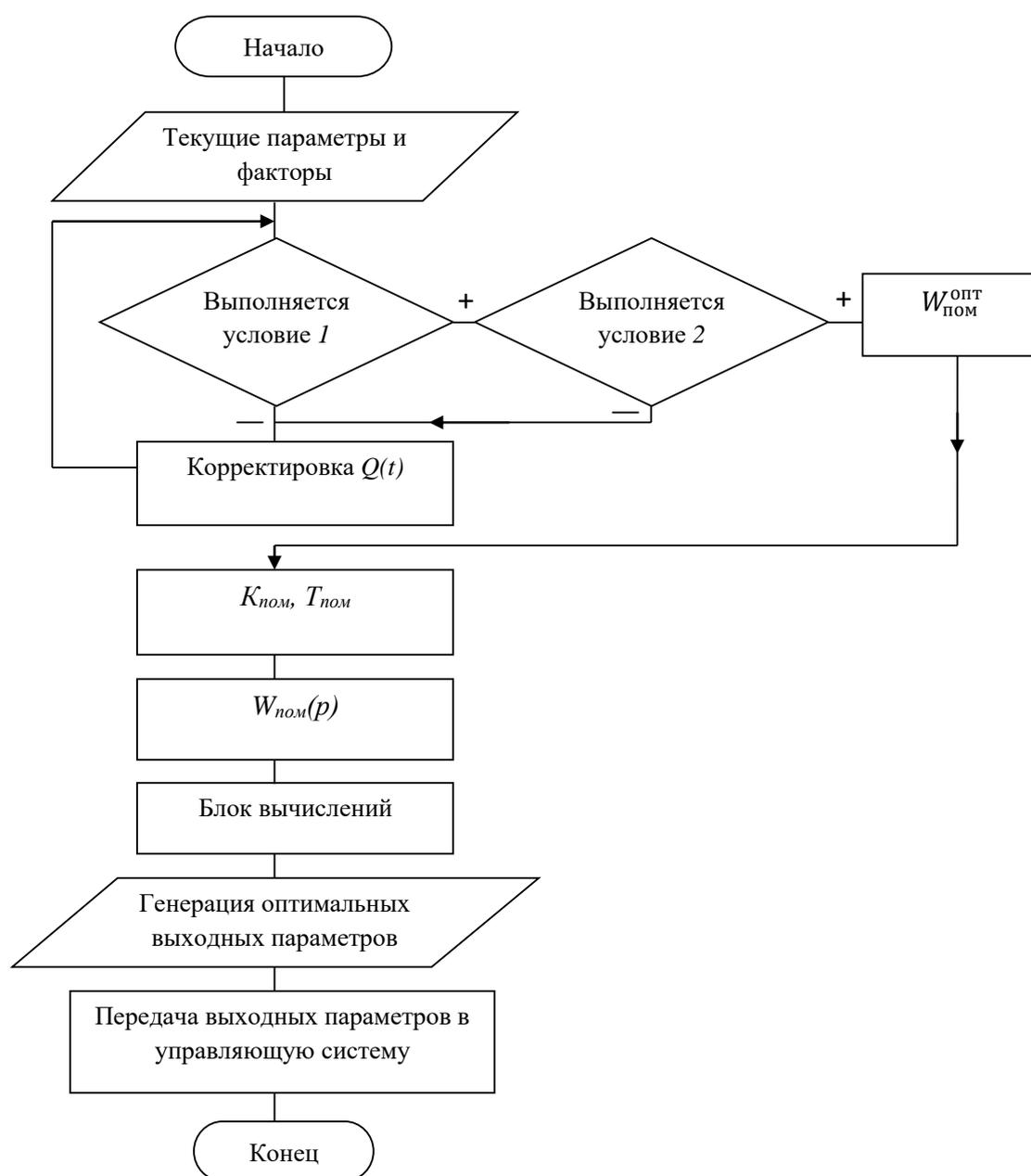


Рис. 3. Укрупненный алгоритм функционирования управляющей системы

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходарина К. В. Искусственный интеллект в системах управления микроклиматом в судовом помещении. *International Trends in Science and Technology: RS Global. Internation Scientific and Practical Cjnference* (Warsaw, Poland, 30.09.2019). Warsaw, 2019. Vol. 1. P. 9–12.
2. Ходарина К. В. Алгоритмизация процесса выбора параметров микроклимата в судовом помещении на примере оптимизации. *Priority directions of science development: The 3 International scientific and practical conference* (Lviv, Ukraine, 28–29.12.2019), SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, 2019. P. 319–324.
3. Bondar E. S., Gordienko A. S., Mihajlov V. A., Nimich G. V. *Avtomatizacija system ventilijacii i kondicionirovanija vozduha*. Kiev: Avanpost-Prim, 2005.
4. Vasilev K. A. Improve the effectiveness of the system of local ventilation during mechanical processing of polymer materials used in modern shipbuilding. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 5 (27) (2014): 64–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-5-64-74.
5. Khodarina K. V. Neuro diagnostic model and the object oriented mathematical models for prediction of microclimate parameters of ship spaces. *Science and practice: a new level of integration in the modern world: 2nd International Conference* (Sheffield, UK, 30.12.2016). Sheffield, 2016. P. 160–164.