

software package was improved. The mathematical model of the process of pouring the liquid food in glass bottles and the analysis of its hydrodynamic behavior by numerical simulation based on the software package ANSYS.

**Practical meaningfulness.** The results are designed to determine the optimal parameters of individual nodes dispenser to reduce turbulence in the fluid channel dosing and reduce foaming. The implemented algorithm allows to simulate a continuous process of filling the tank with liquid food with the optimal parameters of the lifting height and angle of slope of directing.

**Key words:** packing of food liquid, metering device, channel, directing, numeral design, flowing, programmatic complex ANSYS.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,  
проф. Малкіною В.М.

Дата надходження рукопису 30.01.2013 р.

УДК 621.565.94:004.415.2

Морозюк Л.И., канд. техн. наук, доц.,  
Ольшевская О.В.

Учебно-научный институт холода, криотехнологии и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий, г. Одесса, Украина,  
e-mail: olgaolshevskaya@mail.ru

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА МИКРОКАНАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

**Morosuk L.I., Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.** Educational and Science Institute of Refrigeration, Cryogenics technology and Ecoenergy named by V.S. Martynovskiy Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine,  
**Olshevskaya O.V.** e-mail: olgaolshevskaya@mail.ru

## SOFTWARE TO CALCULATION MICROCHANNEL AIR CONDENSER

**Цель.** Создание компьютерной программы для расчета микроканальных воздушных конденсаторов с целью сокращения времени проектирования и проведения вариантных расчетов.

**Методика.** В процессе создания использованы пакеты прикладных программ для определения теплофизических свойств рабочего вещества и теплоносителя, корреляционные уравнения для расчета теплоотдачи, аэродинамики и гидродинамики, термодинамические уравнения для определения необратимых потерь и их минимизации в теплообменном аппарате. Для создания программного комплекса была использована среда программирования Borland Delphi 7.

**Результаты.** Итогом расчетов в программном комплексе является определение плотности теплового потока, аэродинамического и гидравлического сопротивлений, общей площади теплообменной поверхности.

**Научная новизна.** Совершенствование научно-методического подхода к проектированию микроканальных теплообменников для получения широкого спектра параметров и характеристик проектируемого аппарата с целью дальнейшей оптимизации. Создаваемая

*программа содержит ряд корреляционных уравнений для определения коэффициента теплоотдачи и падения давления как со стороны рабочего вещества, так и со стороны воздуха, охватывающие различные типы конструктивных решений аппарата и условия протекания процессов.*

**Практическая значимость.** *Разработан программный комплекс для расчета микроканального воздушного конденсатора. Содержание большого количества расчетных зависимостей расширяет возможности инженеров-проектировщиков в выборе геометрии теплообменной поверхности аппарата. Результаты работы позволят использовать программный комплекс в курсовом и дипломном проектировании, работе магистров, аспирантов, докторантов с целью сокращения времени расчета теплообменного аппарата и уменьшения количества ошибочных расчетов.*

**Ключевые слова:** *микроканальный конденсатор, программный комплекс, теплоотдача, гидродинамика, аэродинамика, теплофизические свойства.*

**Постановка проблемы.** Интенсивное развитие холодильного машиностроения, связанное с неуклонным требованием повышения экологической безопасности и энергетической эффективности выпускаемого оборудования, идет по двум направлениям:

- модернизация поршневых и создание новых конструкций спиральных, малых винтовых и центробежных компрессоров;
- создание новых типов теплообменных аппаратов.

На рынке холодильного теплообменного оборудования появились новые типы аппаратов с воздухом в качестве тепло- или хладоносителя, спрос на которые возрастает с каждым днем. Этот тип теплообменных аппаратов относится к классу микроканальных компактных теплообменников. Малогабаритные, изготовленные из алюминиевых сплавов по самым современным технологиям пайкой в печи твердым припоем с регулируемой газовой средой (для интенсификации теплопередачи), микроканальные теплообменники пришли в холодильную технику из автомобильной и аэрокосмической промышленности.

