

УДК 697.9+004.94

doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.04

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Д. И. ВАСИЛЕЦ, Н. А. КОЗЬМИНЫХ, О. А. ОНИЩЕНКО

Национальный университет "Одесская морская академия", Одесса, УКРАИНА
e-mail: vasylets@gsi-marine.com, trunonma@gmail.com, olegoni@mail.ru

АННОТАЦИЯ Показано, что: а) системы кондиционирования воздуха (СКВ) помещений в судах различного типа функционируют в сложных эксплуатационных условиях; б) оптимизация энергопотребления, рационализация процессов управления, проектирования и эксплуатации судовых СКВ невозможны без решения задач моделирования отдельных ее элементов (калориферов, теплообменных аппаратов и других). Проведен анализ литературных источников, посвященных методам и принципам моделирования отдельных элементов и СКВ. Установлено, что наиболее эффективным методом имитационного моделирования СКВ является структурный метод в объектно-ориентированной среде, с использованием передаточных функций с сосредоточенными или распределенными параметрами, при необходимости - дробных степеней.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха; имитационная модель; передаточная функция; структурная схема

ANALYSIS METHODS OF AIR CONDITIONING SIMULATION OF SHIP PREMISES

D. VASYLET, N. KOZMINYIH, O. ONISHCHENKO

National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Shown a) that rooms' air condition system (ACS) in different ship types function in hard service conditions such as substantial changes in ambient temperature, humidity, dustiness, pressure; b) that ships' ACS are various in technical realization such as comfortable and technical, centralized, self-contained, combined, one-, two- and duct-free ACS; c) that optimization of the energy consumption mode, rationalization of control process, automation, design and service ships' ACS impossible without decision specific tasks of modeling its separate components (calorifiers, heat-exchange apparatus, compressors, air ducts and others). The analysis of well known literature sources which dedicated methods and modeling principals of separate elements and ACS in common and modeling of ship's ACS and industrial cold-storage plants has done. It was determined that the most effective method of object-oriented modeling of ship rooms ACS is the structure method in object-orientated fields (Matlab, LabVIEW, VisSim and others), with use of the transfer-functions (TF) with focused or distributed parameters if necessary assisted by fractional degree TF inclusive of the transport delay, use of non-linear links and approximation spreadsheets.

Keywords: air condition; imitation model; transfer function; structure chart

Введение

При эксплуатации морских и речных судов существенно изменяется температура воздуха в его помещениях. Также воздух насыщается различными парами, пылью, газами, влагой, изменяется и его давление. Поэтому, для обеспечения комфортных условий жизнедеятельности экипажа и пассажиров, в служебных и жилых помещениях судов стабилизируют качественный состав и характеристики воздуха. Подачу свежего и удаление из помещений загрязненного воздуха на судах осуществляют системы приточной, приточно-вытяжной и естественной вентиляции. Но температуру и влажность воздуха на судах наилучшим образом стабилизируют различные системы кондиционирования, зачастую совместно с работой систем вентиляции. Такие системы достаточно разнообразны и сложны.

Судовые системы кондиционирования воздуха (СКВ) [1,2] подразделяют на комфортные и технические, в зависимости от способов обработки воздуха - на централизованные, автономные и комбинированные, а организуют СКВ как одно-, двух-

и бесканальные. Комфортные системы кондиционирования стабилизируют на заданном уровне параметры воздуха в каютах и общественных помещениях судна. Технические системы кондиционирования стабилизируют параметры воздуха в грузовых отсеках и служебных помещениях. Границами комфортных зон в помещениях судна является воздух с относительной влажностью $\varphi \in (40...60) \%$ при температуре $t \in (19...23) ^\circ\text{C}$ для зимних, и $23...27 ^\circ\text{C}$ - для летних условий плавания.

Централизованные СКВ обрабатывают воздух в главной климатической установке. Из этой установки воздух распределяется с помощью вентиляторов в различные помещения. Автономные СКВ обрабатывают воздух непосредственно в кондиционируемом помещении, а комбинированные системы предварительно обрабатывают воздух в главной климатической установке с окончательной доводкой в дополнительных воздухораспределителях.

