



УДК 621.565.94:004.2

ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕС ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

O. Olshevska¹, O. Titlova², V. Plotnikov³

^{1,2,3}Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: ¹0000-0002-4512-3915, ²0000-0003-4034-7159, ³0000-0001-9000-2568
Scopus ID: ¹57192687506, ²57192683455
E-mail: ¹olshevska.olga@gmail.com, ²titlova@ukr.net, ³vplotnik@gmail.com

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: 10.15673/atbp.v9i1.495

Анотація: Наведено основні етапи розвитку інформаційних технологій та низькотемпературної техніки. Визначені основні функції інформаційних технологій і низькотемпературної техніки в сучасній промисловості. Окрему увагу приділено їх впливу на етапі проектування. Створено комп'ютерну програм для розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів для скорочення часу проектування і проведення варіантних розрахунків. *Ключові слова:* програма розрахунку, інформаційні технології, низькотемпературна техніка, мікроканальні повітряні конденсатори.

Ключевые слова: Программа расчета, информационные технологии, низкотемпературная техника, микроканальные воздушные конденсаторы.

1. Вступ

За останні десятиріччя основною частиною кожного значного досягнення в науці стали здобутки із застосуванням інформаційних технологій. Для того, щоб встановити вплив сучасних інформаційних технологій на низькотемпературну техніку та загалом енергетику, їх місце у дослідженні основних апаратів, необхідно дослідити шлях історичного розвитку та перетину цих технологій. На вплив інформаційних технологій засновано удосконалення науково-методичного підходу до проектування теплообмінників з широким спектром параметрів і характеристик, що необхідні для подальшої оптимізації.

Основним принципом державної політики будь-якої країни світу в галузі техніки створення малоенергоємної структури матеріального виробництва є широке застосування нових технологій. Одним з напрямків розвитку сучасних інноваційних технологій є розробка та імплементація мікротехнологій. Особливої актуальності набуває створення інженерних методик теплотехнічних розрахунків мікроканальних конденсаторів. Вищезазначені методики створюються з використанням сучасних методів аналізу як інструменту коректної оцінки дійсної енергетичної ефективності як самого апарату, так і холодильної машини в цілому. Розрахунок будь-якого апарату низькотемпературної техніки пов'язаний із виконанням великої кількості розрахунків, тому розробка комп'ютерної програми для нових типів апаратів є необхідним для спрощення процесу проектування та оптимізації.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Інформаційні технології та низькотемпературна техніка розвивались майже паралельно. Для того, щоб підтвердити це твердження необхідно визначитись в термінах, які використовуються в цих галузях:

– Інформаційні технології (ІТ) – це засоби передачі, донесення та обробки інформації. Існують різні визначення поняття інформаційні технології. Проте для подальшого дослідження необхідно розібратись із визначенням терміну "нові інформаційні технології" (НІТ). НІТ – це сукупність методів і засобів автоматизації інформаційної діяльності в науковій, соціальній, виробничій, навчальній, побутовій сферах, в організаційному управлінні та в веденні діловодства.

Одним із основних та найбільш поширених визначень є твердження: "Інформаційні технології – це системи, створені для виробництва, передачі, відбору, трансформації і використання інформації. Об'єктами інформаційних технологій є звук, текст, графічне зображення і цифрова інформація. В основі даних систем використовуються



комп'ютерні і телекомунікаційні технології (базуються на мікроелектроніці), які, в свою чергу, можуть використовуватися спільно з іншими видами технологій для посилення кінцевого ефекту" [1].

Тому не дивно, що інформатизація на базі впровадження комп'ютерних технологій є реакцією суспільства на потребу в істотному збільшенні продуктивності праці в інформаційному секторі.

– Низькотемпературна техніка (НТ) – це та техніка, яка дозволяє зберігати продукти та речі, будинки та техніку, надає комфортні умови існування людині.

Отримавши визначення даних галузей, розглянемо основні етапи їх розвитку. Якщо звернутися до витоків кожної з даних предметних галузей, то можна згадати, що першим засобом запису був клинопис. А одними з перших засобів створення комфортних умов були криги, який використовувався у якості природного охолодника, та пористі сосуди з холодною водою для охолодження повітря у приміщенні.

До початку XIX сторіччя розвиток інформаційних технологій полягав лише у вдосконаленні різних засобів передачі інформації, тобто складався виключно з того, чим та на чому пишуть та рахують. Проте у XIX сторіччі відбулась визначна зміна: у галузі інформаційних технологій від ручного інструментарію перейшли на механічний, що дало змогу обробляти та працювати з більшим обсягом даних. Загалом подальше становлення інформаційних технологій полягало в тому, що йшла конкурентна боротьба за очолення ринку інформаційних технологій у різних сферах, зокрема у розробці персональних комп'ютерів та програмного забезпечення.

Досліджуючи етапи розвитку інформаційних технологій, можна виділити такі віхи:

- «ручні» інформаційні технології (до XIX століття) – аналіз та обробка інформації виконувались виключно вручну. В допомогу користувачеві були пера, рахівниці, бухгалтерські книги, а зв'язок між людьми забезпечувався паперовими листами;
- «механічні» інформаційні технології беруть свій початок з моменту винайдення друкарської машинки, машин для виконання простих математичних операцій та телефону, також відбулась модернізація системи поштового зв'язку;
- «електричні» інформаційні технології (1930 – 1950 рр.) базувались на використанні електричних друкарських машинок, копіювальних машин, портативних диктофонів;
- комп'ютерні інформаційні технології (з 1960-х років – н. ч.), почали свій розвиток з появою та розповсюдженням електронних обчислювальних машин і периферійної техніки. Також ця віха отримала назву нової, сучасної, без паперової.