Еще 5 лет назад большинство специалистов холодильной отрасли относились скептически к применению теплообменников микроканального типа. В настоящее время уже существует и серийно выпускается большое количество холодильных машин и тепловых насосов, укомплектованных микроканальными теплообменными аппаратами. Среди лидеров следует назвать фирмы-производители Guntner и Danfoss [1-2]. Так, фирма Danfoss лидирует среди других по количеству новинок теплообменников с использованием микроканальной технологии. Например, в сентябре 2012 года был презентован агрегат Optima™ Dairy для молокоохладителей, который, благодаря использованию спирального компрессора и микроканального теплообменника в качестве конденсатора, имеет энергетическую эффективность на 24% выше своих предшественников [1].

В 2008 году компания Guntner на выставке Chillventa представила микроканальный конденсатор из алюминия для коммерческих холодильных установок. Представители компании заявили, что рабочее давление в конденсаторе может достигать 41 бар., масса теплообменника уменьшается до 50%, емкость системы по хладагенту при той же производительности уменьшается до 75%, с возможностью монтажа в горизонтальной и вертикальной плоскости [2].

У исследователей и практиков, в связи с таким быстрым развитием и внедрением новых теплообменников, возникает вопрос о возможности инженерных расчетов тепловых и технических характеристик. На профильных интернет-форумах темы обсуждения микроканальных теплообменников сопровождаются комментариями, что расчеты микроканальных конденсаторов сопряжены с разного рода проблемами.

Авторы в работах [4-6], на основании изучения большого количества исследований в области микроканальной техники, представили свое видение осуществления инженерных расчетов подобных конструкций.

Большой объем входных параметров, сложные корреляционные уравнения для расчета теплопередачи, аэродинамики и гидродинамики, поставили вопрос о необходимости создания программного комплекса для расчета и проектирования микроканальных теплообменников. Так, итальянская компания Unilab производит большое количество программного обеспечения, в том числе с учетом современного рынка холодильной техники. Среди прочего программного обеспечения есть программа расчета микроканального конденсатора Unilab Microchannel. Последний обеспечивает и предусматривает расчет теплопередачи, аэродинамики, гидродинамики, площади теплообменной поверхности для микроканального конденсатора с гидравлическим диаметром менее 2 мм со стороны агента [3].

Программный комплекс Unilab Microchannel рассчитан на использование в коммерческих целях конкретными фирмами-проектировщиками и фирмами-производителями. Это означает, что исходные уравнения, входящие в состав программного комплекса, пользователю не известны, вдобавок в частные программы вводятся эмпирические коэффициенты и константы, которые получены в процессе экспериментальных исследований данного модельного ряда данной фирмы и не будут опубликованы. Кроме того, коммерческие программы, в частности Unilab Microchannel, являются дорогостоящим компьютерным продуктом, который экономически не выгоден для одноразовых небольших расчетов или применения в учебных целях.

В связи с этим авторы разрабатывают свою версию программного обеспечения расчета микроканального воздушного конденсатора, что дает возможность использовать предложенный программный комплекс для научной работы магистров, аспирантов и докторантов, а также для практической деятельности инженеров-проектировщиков холодильного и теплонасосного оборудования.

Программный комплекс по своей логической структуре является обычным расчетом любого теплообменника, а именно определением коэффициентов теплоотдачи со стороны рабочего вещества и воздуха, плотности теплового потока, гидравлического сопротивления при движении двухфазного потока конденсирующегося рабочего вещества и аэродинамического сопротивления со стороны воздуха с выходом на размеры теплообменной поверхности и конструктивного решения всего аппарата.