В одноканальных судовых СКВ воздух полностью подготавливается и поступает по каналу в кондиционируемое помещение. В двухканальных СКВ холодный и горячий воздух перемещают по двум

раздельным воздуховодам, но перед подачей в помещения его смешивают. В помещениях с автономными кондиционерами применяют бесканальные СКВ.

Техническая реализация судовых СКВ зачастую непростая [1,2], часто оригинальна из-за разнообразия типов и целевого назначения суден и требует решения задач рационального выбора элементов и структуры СКВ, оптимизации режимов работы, автоматизации процессов управления, диагностики и других. Понятно, что столь сложные и многообразные задачи крайне тяжело, а зачастую и невозможно, решить без предварительного математического моделирования, позволяющего отобрать наилучшие технические решения. Именно поэтому решение задач моделирования процессов в судовых СКВ и ее отдельных элементах не теряют актуальности и в настоящее время.

Цель работы

Целью статьи является выявление рациональных направлений, средств и сред исследований динамических режимов в судовых кондиционируемых помещениях на основе таких методов математического моделирования, которые позволяют минимизировать энергетические, технико-эксплуатационные, информационные ресурсы при технической реализации и эксплуатации судовых СКВ.

Объектом исследования в данной статье являются процессы кондиционирования воздуха в судовых помещениях, а предметом – анализ известных методов и принципов математического моделирования судовых систем кондиционирования воздуха.

Обзор литературных источников, анализ известных решений, изложение основного материала

В настоящее время существует довольно много, хорошо апробированных и научно-обоснованных, работ и исследований процессов, посвященных проходящим в судовых СКВ, в кондиционируемых помещениях, в обслуживающих холодильных установках процессам. Известные математические модели [3,4] СКВ чаще всего описываются и представляются математическими моделями взаимосвязанных статических и динамических блоков, содержащих, в свою очередь модели (субблоки) отдельных элементов системы. В свою очередь, такие математические модели многие из исследователей представляют в виде структурных схем с соответствующими передаточными функциями (ПФ) различного вида [5-7].

Практически все математические модели (ММ) статических режимов СКВ часто представляются элементами с сосредоточенными параметрами – коэффициентами (линейными и нелинейными), алгебраическими функциями, аппроксимирующими

таблицами, различными аналитическими выражениями. Такие элементы можно разделить на ММ, предназначенные для расчета процессов в системе кондиционирования и на модели энергопотребления. Модели энергопотребления служат для оценки энергетических затрат (расходов) в каком-либо режиме работы СКВ и подразделяются по форме представления затрат: а) энтальпийные модели и б) эксергетические модели. Если использовать объектно-ориентированные среды программирования (например, *Matlab*, *LabVIEW*) то, для верифицированной ММ можно существенно облегчить расчеты энергопотребления в любых режимах работы СКВ – применять, так называемые, в) структурные имитационные модели.

Часто модели динамики отдельных элементов СКВ рассматривают ПФ с сосредоточенными параметрами. Известные модели элементов СКВ, описываемые ПФ распределенными параметрами, или описываемые ПФ с дробными степенями, часто сводят к моделям на основе ПФ с сосредоточенными параметрами. Это вполне допустимо при качественной оценке процессов кондиционирования или при высокой сложности ММ - для применения в целях управления, решении задач автоматизации, при больших затратах расчетных ресурсов и во многих иных случаях.

Элементы СКВ в статических режимах (помещения, воздуховоды, смесительные воздушные и водяные клапаны, теплообменные аппараты) обычно представляются алгебраическими уравнениями теплового и материального балансов. Множество подобных решений представлено, например, в ставших уже классическими, работах Попырина Л. С., Банхиди Л., Константинова Л. И., Мельниченко Л. Г., Рымкевича А. А., Халамейзера М. Б., Соколова Е.Я., Бродянского В. М., Сотникова А.Г. и многих других известных ученых.

В ряде работ Халамейзера М. Б., калориферы СКВ описываются несколькими математическими зависимостями, причем для узкого диапазона изменения входных параметров объекта – поскольку диапазон температур подогрева кондиционируемого воздуха относительно невысок. Расширение диапазона расчетных "вход-выход" параметров достигается коррекцией коэффициентов теплопередачи, обеспечивающей погрешность расчетов до 5-8 %.