Подальший розвиток було направлено на зміну не основних засад чи принципів роботи, а на удосконалення та розширення функціональних можливостей комп'ютерів [1, 2].

За останні 5–10 років активну позицію в галузі інформаційних технологій займають кібер-фізичні системи. Кібер-фізичні системи це інформаційно-технологічна концепція, яка інтегрована у процес розрахунків фізичних процесів. [3]. Кібер-фізичні системи активно використовуються, коли необхідно залучити інформаційні технології до систем моделювання, проектування, розрахунку, навіть, інформаційної безпеки.

Історія розвитку низькотемпературної техніки не менш насичена подіями та відкриттями. За багато століть до винаходу побутового холодильника було відомо, що продукти з низькою температурою зберігаються довше. А на територіях, де немає ані снігу, ані льоду через жаркий клімат, використовували судини з водою, які ставили вночі в найхолодніші місця, внаслідок чого ці судини сильно охолоджували приміщення.

Холодильні машини випускають переважно у вигляді автоматизованих агрегатів. Велику увагу приділяють конструюванню і виготовленню малих автоматизованих холодильних машин.

Малі холодильні машини отримали широке поширення в торгівлі й громадському харчуванні, в побуті, на транспорті, в сільському господарстві, медицині та інших галузях господарства [4, 5].

У процесі сучасного виробництва холодильних агрегатів їх удосконалення проводиться на засадах поліпшення їх окремих компонентів. Для збереження і переробки зростаючої кількості харчових продуктів необхідно збільшувати обсяги і підвищувати темпи будівництва холодильників і холодильного обладнання, а також технічно вдосконалювати існуючі холодильні підприємства. У найближчі роки планується значно збільшити ємність холодильників у харчовій, м'ясній та молочної промисловості. Збільшиться холодильна ємність і в системі торгівлі, в сільському господарстві, які вкрай необхідно оснастити новітнім холодильним обладнанням з більшим ступенем заводської готовності, автоматизації та механізації виробничих процесів.

Широкий розвиток отримав холодильний транспорт. Залізничний холодильний транспорт помітно поповнився складами, секціями та окремими автономними вагонами з машинним охолодженням. Збільшилась кількість суден-рефрижераторів, оснащених сучасним холодильним обладнанням. Удосконалено автомобільний холодильний транспорт, на один із елементів якого, а саме мікроканалні конденсатори, буде розглянуто пізніше.

Головні роботи і дослідження за темою мікроканалних технологій були виконані в США, штат Іллінойс, в Air Conditioning and Refrigeration Center. Опубліковані матеріали досліджень містять результати вивчення тепловіддачі, гідродинаміки і аеродинаміки в мікроканаллах. Розглянуто рух однофазного потоку теплоносія, фазові перетворення робочих речовин в процесі конденсації та кипіння [6]. Робота [7] присвячена вивченню умов тепловіддачі на ділянках каналу, що відносяться до секцій зняття перегріву пари, переохолодження рідини і конденсації і пов'язаної з цим гідродинаміки двофазного поток. Наведено дані з кореляційних рівнянь для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при



конденсації у мікроканалах та аналіз типових результатів [8].

В 2006 році виходить монографія цілком присвячена теорії руху різних потоків в мікро- і мініканалах [9]. В монографії розглянуто однофазні рухи рідини та пари, кипіння та конденсація в мікро- та мініканалах. У розділі конденсація в мікроканалах надано узагальнену інформацію щодо кореляційних рівнянь з граничними умовами їх застосування.

З моменту конструювання першого холодильного агрегату до теперішнього часу не змінювались основні складові елементи будь-якої енергетичної системи. Вони модифікувались та удосконалювались. Змінювались або отримували «нове дихання» вже давно забуті робочі речовини [10]. Проте всі зміни були направлені виключно на зменшення ваги, габаритів та ємності холодильної системи загалом [11].

Як інформаційні технології, так і низькотемпературна техніка були складовими науково-технічного процесу. Для подальшого співставлення цих галузей необхідно визначити їх взаємозв'язок.

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є аналіз засобів інформаційних технологій, які можуть бути використанні в процесі проектування теплообмінних апаратів та удосконалення програмного забезпечення для розрахунку.

Для реалізації мети були поставлені такі задачі:

1. Розгляд основних етапів розвитку інформаційних технологій та низькотемпературної техніки.
2. Аналіз сучасних засобів інформаційних технологій та їх вплив на процес проектування.
3. Адаптація результатів отриманих за допомогою розробленого програмного комплексу до подальшого використання інструментів інтелектуального аналізу даних.

4. Матеріали та методи дослідження впливу інформаційних технологій на виконання розрахунку теплообмінних апаратів

У дослідженні узагальнено вплив основних інструментів інформаційних технологій на техніку низьких температур і наведені визначення основних термінів у кожній з цих галузей. В результаті проведених досліджень було розроблено, адаптовано та поліпшено програмний комплекс розрахунку мікроканальних теплообмінників. Програмний комплекс базується на математичній моделі розрахунку теплопередачі, гідро- та аеродинаміки двофазного потоку робочої рідини в мікроканалі, та потоком повітря в короткому каналі складної конфігурації.

5. Роль інформаційних технологій у створенні математичних моделей для низькотемпературних систем для розроблення комп'ютерних програм

Як і будь-яка інженерна галузь, низькотемпературна техніка у великій кількості потребує ресурсів та засобів інформаційних технологій. Дані засоби можна розподілити на дві категорії: засоби для виконання проектних робіт та засоби для виконання інженерних розрахунків.