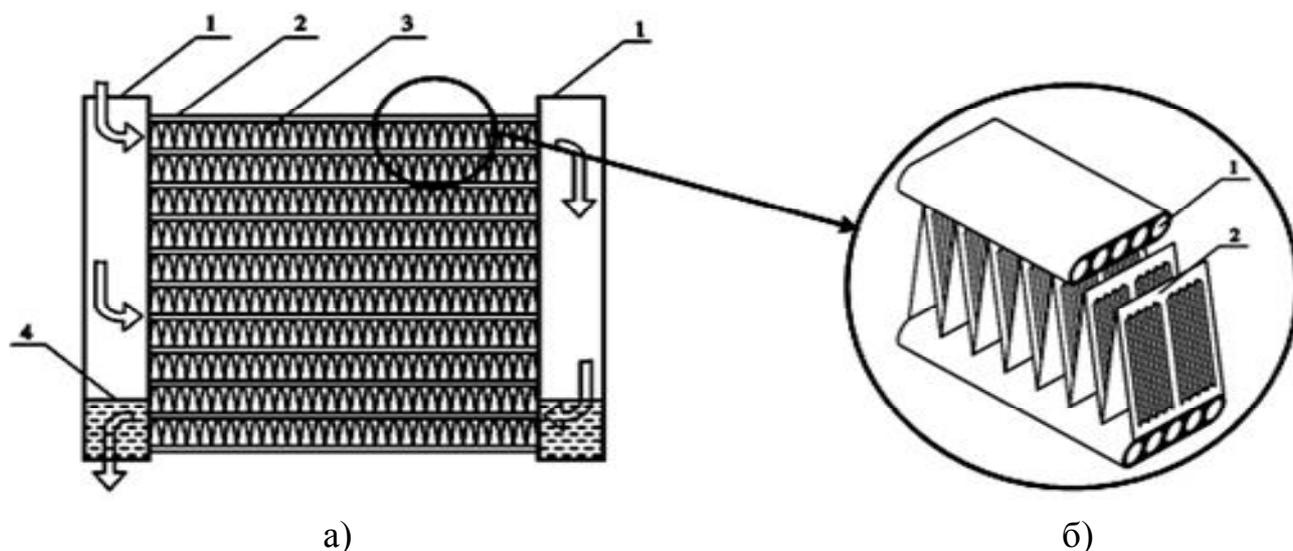
При создании программного комплекса возник ряд вопросов по методике расчета коэффициентов теплоотдачи и падения давления как со стороны воздуха, так и со стороны агента. Поэтому в данном программном комплексе предла-

гается ряд возможных корреляционных уравнений с учетом конструктивных особенностей микроканальных конденсаторов.

Для расширения расчетных возможностей определения коэффициента теплоотдачи, падения давления, теплообменных поверхностей были выбраны корреляционные уравнения, описанные в работах [4-6].

Создаваемая программа обеспечит расчет любого микроканального теплообменника, но так как данная версия является пилотной, в ней заложена лишь одна конструктивная модель конденсатора. Элемент теплообменной поверхности микроканального конденсатора представлен на рисунке 1б. Он выполнен в виде алюминиевой пластины с круглыми микроканалами, по которым движется рабочее вещество. Пластины располагаются друг над другом и соединены наплавленными ребрами из гофрированной ленты, образующей каналы для движения воздуха, поперечного относительно потока рабочего вещества.

В рассматриваемой конструкции конденсатора, согласно рисунку 1а, внутри коллектора расположена перегородка, которая служит для обеспечения двухходового движения рабочего вещества. Предполагается, что в первом ходе осуществляется снятие перегрева и последующая конденсация, а во втором – переохлаждение жидкости. Таким образом, конденсатор логично считать двухходовым.



а) секция конденсатора: 1 – коллекторы; 2 – пластина с микроканалами; 3 – жалюзийные ребра; 4 – перегородка;

б) элемент теплообменной поверхности: 1 – пластина с микроканалами; 2 – жалюзийные ребра.

*Рисунок 1 – Теплообменная поверхность*

Схема движения потоков, представленная на рисунке 1а, соответствует модели конденсатора, прошедшей натурные испытания. Модель используется в малых транспортных холодильных машинах, натурная модель представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Модель конденсатора

Образец программы выполнен на основе объектно ориентированного программирования – метода, обеспечивающего решение задачи в терминах объектов и операций над ними. Конденсатор рассматривается как некоторая структура из набора объектов (геометрия теплообменной поверхности, рабочее вещество (хладагент), теплоноситель (воздух)), со своими параметрами (конструктивными размерами, теплофизическими свойствами) и связями между ними (тепловая нагрузка, граничные условия протекающих процессов). Языком программирования был выбран Object Pascal, средой программирования – пакет Borland Delphi 7.