Математические модели камер орошения СКВ часто получают на основе примеров и результатов исследований, приведенных в работах Степанова А. В., Долгозвьяга В. А., Креслинь А. Я., Фалб П., Арбиб М. и других. Такие универсальные модели камер орошения позволяют с точностью до 10 %, в широком диапазоне статических нагрузок, рассчитывать выходные характеристики и основные параметры.

Различные модели энергопотребления СКВ описаны в трудах Рымкевича А. А., Креслинь А. Я.,

Халамейзера М. Б. и других. Эти модели СКВ используют уравнения границ различных зон на $i-d$ диаграмме влажного воздуха. Каждой зоне соответствует особый режим обработки воздуха и свои особые уравнения для определения расходов холода, тепла, воды, воздуха, различных коэффициентов перерасхода при различных тепловлажностных нагрузках в помещении. В названных работах рассмотрены различные режимы работы СКВ, когда потребляется: а) только тепло или только холод, б) тепло и холод, в) когда используется для обработки воздуха нулевой расход тепла и холода. Особенность приведенных энтальпийных математических моделей - оценка режима работы СКВ по соотношениям на $i-d$ диаграмме влажного воздуха тепловых и влаговыделений в кондиционируемом помещении, температуре и влажосодержании наружного и внутреннего воздуха. На $i-d$ диаграмме влажного воздуха, используемой в таких моделях, сложно разграничить отдельные зоны, что приводит к субъективным оценкам, часто неоднозначным результатам моделирования, требует выделения большого количества (иногда – до 35) различных расчетных зон.

Следует подчеркнуть, что ММ динамики отдельных элементов СКВ в настоящее время исследованы достаточно глубоко и представлены [6-8] в трудах Orosa J. A., Novak P. R., Mendes N., Щелкунова С. А., Константинова Л. И., Мельниченко Л. Г. и ряде других работ авторитетных ученых. Исследователи часто приводят достаточно "надежные" уравнения эксергии для калориферов, камер орошения, приводят различного вида эксергетические модели СКВ. Такие модели, в целом, позволяют оценить эффективность процессов теплообмена, но, например, не учитывают эксергию уходящего теплоносителя, определяющую заметную часть конечных энергетических затрат. Обычно эксергетическая модель камер орошения [6-8] не содержит членов уравнений, учитывающих различные тепловые режимы работы холодильной установки, что приводит к неправильной оценке конечных энергетических затрат на обработку воздуха. При построении уравнений отдельных элементов СКВ, а также и ММ всей СКВ, эксергию воды и воздуха определяют используя сложные интегродифференциальные уравнения, применяя таблицы и номограммы (Бэр Г. П., Вукалович М. П. и других). Модели воздухопроводов, учитывающие теплообмен с окружающей средой, приведены в трудах Хейфеца Д. И., Успенской Л. Б., Клячко Л. С., Мац Я. М. и других исследователей. Представленные ими математические модели имеют распределенные параметры и часто сводятся к моделям с сосредоточенными параметрами, что позволяет их описывать уравнением вида:

$$y(T_1 \cdot p + 1) = k \cdot x(T_2 \cdot p + 1), \quad (1)$$

где y и x , координаты, соответственно, выхода и входа рассматриваемого элемента СКВ; T_1 и T_2 –

постоянные времени; k – статический коэффициент передачи; p – оператор дифференцирования (d_{\downarrow}/dt).

В ряде работ отмечается распределенность параметров кондиционируемого помещения. Координаты реперной точки помещения можно определять по методике Беспалова И. Н., где показано, что параметры сосредоточенной ММ кондиционируемого помещения зависят от расстояния между выбранной точкой измерения и приточным воздухопроводом. Именно этот факт резко усложняет выбор реперной точки, но позволяет применять для моделирования кондиционируемого помещения уравнения с сосредоточенными параметрами, например, вида аperiодического звена первого порядка:

$$y(T_1 \cdot p + 1) = k \cdot x. \quad (2)$$

При достаточно небольших расстояниях между выбранной точкой измерения и приточным воздухопроводом, которое имеет место в СКВ судовых помещений, влияние воздуховода существенно и приводит к необходимости применения модели звена "приточный воздухопровод – помещение", описываемого уравнением (1), более точно отражающим динамику процесса.