Засоби для виконання проектних робіт. Автоматизація проектування займає особливе місце серед інформаційних технологій. Технічні забезпечення систем автоматизованого проектування – САПР, засновано на використанні мейнфремів. Проте основною складовою САПР є різноманітні методи обчислювальної математики. Програмні комплекси САПР є найбільш складними кросплатформеними програмними системами, що базуються на провідних мовах програмування, таких як, С, С++, С#, Java та сучасних CASE-технологіях.

Основною складовою САПР є комп'ютерна графіка як 2D, так і 3D. Саме завдяки комп'ютерній графіці вирішуються складна та трудомістка креслярська частина, зокрема креслення апаратів та основних вузлів холодильної або тепло насосної установки (системи) [12, 13].

Розрізняють такі системи автоматизованого проектування: системи конструювання; системи автоматизованої розробки деталей для верстатів із ЧПК (числовим програмним керування) та аналітично-розрахункові підсистеми, які використовуються для проведення інженерного аналізу міцності та інших технічних характеристик компонентів.

САПР складається з двох підсистем: для проектування і для обслуговування. У підсистемі для проектування виконують проектні процедури, наприклад, геометричне тривимірне моделювання механічних об'єктів, виготовлення конструкторської документації, трасування з'єднань у друкованих платах.

Забезпеченням функціонування підсистем для проектування займаються підсистеми для обслуговування. Сукупність підсистем для обслуговування називають системним середовищем САПР [13].

У ХХІ сторіччі кожен інженер-розробник мусить вміти працювати та проектувати у засобах САПР. Вже став анахронізмом той час, коли системи тепло- та холодопостачання зображувались за допомогою олівця, паперу та кульману, а розрахунки та звіти – з використанням логарифмічної лінійки та друкарської машинки.

Засоби для виконання інженерних розрахунків. Розрахунки є складовою будь-якого інженерного проекту. Необхідно розрізняти всі можливі засоби, які необхідні для виконання розрахунків та аналізу. Наприклад, програмне забезпечення для виявлення стану робочої речовини, побудови діаграм стану, розрахунку основних параметрів термодинамічних циклів, підборі обладнання та інші.

Як і будь-яка інженерна галузь, низькотемпературна техніка протягом останніх 10 років суттєво змінила свій вектор використання інформаційних технологій.

Одним із вагомих плюсів активного впровадження ІТ в роботу інженера-дослідника було зменшення обсягу паперових каталогів, флаєрів. Тобто провідні компанії на ринку холодильної та теплонасосної техніки переорієнтувались на розробку програмного забезпечення, яке допомагає підбирати обладнання чи ознайомить з його



характеристиками. Далі пропонуємо розглянути найбільш впливові компанії на ринку та деякі з їх програмних продуктів [14 – 16].

Необхідно зауважити, що залучення інформаційних технологій до низькотемпературної техніки зумовило зростання даних, які необхідно обробляти та аналізувати. Тому як і до будь-якої галузі науки, до холодильної та теплонасосної техніки можна застосувати термін Big Data (Великі дані).

Для початку необхідно сформулювати визначення терміну. Одним з найбільш коректних є:

Big Data – складні за своєю природою сукупності даних, які складаються із структурованих і неструктурованих, та накопичуються досить швидко.

Основними характеристиками Big Data є: варіативність, об'єм даних та інтенсивність зростання.

Для Big Data не підходять традиційні методи обробки інформації, для них недостатньо обчислювальних потужностей звичайних комп'ютерів і функцій споживчого програмного забезпечення. [17].

Жодне дослідження, результатом якого є Big Data, неможливо уявити без використання інструментів аналізу даних [18].

Інформаційна технологія обробки даних призначена для вирішення добре структурованих задач, в яких є необхідні вхідні дані і відомі алгоритми та інші стандартні процедури їх обробки. Ця технологія застосовується на рівні операційної (виконавчої) діяльності персоналу невисокої кваліфікації з метою автоматизації деяких рутинних постійно повторюваних операцій управлінської праці. Тому впровадження інформаційних технологій і систем на цьому рівні істотно підвищить продуктивність праці персоналу, звільнить його від рутинних операцій, можливо, навіть призведе до необхідності скорочення чисельності працівників.

На рівні операційної діяльності вирішуються такі завдання:

- обробка даних про операції, які здійснюються;
- створення періодичних контрольних звітів;
- отримання відповідей на всілякі поточні запити й оформлення їх у вигляді паперових документів або звітів.

Існує кілька особливостей, пов'язаних з обробкою даних, що відрізняють дану технологію від усіх інших:

- виконання необхідних задач по обробці даних;
- вирішення тільки добре структурованих задач, для яких можна розробити алгоритм;
- виконання стандартних процедур обробки. Існуючі стандарти визначають типові процедури опрацювання даних і регламентують їхнє дотримання організаціями усіх видів;
- виконання основного обсягу робіт в автоматичному режимі з мінімальною участю людини;
- використання деталізованих даних;
- акцент на хронологію подій;
- вимога мінімальної допомоги у вирішенні проблем з боку спеціалістів інших рівнів.

Можна виділити такі етапи аналізу даних: отримання даних, обробка, аналіз та інтерпретація результатів обробки.

Сутність і мету інтелектуального аналізу даних можна описати так: це технологія, призначена для пошуку у великих інформаційних масивах даних об'єктивних, корисних на практиці закономірностей.