На основании вышесказанного предлагается структурная блок-схема программы, представленная на рисунке 3.

Приведем несколько screenshot экранов рабочего стола персонального компьютера с запущенной программой.

В качестве примера приведен перечень рабочих окон для объекта «Рабочее вещество (хладагент)»: выбор объекта расчета приведён на рисунке 4, ввод исходных данных, выбор расчета – рисунок 5, вывод данных.

В окне «Выбор расчета» находится перечень корреляционных уравнений для определения коэффициента теплоотдачи со стороны рабочего вещества.

Каждому уравнению присвоено имя автора, сопровождаемое условиями применения. Например, используя в расчетах коэффициента теплоотдачи уравнение Shah (1), в код программы заложено такое условие применения: гидравлический диаметр микроканала – от 0,7 до 4 мм, массовая скорость – от 11 до 211 кг/(м<sup>2</sup>·с).

$$\alpha = \frac{0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr_{жс}^{0.4} \cdot \lambda_{жс}}{d_{вн}} \cdot \left( (1-x)^{0.8} + \frac{3.8 \cdot x^{0.76} \cdot (1-x)^{0.04}}{p_z^{0.38}} \right) \quad (1)$$

Пользователь по своему усмотрению выбирает одно из них.

Как отмечалось ранее, в программе предусмотрена возможность расчета по уравнениям различных авторов, в связи с чем, при условии использования функции «Сохранение результата расчета», по выбранному уравнению возможно последующее сравнение результатов, полученных в программе. Одной

из команд программы является возможность вывода на печать полученных результатов.