Динамика калориферов СКВ с достаточной точностью описывается уравнением (2). Но так как калориферы являются элементом воздуховода, то это приводит к необходимости описания ряда каналов калорифера уравнением (1). Камеры орошения и различные теплообменные аппараты исследованы в работах Четверухина Б. М., Чумака И. Г., Ларьяновского С. Ю., Давыдова Р. Н., Коханского А. И., Притулы В. В., Мазура В. В., Живицы В. И. и других ученых. С достаточной для качественного анализа точностью, динамику калориферов также можно описать уравнением (1). Однако особенностью указанного представления является то, что оно при реальной работе камер не учитывает зависимость изменения постоянной времени T_1 от текущих параметров процесса теплообмена: при адиабатном процессе значение T_1 возрастает, а при политропном T_1 изменяется пропорционально изменениям T_2 . Используя, например, средства *Simulink/Matlab*, несложно реализовать ПФ с "управляемыми" постоянными времени.

В известных ММ динамики элементов СКВ транспортным запаздыванием обычно пренебрегают из-за его малости, по сравнению с постоянными времени элементов всей системы. Однако, при надобности, транспортное запаздывание рекомендуется представлять разложением в ряд Паде, например, следующими приближениями.

Первого порядка:

$$\exp(-p\tau) = (1 - p\tau/2)/(1 + p\tau/2).$$

Второго порядка:

$$\exp(-p\tau) = (1 - p\tau/2 + p^2\tau^2/12)/(1 + p\tau/2 + p^2\tau^2/12).$$

Третьего порядка:

$$\exp(-p\tau) = (1 - p\tau/2 + p^2\tau^2/10 + p^3\tau^3/120)/(1 + p\tau/2 + p^2\tau^2/10 + p^3\tau^3/120).$$

Математические модели элементов обеспечивающих холодильных установок для статических режимов, описаны и обобщены в работах Вейнберга Б. С., Участкина П. В., Четверухина Б. М., Щелкунова С. А., Константинова Л. И., Мельниченко Л. Г. и других.

Здесь авторы рекомендуют для качественных расчетов представлять математические модели всех элементов холодильной установки алгебраическими уравнениями с нелинейными коэффициентами.

На основе энергетического подхода модели энергопотребления холодильных установок для статических режимов их работы описаны в работах Сотникова А.Г., Пугачева Ю.Г., Пеклова А.А. и др. Техничко-экономические показатели различных типов холодильных установок обобщены в работах по моделированию [6] Оносовским В.В. Им предложены модели с нелинейными алгебраическими уравнениями, позволяющими оптимизацию конструктивных параметров и технико-экономических показателей различных типов холодильных установок и СКВ.

Модели динамики основных элементов холодильных установок представлены достаточно полно в трудах Гримитлина М. И., Давыдова Р. Н., Чумака И. Г., Коханского А. И. [5] и других [9-11]. Но описание элементов и процессов дифференциальными уравнениями высокого порядка с трансцендентными членами серьезно затрудняет их практическое применение.

В книге 2016 года авторов *Ye Yao* и *Yuebin Yu* "*Modeling and Control in Air-conditioning Systems*" приведены самые современные методы моделирования различных СКВ. Авторы активно применяют метод пространства состояний при описании и разработке динамических моделей всех компонентов центральной системы кондиционирования воздуха. Математические модели, в основном нелинейные, основаны на фундаментальных принципах сохранения энергии и массы и используют классические методы исследования, разработанные и апробированные теорией автоматического управления. Переход к пространству состояний проводится в форме линеаризации, используя приемы теории графов и структурно-матричного анализа. Авторы представляют различные стратегии управления, основанные на созданных моделях СКВ, приводят практические примеры с использованием управляющих микро-ЭВМ и микроконтроллеров.