Основною задачею Data Mining в промисловому виробництві, зокрема в енергомашинобудуванні, є:

- комплексний системний аналіз виробничих процесів та ситуацій;
- короткостроковий і довгостроковий прогноз розвитку виробничих процесів;
- вироблення варіантів оптимізаційних рішень роботи змінних параметрів систем устаткування;
- прогнозування якості виробу (наприклад, фруктів, овочів, м'ясо-молочної продукції) в залежності від деяких параметрів технологічного процесу обробки, зберігання та транспортування;
- виявлення прихованих тенденцій і закономірностей розвитку виробничих процесів;
- прогнозування закономірностей розвитку виробничих процесів;
- виявлення прихованих чинників впливу на той чи інший чинник виробничого процесу;
- виявлення і ідентифікація раніше невідомих взаємозв'язків між виробничими параметрами і чинниками впливу;
- візуалізація результатів аналізу, підготовка попередніх звітів і проектів допустимих рішень з оцінками достовірності і ефективності можливих реалізацій.

Таким чином можна зробити висновок, що виконання будь-якої проектної частини неможливе без суміжного використання засобів інформаційних технологій та наукових засад холодної та теплонасосної техніки.

Проте порівнюючи та встановлюючи вплив інформаційних технологій на низькотемпературну техніку, необхідно не забувати, що перше не можливо без використання сучасних інженерних рішень другого.

Враховуючи вищезазначені положення і терміни можна констатувати, що процес проектування та розрахунку будь-якого сучасного теплообмінного апарату неможливе без використання інформаційних технологій.

Всі нові типи апаратів вимагають автоматизації процесу розрахунку, так як під час розробки і подальших досліджень з'являються Великі Дані.

Компактні мікроканальні теплообмінники були введені в низькотемпературну техніку з автомобільної та аерокосмічної промисловості.

У зв'язку з швидким розвитком і реалізацією мікроканальних теплообмінників в галузі, є багато питань про



можливість виконання теплотехнічних розрахунків, специфікацій і математичних моделей для розрахунку.

Тому було прийнято рішення про створення автоматизованої системи (робочого місця) – комп'ютерної програми для розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів для скорочення часу проектування і проведення варіантних розрахунків.

6. Основні пункти розробки програми для розрахунку мікроканальних теплообмінних апаратів

У дослідників в зв'язку швидким розвитком і впровадженням нових теплообмінних апаратів виникає необхідність уніфікації всіх існуючих математичних моделей для подальшого розрахунку. Авторами вищезазначених робіт виконана велика кількість досліджень в області мікроканальної техніки та наведено своє бачення інженерних розрахунків подібних конструкцій [19 – 21].

Велика кількість вхідних параметрів, складні кореляційні рівняння для розрахунку теплопередачі, аеродинаміки і гідродинаміки, поставили питання про необхідність створення математичного комплексу для розрахунку і проектування мікроканальних теплообмінників. Так, італійська компанія Unilab виробляє велику кількість програмного забезпечення, в тому числі з урахуванням сучасного ринку низькотемпературної техніки. Серед іншого програмного забезпечення корпорацією розроблена програма розрахунку Unilab Microchannel [22].

Програмний комплекс Unilab Microchannel орієнтовано на використання в комерційних цілях конкретними фірмами-проектувальниками і фірмами-виробниками. Це означає, що кореляційні рівняння, що входять до складу програми розрахунку, дослідники не відомі, до того ж в програмі вводяться емпіричні коефіцієнти і константи, отримані в процесі експериментальних досліджень даного модельного ряду даної фірми і не піддаються опублікуванню. Крім того, комерційні програми, зокрема, Unilab Microchannel, є дорогим комп'ютерним продуктом, який економічно не вигідний для одноразових невеликих розрахунків або застосування в навчальних цілях.

Тому авторами було прийнято рішення про розроблення програмного комплексу для розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів. Далі розглянемо основні засади та принципи, на основі яких виконувалося подальше розроблення програмного забезпечення.

Програма виконана на основі об'єктно-орієнтованого програмування – методу, що забезпечує рішення задачі в термінах об'єктів та операцій, які виконуються над ними. Мікроканальний конденсатор розглядається як певна структура з набору об'єктів. Об'єктами виступають: геометрія теплообмінної поверхні, робоча речовина (холодоагент), теплоносій (повітря). Кожному об'єкту притаманні власні параметри (конструктивні розміри, теплофізичні властивості) і зв'язки між ними (теплове навантаження, граничні умови процесу). Мовою програмування було обрано Object Pascal, середовищем програмування – пакет Borland Delphi 7.

Об'єктно-орієнтоване програмування є таким типом програмування, який фокусується на використанні об'єктів для проектування і розробки програмного забезпечення. Він використовується для розробки різного типу додатків у багатьох сферах. Причиною вибору об'єктно-орієнтованого програмування для розробки програмного забезпечення було те, що, використання об'єктів робить простішим безпосередньо процес створення, підтримки і оновлення додатків. Інша причина полягала в тому, що додаток з об'єктами, які можна попередньо тестувати, підвищують надійність роботи програми.

7. Програма для розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів

Для скорочення часу проектування та проведення варіантних розрахунків було створено комп'ютерну програму розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів. В процесі розробки використані пакети прикладних програм для визначення теплофізичних властивостей робочої речовини та теплоносія, кореляційні рівняння для розрахунку тепловіддачі, аеродинаміки і гідродинаміки.

Програмний комплекс за своєю логічною структурою є типовим розрахунком будь-якого теплообмінного апарата. Модель розрахунку складається з визначення коефіцієнту тепловіддачі від робочої речовини та повітря, щільності теплового потоку, гідравлічного опору при русі двофазного потоку робочої речовини, яка конденсується, та аеродинамічного опору від повітря. Після отримання зазначених результатів виконується розрахунок розмірів теплообмінної поверхні і конструктивного вирішення всього апарату [23 – 24].