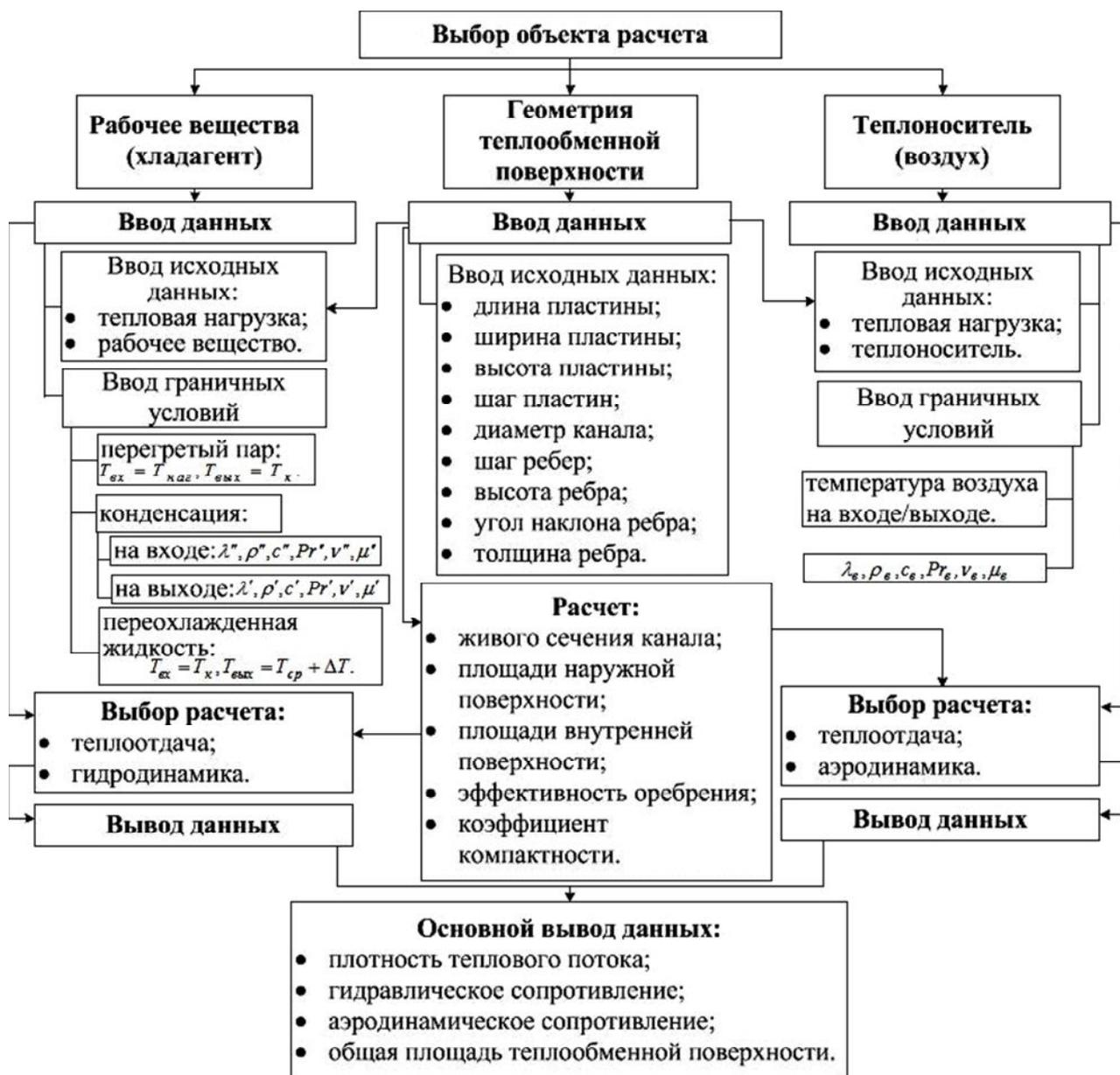


Рисунок 3 – Блок-схема программы

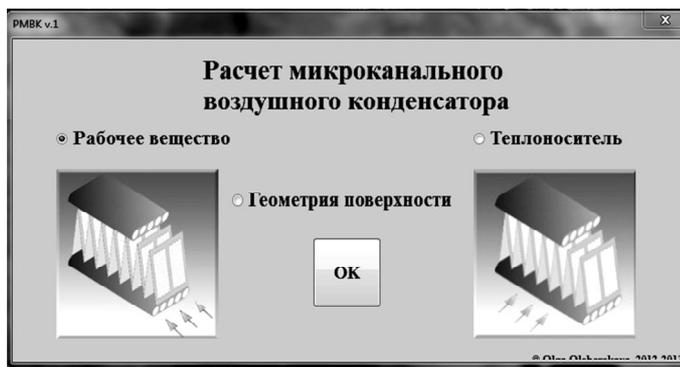


Рисунок 4 – Главное окно

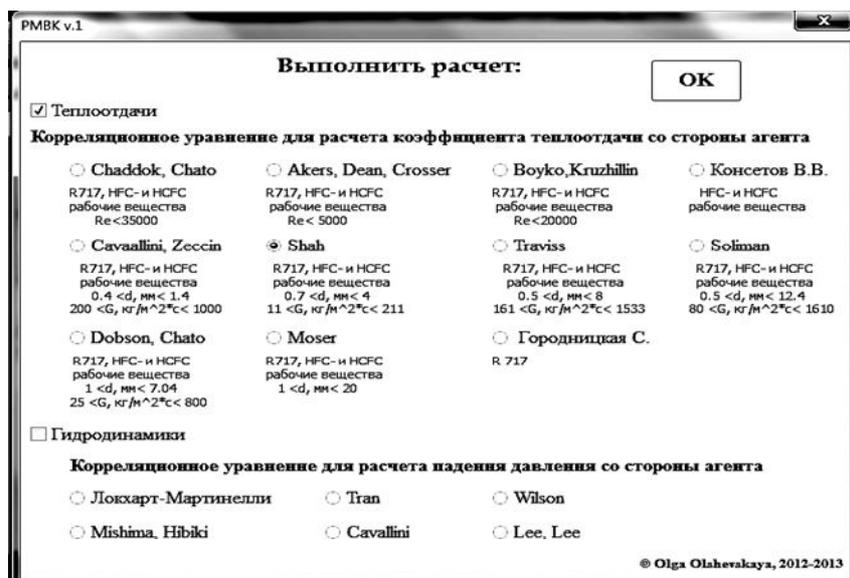


Рисунок 5 – Выбор расчета

Программа прошла апробацию при обработке результатов натурального эксперимента, проведенного авторами.