Одними из наиболее сложных узлов модели судовой СКВ, независимо от конструктивного исполнения СКВ, являются модели судовых помещений, позволяющие проводить оптимизационные исследования различного характера, оценивать энергопотребление в различных эксплуатационных условиях.

Такие помещения обладают тепловой инерцией, однако, несмотря на то, что в работах Участкина П. В., Цветкова Ю. Н. помещения рассматриваются как объекты с сосредоточенными

параметрами, влияние теплоаккумулирующих способностей стен, ограждений, оборудования обычно не учитывается. Именно поэтому моделирование помещения с помощью одного-двух аperiodических звеньев не может считаться достоверным. В работах Лысева В. И. учитываются динамика изменения температуры в помещении с учетом решения уравнений теплопроводности, однако техническая реализация результатов затруднена из-за громоздкости аналитических выражений и их неоднозначности. В работах Щелкунова С. А. использована теория тепловой устойчивости для построения модели помещений, но только для некоторых частных случаев.

Обсуждение результатов

На основе анализа известных источников, посвященных решению задач моделирования СКВ и различного вида элементов холодильных установок, можно выделить существенные преимущества программной реализации в объектно-ориентированных средах имитационного моделирования судовых кондиционируемых помещений. Также следует считать, что разработанная структурная схема элемента СКВ или системы кондиционирования может быть с легкостью встроена, например, в имитационную модель всей судовой системы охлаждения и кондиционирования. Такая интеграция позволит несложными методами учесть различные возмущения, нелинейности, осуществлять мониторинг и диагностику [12], вводить любые алгоритмы управления, позволит модернизировать существующую или спроектировать новую систему автоматизированного управления [13], осуществлять многовариантные оптимизационные расчеты, оценить уровни энергопотребления [14].

Выводы

В настоящее время практически отсутствуют математические модели судовых СКВ и судовых кондиционируемых помещений, пригодные для качественной оценки процессов кондиционирования воздуха, в том числе оценки процессов энергопотребления, относительно простыми средствами.

Анализ известных исследований и решений показывает, что наиболее перспективное и удобное представление математических моделей судовых СКВ и судовых кондиционируемых помещений осуществляется с помощью структурных схем содержащих передаточные функции с сосредоточенными и/или распределенными параметрами, причем часть передаточных функций может содержать дробные степени.

Программная реализация структурных схем, например, судовых кондиционируемых помещений, может осуществляться в таких известных системах моделирования, как *Matlab*, *VisSim*, *LabVIEW* и им подобных объектно-ориентированных средах.