Необхідно зазначити, що дані, які були використані для перевірки на адекватність програмного комплексу, були отримані з експериментальних досліджень на повітряному мікроканальному конденсаторному агрегаті (рис. 1, а) транспортної холодильної установки (рис. 1, б) фірми Carrier (США) модель VIENTO 200 134A CHILLED серійний номер PB811724.

Під час розробки програмного комплексу виникла необхідність створення математичних моделей для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі і падіння тиску як з боку повітря, так і з боку холодоагенту. В розробленому програмному комплексі пропонується ряд можливих кореляційних рівнянь, в яких враховані всі особливості мікроканальних повітряних конденсаторів. Для перевірки на адекватність розробленої математичної моделі було виконано ряд досліджень [19 – 21, 23]. В роботі [19] наведено основні особливості розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі зі сторони холодоагенту для поверхонь із специфічним профілем поверхні. Під час подальшого дослідження обрані кореляційні рівняння було скореговані з урахуванням експериментальних складових. Робота [20] містить варіантні розрахунки гідродинаміки потоку в мікроканалі. У статті [21] узагальнено методику розрахунку процесу теплопередачі, яка було первинно апробовано в першій версії розробленої програми [23].



Рис. 1 – Експериментальна модель: а – мікроканальний повітряний конденсатор; б – транспортна холодильна установка

Елемент теплообмінної поверхні мікроканального конденсатора наведено на рис. 2. Теплообмінний апарат виконано у вигляді алюмінієвої пластини з круглими мікроканалами, по яких рухається робоча речовина. Пластини з мікроканалами розташовуються одна над одною (рис. 2а) і з'єднані наплавленими ребрами з гофрованої стрічки (рис. 2б). Конструкція з двох пластин і стрічки утворює канали для руху повітря, поперечного щодо потоку робочої речовини (рис. 2в).

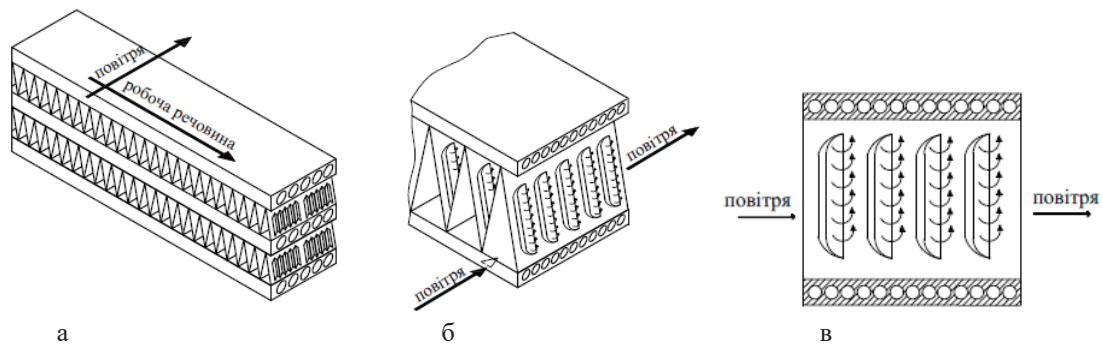


Рис. 2 – Елементи теплообмінної поверхні: а – загальний вид елемента поверхні; б – аксонометричне зображення поверхні; в – конструкція ребристого елемента

Програма містить три основних блоки: "Робоча речовина (холодоагент)", "Повітря", "Геометрія поверхні". Також у програмі, є можливість переглянути відео, яке може бути корисним для дослідника, який починає вивчати даний тип теплообмінних апаратів.

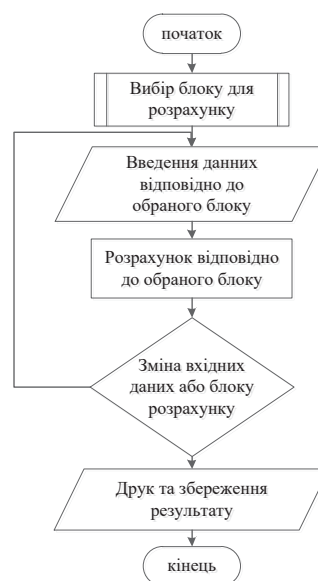


Рис. 3 – Спрощений алгоритм розрахунку мікроканального конденсатора



Спрощений алгоритм розрахунку мікроканального конденсатора можна представити у вигляді схеми наведеної на рис.3. Серед основних процедур необхідно виділити: процедуру вибору варіанту розрахунку, процедуру вводу розрахункових параметрів, процедуру реалізації математичної моделі відповідно до обраного кореляційного рівняння.

Блоки "Геометрія поверхні" та "Повітря" складаються з двох частин, перша – введення основних даних, друга – це результати розрахунку за апробованими методиками.

Ймовірно, одним з найбільш цікавих є блок "Робоча речовина (холодоагент)", яка складається з трьох частин:

- введення термодинамічних параметрів робочої речовини та узагальнених даних(рис. 4, а);
- вибір кореляційних рівнянь (кожне рівняння підписано автором, який його отримав, та основними граничними параметрами) для розрахунку (рис. 4, б);
- результати розрахунку (рис. 4, в).