**Выводы.** Результаты проверки программного комплекса, полученные в работе, адекватны имеющимся данным различных информационных источников.

Предложенная программа расчета может быть использована для инженерных расчетов, а инженер вправе сам выбирать набор приведенных функций, сообразуясь с конструкцией проектируемого конденсатора.

### Список литературы / References:

1. Standard products for smooth business [Electronic resource] // Danfoss-Sanhua corporate web-site. – 2011. – Available from: <<http://www.68team.com/design/danfoss/index.html> (accessed February 11, 2013)>. Standard products for smooth business (2011), Danfoss-Sanhua corporate web-site, available at: <http://www.68team.com/design/danfoss/index.html> (accessed February 11, 2013).
2. Heat exchange [Electronic resource] // Güntner corporate web-site. – 2008. – Vol. 13. – Available from: <<http://www.guentner.ru> (accessed February 11, 2013)>. Heat exchange Vol. 13 (2008) Güntner corporate web-site, available at: <http://www.guentner.ru> (accessed February 11, 2013).
3. Software for the design of fluids condensers in microchannel [Electronic resource] // Unilab corporate web-site. – 2011. – Available from: <<http://www.unilab.eu/en/software-show/unilab-microchannel> (accessed February 11, 2013)>. Software for the design of fluids condensers in microchannel (2011), Unilab corporate web-site, available at: <http://www.unilab.eu/en/software-show/unilab-microchannel> (accessed February 11, 2013)
4. Морозюк Л.И. К расчету теплоотдачи в микроканалах двухходового воздушного микроканального конденсатора / Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Холодильная техника и технология. – 2012. – № 3 (137). – С. 18-23.

Morosiuk, L.I. and Olshevskaiia, O.V. (2012), "Calculation of heat transfer in microchannel two-way microchannel air condenser", *Kholodilnaia tekhnika i tekhnologiia*, vol. 3 (137), pp. 18-23.

5. Морозюк Л.И. Анализ процесса гидродинамики при конденсации рабочего вещества в микроканальном конденсаторе / Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Холодильная техника и технология. – 2012. – № 4 (138). – С.22-25.

Morosiuk, L.I. and Olshevskaiia, O.V. (2012), "Analysis of the process of hydrodynamics during condensation of the working substance in the microchannel condenser", *Kholodilnaia tekhnika i tekhnologiia*, vol. 4 (138), pp.22-25

6. Ольшевская О.В. Тепловые и аэродинамические характеристики микроканального воздушного конденсатора / О.В. Ольшевская // Сталий розвиток і штучний холод. – 2012. – С. 146-151.

Olshevskaiia, O.V. (2012), "Thermal and aerodynamic performance microchannel air condenser", *Stalyi rozvytok i shtuchnyi kholod*, pp. 146-151.

**Мета.** Створення комп'ютерної програми розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів для скорочення часу проектування і проведення варіантного розрахунку.

**Методика.** У процесі створення використано пакети прикладних програм для визначення теплофізичних властивостей робочої речовини і теплоносія, кореляційні рівняння для розрахунку тепловіддачі, аеродинаміки і гідродинаміки, термодинамічні рівняння для визначення незворотних втрат і їх мінімізації в теплообмінному апараті. Для створення програмного комплексу використано середу програмування Borland Delphi 7.

**Результати.** Підсумком розрахунків у програмному комплексі є визначення густини теплового потоку, аеродинамічного і гідравлічного опорів, загальної площі теплообмінної поверхні.