Список литературы

- 1 **Загоруйко, В. А.** Судовая холодильная техника / **В. А. Загоруйко, А. А. Голиков.** – Київ: Наукова думка, 2000. – 608 с.
- 2 **Лалаев, Г. Г.** Судовые холодильные установки и системы кондиционирования / **Г. Г. Лалаев.** – М.: Транспорт, 1981. – 248 с.
- 3 **Homod, R. Z.** Review on the HVAC system modeling types and the shortcomings of their application / **R. Z. Homod** // *Journal of Energy.* – 2013. – Vol. 2013. – 10. doi:10.1155/2013/768632.
- 4 **Novak, P. R.** Simulation and analysis of a secondary HVAC system using MATLAB/SIMULINK platform / **P. R. Novak, N. Mendes, G. H. C. Oliveira** // *In Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition.* – 2004. – P. 387-392. doi: 10.1115/IMECE2004-59570.
- 5 **Чумак, И. Г.** Динамические режимы работы холодильных установок и аппаратов / **И. Г. Чумак, А. И. Коханский.** – М.: Машиностроение, 1978. – 191 с.
- 6 **Оносовский, В. В.** Моделирование и оптимизация холодильных установок: учеб. пособ / **В. В. Оносовский.** – Л.: Изд. Ленингр. Унив-та, 1990, 208 с.
- 7 **Wang, X.** Modelling and experiment analysis of variable refrigerant flow air-conditioning systems / **X. Wang, J. Xia, X. Zhang, S. Shiochi, C. Peng, Y. Jiang** // *In Proceedings of the IBPSA Conference on Building Simulation.* – 2009. – P. 361-368. http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2009/bs09_0361_368.pdf.
- 8 **Orosa, J. A.** A new modelling methodology to control HVAC systems / **J. A. Orosa** // *Expert Systems with Applications.* – 2011. – Vol. 38, № 4. – P. 4505-4513. doi:10.1016/j.eswa.2010.09.124
- 9 **Ghiaus, C.** Calculation of optimal thermal load of intermittently heated buildings / **C. Ghiaus, I. Hazyuk.** // *Energy and Buildings.* – 2010. – Vol. 42, № 8. – P. 1248-1258. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.017.
- 10 **Wang, J.** Analytical design of decoupling control for variable-air-volume air-conditioning system / **J. Wang, C. Zhang, Y. Jing** // *In Proceedings of the IEEE Conference on Digital Object Identifier.* – 2008. – P. 630-635. doi: 10.1109/ICCIS.2008.4670836.
- 11 **Mendes, N.** A new mathematical method to solve highly coupled equations of heat and mass transfer in porous media / **N. Mendes, P. C. Philippi, R. Lamberts** // *International Journal of Heat and Mass Transfer.* – 2001. – Vol. 45, № 3. – P. 509-518. doi:10.1016/S0017-9310(01)00172-7.
- 12 **Очеретяный, Ю. А.** Концепция системы компьютерного мониторинга и технической диагностики рефрижераторной холодильной установки судна / **Ю. А. Очеретяный, В. И. Живица, В. Н. Белый** и др. // *Судовые энергетические установки.* – 2011. – № 28. – С. 5-11. http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/seu/2011_28/28_04.pdf.
- 13 **Онищенко, О. А.** Двухканальная система управления малыми холодильными установками / **О. А. Онищенко** // *Электротехнические и компьютерные системы.* – 2012. – № 5. – С. 37-42. <http://etks.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=21814>.
- 14 **Онищенко, О. А.** Оценка энергетических затрат на выработку холода бытовым холодильным прибором / **О. А. Онищенко** // *Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського.* – 2007. – №3. – С. 44-48. [http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3\(44\)/106.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3(44)/106.pdf).

Bibliography (transliterated)

- 1 **Zagoruyko, V. A., Golikov, A. A.** Sudovaya holodilnaya tehnika. – Kiyiv: Naukova dumka, 2000. – 608 s.
- 2 **Lalae, G. G.** Sudovye holodilnyie ustanovki i sistemyi konditsionirovaniya. – M.: Transport, 1981. – 248 s.
- 3 **Homod, R. Z.** Review on the HVAC system modeling types and the shortcomings of their application. *Journal of Energy*, 2013, vol. 2013, 10. doi:10.1155/2013/768632.
- 4 **Novak, P. R., Mendes, N., Oliveira, G. H. C.** Simulation and analysis of a secondary HVAC system using MATLAB/SIMULINK platform. *In Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2004, 387-392. doi: 10.1115/IMECE2004-59570.
- 5 **Chumak, I. G., Kohanskiy, A. I.** Dinamicheskie rezhimy raboty holodilnyih ustanovok i apparatov. M.: Mashinostroenie, 1978. – 191 s.
- 6 **Onosovskiy, V. V.** Modelirovanie i optimizatsiya holodilnyih ustanovok: ucheb. posob. – L.: Izd. Leningr. universiteta, 1990, 208 s.
- 7 **Wang, X., Xia, J., Zhang, X., Shiochi, S., Peng, C., Jiang, Y.** Modelling and experiment analysis of variable refrigerant flow air-conditioning systems. *In Proceedings of the IBPSA Conference on Building Simulation*, 2009, 361-368. http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2009/bs09_0361_368.pdf.
- 8 **Orosa, J. A.** A new modelling methodology to control HVAC systems. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, № 4, 4505-4513. doi:10.1016/j.eswa.2010.09.124
- 9 **Ghiaus, C., Hazyuk, I.** Calculation of optimal thermal load of intermittently heated buildings. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, № 8, 1248-1258, doi:10.1016/j.enbuild.2010.02.017.
- 10 **Wang, J., Zhang, C., Jing, Y.** Analytical design of decoupling control for variable-air-volume air-conditioning system. *In Proceedings of the IEEE Conference on Digital Object Identifier*, 2008, 630-635. doi: 10.1109/ICCIS.2008.4670836.
- 11 **Mendes, N., Philippi, P. C., Lamberts, R.** A new mathematical method to solve highly coupled equations of heat and mass transfer in porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2001, vol. 45, № 3, 509-518. doi:10.1016/S0017-9310(01)00172-7.
- 12 **Ocheretyanyiy, Yu. A., Zhivitsa, V. I., Belyiy, V. N.** i dr. Kontseptsiya sistemyi kompyutemogo monitoringa i tehniceskoy diagnostiki refrizheratornoy holodilnoy ustanovki sudna. *Sudovyye energeticheskie ustanovki*, 2011, № 28, S. 5-11. http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/seu/2011_28/28_04.pdf.
- 13 **Onischenko, O. A.** Dvukanalnaya sistema upravleniya малыми holodilnyimi ustanovkami. *Elektrotehnicheskie i kompyuternyye sistemy*, 2012, №5, 37-42. <http://etks.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=21814>.
- 14 **Onischenko, O. A.** Otsenka energeticheskikh zatrat na vyirabotku holoda bytovym holodilnym priborom. *Visnik KDPU im. Mikhayla Ostrogradskogo*, 2007, №3, S. 44-48. [http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3\(44\)/106.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3(44)/106.pdf).