The screenshot shows the 'RaMiKoN v.1' software window with the title 'Исходные параметры для расчета теплоотдачи и падения давления со стороны холодильного агента в микроканальном конденсаторе'. The interface is divided into several sections for inputting data:

- Рабочее вещество:** R134
- Нагрузка, кВт:** 26,8
- Температура, С:** 40
- Длина участка, м:** 1,0
- Степень сухости:** 0,5
- Диаметр канала, м:** 0,7E-3
- Давление хладагента:** 1,01E6
- Количество пакетов пластин в 1 секции:** 125
- Критическое давление хладагента:** 4,06E6
- Количество каналов в 1 пластине:** 25
- Свойства жидкости:**
 - плотность, кг/м³: 1149
 - теплопроводность, Вт/(м*К): 0,078
 - динамическая вязкость, Па*с: 1,49E-4
 - кинематическая вязкость, м²/с: 0,949E-7
 - теплоемкость, кДж/(кг*К): 1,48
 - число Прандтля: 2,07
 - поверхностное натяжение, Н/м: 6,31E-3
 - температуропроводность, м²/с: 4,58E-8
- Свойства пара:**
 - плотность, кг/м³: 49,53
 - теплопроводность, Вт/(м*К): 1,47E-2
 - динамическая вязкость, Па*с: 13,2E-6
 - кинематическая вязкость, м²/с: 0,26E-6
 - теплоемкость, кДж/(кг*К): 1,06
 - число Прандтля: 0,95
 - скрытая теплота парообразования, кДж/кг: 161,6
 - температуропроводность, м²/с: 0,272E-6
- Термодинамические параметры цикла:**
 - h1, кДж/кг: 410
 - h2, кДж/кг: 439
 - h2', кДж/кг: 256
 - h2'', кДж/кг: 418
 - h3, кДж/кг: 251
 - v2, кДж/кг: 0,023
 - v2'', кДж/кг: 0,020
- Термодинамические параметры цикла (continued):**
 - перепад температур на участке снятия перегрева: 1
 - перепад температур на участке конденсации: 2
 - перепад температур на участке переохлаждения: 0,27
 - Скорость жидкости на участке переохлаждения: 1

Buttons 'OK' and 'Назад' are visible at the bottom right.

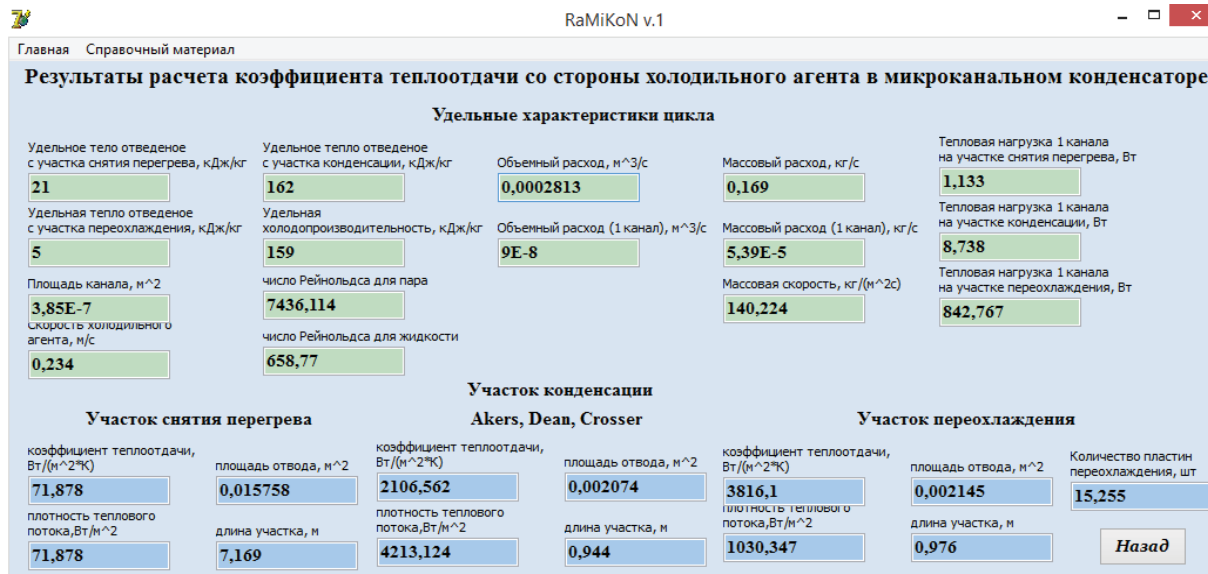
а

The screenshot shows the 'RaMiKoN v.1' software window with the title 'Выполнить расчет:'. The interface is divided into two main sections:

- Теплоотдача:** Корреляционное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи со стороны холодильного агента. It lists several correlation equations with radio buttons:
 - Chaddock, Chato: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, Re < 35000
 - Akers, Dean, Crosser: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, Re < 5000
 - Boyko, Kruzhillin: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, Re < 20000
 - Консетов В.В.: HFC- и HCFC рабочие вещества
 - Cavaallini, Zeccin: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 0.4 < d, мм < 1.4, 200 < G, кг/м²*с < 1000
 - Shah: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 0.7 < d, мм < 4, 11 < G, кг/м²*с < 211
 - Traviss: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 0.5 < d, мм < 8, 161 < G, кг/м²*с < 1533
 - Soliman: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 0.5 < d, мм < 12.4, 80 < G, кг/м²*с < 1610
 - Dobson, Chato: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 1 < d, мм < 7.04, 25 < G, кг/м²*с < 800
 - Moser: R717, HFC- и HCFC рабочие вещества, 1 < d, мм < 20
 - Городницкая С.: R 717
- Гидродинамика:** Корреляционное уравнение для расчета падения давления со стороны рабочего вещества. It lists several correlation equations with radio buttons:
 - Локхарт-Мартинелли
 - Tran
 - Wilson
 - Mishima, Hibiki
 - Cavallini
 - Lee, Lee

Buttons 'OK' and 'Назад' are visible at the top right.