**Наукова новизна.** Удосконалення науково-методичного підходу проектування мікроканальних теплообмінників для отримання широкого спектру параметрів і характеристик апарату, що проектується з метою подальшої оптимізації. Програма, що створюється, містить кореляційні рівняння для визначення коефіцієнту тепловіддачі і падіння тиску як з боку робочої речовини, так і з боку повітря, які охоплюють різні типи конструктивних рішень апарату і умов протікання процесів.

**Практична значущість.** Розроблено програмний комплекс для розрахунку мікроканального повітряного конденсатора. Вміст великої кількості розрахункових залежностей розширює можливості інженерів-проектувальників у виборі геометрії теплообмінної поверхні апарата. Результати роботи дозволять використовувати програмний комплекс у курсовому і дипломному проектуванні, в роботі магістрів, аспірантів, докторантів з метою скорочення часу розрахунку теплообмінного апарату і зменшення кількості помилкових розрахунків.

**Ключові слова:** мікроканальний конденсатор, програмний комплекс, тепловіддача, гідродинаміка, аеродинаміка, теплофізичні властивості.

**Objective.** Creating a computer program to calculate microchannel air condensers to reduce design time and carrying out variant calculations.

**Methods.** Software packages for thermophysical properties of the working substance and the coolant, the correlation equation for calculating heat transfer, aerodynamics and hydrodynamics, the thermodynamic equations for the irreversible losses and their minimization in the heat exchanger were used in the process of creating. Borland Delphi 7 is used for creating software package.

**Results.** Determination of the heat flow density, aerodynamic and hydraulic resistance, the total area of the heat exchange surface is the result of this calculation.

**Scientific innovation.** Improvement of scientific and methodological approach to designing of microchannel heat exchangers for a wide range of parameters and characteristics of the de-

signed apparatus for further optimization is presented. Created program contains correlation equations for the heat transfer coefficient and the equations to determine the pressure drop of the working substance and air for covering different types of apparatus design and process conditions.

**Practical value.** A software package for calculating the microchannel air condenser is developed. A content of a large number of calculated dependencies enhances engineers in the selection of the heat exchange surface of the device. The results of the software system will be used in the work of masters, postgraduates.

**Key words:** microchannel condenser, software, heat transfer, aerodynamics, hydrodynamics, thermophysical properties.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук  
Максимовым М.В.

Дата поступления рукописи 11.02.2013 г.

УДК 539.313:664.05-047.58

Петрова Ю.Н., канд. техн. наук, доц.,  
Жданов І.В., канд. техн. наук,  
Крістія Д.О.

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна,  
e-mail: engineer@kaf.donduet.edu.ua

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЛЯ ВИПАДКУ ПЛОСКОЇ ЗАДАЧІ

Petrova J.N., Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,  
Zhdanov I.V., Cand. Sci. (Tech.),  
Kristiya D.O.

Donetsk National University of Economics and  
Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky,  
Donetsk, Ukraine,  
e-mail: engineer@kaf.donduet.edu.ua

## DEVELOPMENT OF METHODOLOGY RESULTS ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE FOR THE CASE OF PLANE PROBLEMS

*Метою статті є розробка методики аналізу результатів моделювання напружено-деформованого стану для випадку плоского узагальненого напруженого стану, у якому перебувають цілий ряд вузлів і елементів обладнання переробної та харчової галузі виробництва.*

*Методика.* Результати статті отримані на основі основних положень теорії пружності, зокрема системи диференціальних рівнянь Нав'є, яка у декартових координатах описує зв'язок зовнішніх силових факторів, прикладених до об'єкта, з компонентами напружень; узагальненого закону Гука, який встановлює зв'язок між відносними деформаціями об'єкта, його механічними властивостями та напруженнями; умов сумісності деформацій Сен-Ванана, які пов'язують між собою відносні лінійні та кутові деформації об'єкта; граничних умов у напруженнях; функції напружень Ерлі. В основу вищевказаної методики аналізу покладені також основні гіпотези та припущення механіки пружного тіла, які дозволяють використовувати для опису напружено-деформованого стану диференціальне та інтегральне числення.

*Результати.* Результатом роботи є отримання математичного апарату для аналізу результатів моделювання й експериментального дослідження напружено-деформованого