Сведения об авторах (About authors)

Василец Дмитрий Иванович – аспирант, Национальный университет "Одесская морская академия"; кафедра холодильных установок; Одесса, Украина; e-mail: vasylets@gsi-marine.com.

Dmytro Vasylets – graduate student, National University "Odessa Maritime Academy"; Refrigeration units department; Odessa, Ukraine; e-mail: vasylets@gsi-marine.com.

Козьминых Николай Анатольевич – к.т.н, доцент, Национальный университет "Одесская морская академия"; кафедра холодильных установок; Одесса, Украина; e-mail: trunonma@gmail.com.

Nicholas Kozminyih – PhD, assistant professor, National University "Odessa Maritime Academy"; Refrigeration units department; Odessa, Ukraine; e-mail: trunonma@gmail.com.

Онищенко Олег Анатольевич – д.т.н., профессор кафедры технической эксплуатации флота, Национальный Университет "Одесская морская академия"; Одесса, Украина; e-mail: olegoni@mail.ru.

Oleg Onishchenko – Doctor of Technical Science, Professor, Technical fleet operation department National University "Odessa Maritime Academy"; Odessa, Ukraine; e-mail: olegoni@mail.ru.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Василец, Д. И. Анализ методов моделирования систем кондиционирования судовых помещений / **Д. И. Василец, Н. А. Козьминых, О. А. Онищенко** // *Вестник НТУ "ХПИ", Серия : Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 7 (1229). – С. 24-29. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.04.

Please cite this article as:

Vasylets, D., Kozminyih, N., Onishchenko, O. Analysis methods of air conditioning simulation of ship premises. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), 24-29, doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.04.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Василець, Д. І. Аналіз методів моделювання систем кондиціонування суднових приміщень / **Д. І. Василець, М. А. Козьмініх, О. А. Онищенко** // *Вісник НТУ "ХПІ", Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 7 (1229). – С. 24-29. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.04.

АНОТАЦІЯ Показано, що: а) системи кондиціонування повітря (СКВ) приміщень суден різного типу функціонують в складних експлуатаційних умовах; б) оптимізація енергоспоживання, раціоналізація процесів управління, проектування і експлуатації суднових СКВ неможливі без вирішення завдань моделювання окремих її елементів (калориферів, теплообмінних апаратів і інших). Проведено аналіз літературних джерел, присвячених методам і принципам моделювання окремих елементів і СКВ. Встановлено, що найбільш ефективним методом імітаційного моделювання СКВ є структурний метод в об'єктно-орієнтованому середовищі, з використанням передаточних функцій з зосередженими або розподіленими параметрами, при необхідності - дрібних ступенів.

Ключові слова: кондиціонування повітря; імітаційна модель; передавальна функція; структурна схема

Надійшла (received) 29.01.2017