б



В

Рис. 4 – Блок "Рабочая речовина (холодоагент)": а – введення вхідних параметрів для блоку «робоча речовина»; б – вибір кореляційного рівняння для розрахунку; в – Виведення результатів розрахунку для блоку «робоча речовина»

На (рис. 4, в) наведено результати розрахунку коефіцієнта тепловіддачі отримані за допомогою програмного комплексу для рівняння (1, 2). Кореляційне рівняння, яке входить в математичну модель може бути обрано для однієї з умов:

– при $Re'' < 5 \cdot 10^4$

$$\alpha = \frac{5.03 \cdot Pr^{1/3} \cdot \lambda'}{d_k} \cdot \left(\frac{4 \cdot \dot{M}_a}{\pi \cdot \mu' \cdot d_k} \cdot \left(1 + \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right)^{0.5} \right) \right)^{1/3} \quad (1)$$

– при $Re'' > 5 \cdot 10^4$

$$\alpha = \frac{0.0265 \cdot Pr^{0.8} \cdot \lambda'}{d_k} \cdot \left(\frac{4 \cdot \dot{M}_a}{\pi \cdot \mu' \cdot d_k} \cdot \left(1 + \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right)^{0.5} \right) \right)^{1/3} \quad (2)$$

У рівняння входять теплофізичні параметри робочої речовини (Re – число Рейнольдса, Pr – число Прандтля, λ – теплопровідність (Вт/(м·К)), μ – динамічна в'язкість, (Па·с), ρ – густина, (кг/м³)), геометричні розміри каналу (d_k – діаметр, (м)) та масова витрата (\dot{M} , (кг/с)).

Користувач на свій розсуд обирає одне з рівнянь. Необхідно зазначити, що в програмі передбачена можливість використання функції «Збереження результату розрахунку». Також однією з функцій програми є можливість виведення на друк отриманих результатів.

8. Обговорення результатів дослідження впливу інформаційних технологій на виконання розрахунку теплообмінних апаратів

Розроблений програмний комплекс для розрахунку мікроканальних повітряних конденсаторів містить велику кількість розрахункових залежностей, що розширює можливості дослідників підчас роботи. Програмний комплекс може бути використаний у проектуванні з метою скорочення часу розрахунку теплообмінного апарату і зменшення кількості помилкових розрахунків. Удосконалення науково-методичного підходу до проектування мікроканальних теплообмінників, наприклад, для отримання широкого спектру параметрів і характеристик апарату, який проектується з метою подальшої оптимізації. Розроблена програма містить одинадцять кореляційних рівнянь для визначення коефіцієнта тепловіддачі і шість рівнянь для визначення падіння тиску з боку робочої речовини. Використані кореляційні рівняння охоплюють різні типи конструктивних рішень апарату і умови протікання процесів. Оскільки робота з продовження дослідження мікроканальних повітряних конденсаторів, необхідно зазначити, що на даному етапі розпочато процес автоматизації процесу розрахунку. Даний процес буде базуватись на раніше розробленій



математичній моделі з метою її подальшої оптимізації з урахуванням можливості використання інструментів інтелектуального аналізу даних.

9. Висновки

1. Під час дослідження було встановлено, що зальними етапами розвитку інформаційних технологій та низькотемпературної техніки є: «ручні», «механічні» та «електричні» технології. Як і у інформаційних технологіях, так і у низькотемпературній техніці відбулось значне зменшення розмірів основних елементів та апаратів, що призвело до зміни кількості інформації з якою працює дослідник.
2. Зміни у підході до виконання сучасних інженерних проектів призвели до широкого використання засобів інформаційних технологій. Для виконання графічної частини інженерних проектів використовуються засоби САПР (системи конструювання, системи автоматизованої розробки деталей та аналітично-розрахункові підсистеми). Під час підготовки та проведення аналітично-розрахункових частин проекту, за умов наявності Big Data, використовують інструменти інтелектуального аналізу даних.
3. Використання великої кількості супутніх інструментів вимагає розроблення та впровадження програмного комплексу для дослідження апаратів низькотемпературної техніки. Необхідним продовженням дослідження було удосконалення програмного комплексу, який дозволяє отримані результати обробляти за допомогою інструментів інтелектуального аналізу даних, а саме, для прогнозування, візуалізації, кластерізації, визначення відхилень отриманих результатів.

Література

- [1] Денисова, О. (2016). Развитие информационных технологий. Получено Сентябрь 2, 2016 на <http://ukrkniga.org.ua/ukrkniga-text/817/3>;
- [2] Малиновский, Б. (2016). World history of computer science and first computers development. Получено Август 1, 2016 на <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/Early.html>;
- [3] Lee, E. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*, 15(3), 4837–4869. doi:10.3390/s150304837;
- [4] Kubholod.ru (2016). История развития холодильной техники. Получено Июнь 18, 2016 на <http://kubholod.ru/kubarticles/istoriya-razvitiya-holodilnoy-tehniki>;
- [5] Ремонт холодильника (2016). История развития холодильной техники. Получено Июнь 18, 2016 на <http://ремонт-холодильника.dp.ua/stati-o-kholodilnikakh/41-istoriya-razvitiya-kholodilnoj-tehniki.html>;
- [6] Vij, A. K. (1996). *Modeling of two-phase flows in horizontal tubes*;
- [7] Andres, D. J. (1994). *Design and construction of a condensation heat transfer experimental facility for use with microchannel condenser tubing*;
- [8] Vardhan, A. (1997). *Heat transfer and pressure drop characteristics of R-22, R-134a and R-407c in microchannel tubes*;
- [9] Kandlikar, S. G. (2006). *Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier;
- [10] Kitanovski, A., Plaznik, U., Tomc, U., & Poredoš, A. (2015). Present and future caloric refrigeration and heat-pump technologies. *International Journal of Refrigeration*, 57, 288–298. doi:10.1016/j.ijrefrig.2015.06.008;
- [11] Capozzoli, A., & Primiceri, G. (2015). Cooling Systems in Data Centers: State of Art and Emerging Technologies. *Energy Procedia*, 83, 484–493. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.168;
- [12] Шолом, П. С., Semeniuk, V. Ya., Miskevych, O. I (2013). Основні поняття про САПР. Структура і способи виконання САПР. Получено Август 13, 2016 на <http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/knit/ki/2013/13-08/page6.html>;
- [13] Кветний, Р., Богач, И., Бойко, О. и др. (2016). Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Методи обчислення. Получено Февраль 12, 2016 на http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/173..htm;
- [14] Данфос Украина (2016). Получено Август 15, 2016 на <http://www.danfoss.ua/home/>;
- [15] Все для студента. (2010). Raschet termodinamicheskikh svoistv khladahentov REFPROP versiya 7.0. Retrieved Август 15, 2016 на <http://www.twirpx.com/file/186711>;
- [16] CoolPack – IPU (2016). Получено Август 13, 2016 from <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx>;
- [17] Сп.ua (2016). Shcho oznachaiut termini “Velyki Dani” ta “Era velykykh danykh”. Retrieved August 15, 2016 from <http://www.cn.ua/news/info-tehnology/3265-sho-oznachaut-termini-veliki-dani-era-velikih-daniv.html>;
- [18] Ольшевська, О., Селиванова, А. (2015). Імплементация сучасного інструментарію аналізу даних для оброблення показників, отриманих у системах кондиціонування повітря та холодильних установках. Частина 1. *Холодильна техніка та технологія*, 51(6), 91–93. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.6/2015.39290>;
- [19] Морозюк, Л. І., Ольшевська, О. В. (2012). К расчету теплоотдачи в микроканалах двухходового воздушного микроканального конденсатора. *Холодильна техніка та технологія*, 3 (137), 18–23;
- [20] Ольшевська, О. В., Морозюк, Л. І. (2012). Аналіз умов теплопередачі у двоходовому повітряному мікроканальному конденсаторі. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 29, 148–155;
- [21] Морозюк, Л. І., Ольшевська, О. В. (2012). Анализ процесса гидродинамики при конденсации рабочего



- вещества в микроканальном конденсаторе. *Холодильна техніка та технологія*, 4 (138), 22–25;
- [22] Software to size microchannel heat exchangers (2012). Retrieved August 13, 2012 from <http://www.unilab.eu/heat-transfer-software/unilab-microchannel/>;
- [23] Морозюк, Л. І., Ольшевська, О. В. (2013). Программный комплекс для расчета микроканальных воздушных конденсаторов. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 31, 220–228;
- [24] Ольшевська, О. В. (2016). Computer program for calculation microchannel heat exchangers for air conditioning systems. *Refrigeration engineering and technology*, 52(3),48-52. doi:10.15673/ret.v52i3.123.

References

- [1] Denisova, O. (2016). Rozvytok informatsiinykh tekhnologii. Retrieved September 2, 2016 from <http://ukrkniga.org.ua/ukrkniga-text/817/3/>;
- [2] Malinovsky, B. (2016). World history of computer science and first computers development. Retrieved August 1, 2016 from <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/Early.html>;
- [3] Lee, E. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*, 15(3), 4837–4869. doi:10.3390/s150304837;
- [4] Kubholod.ru (2016). Istoriia razvitiia kholodilnoi tekhniki. Retrieved June 18, 2016 from <http://kubholod.ru/kubarticles/istoriya-razvitiya-holodilnoy-tehniki>;
- [5] Remont kholodilnika (2016). Istoriia razvitiia kholodilnoi tekhniki. Retrieved June 18, 2016 from <http://ремонт-холодильника.dp.ua/stati-o-kholodilnikakh/41-istoriya-razvitiya-kholodilnoj-tehniki.html>;
- [6] Vij, A. K. (1996). *Modeling of two-phase flows in horizontal tubes*;
- [7] Andres, D. J. (1994). *Design and construction of a condensation heat transfer experimental facility for use with microchannel condenser tubing*;
- [8] Vardhan, A. (1997). *Heat transfer and pressure drop characteristics of R-22, R-134a and R-407c in microchannel tubes*;
- [9] Kandlikar, S. G. (2006). *Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier;
- [10] Kitanovski, A., Plaznik, U., Tomc, U., & Poredoš, A. (2015). Present and future caloric refrigeration and heat-pump technologies. *International Journal of Refrigeration*, 57, 288–298. doi:10.1016/j.ijrefrig.2015.06.008;
- [11] Capozzoli, A., & Primiceri, G. (2015). Cooling Systems in Data Centers: State of Art and Emerging Technologies. *Energy Procedia*, 83, 484–493. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.168;
- [12] Sholom, P. S., Semeniuk, V. Ya., Miskevych, O. I (2013). Osnovy system avtomatyzovanoho proektuvannia (interatkyvnyi kompleks navchalno-metodychnoho zabezpechennia). Retrieved August 13, 2016 from <http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/knit/ki/2013/13-08/page6.html>;
- [13] Kvietyni, R., Bogach, I., Boiko, O., Sofyna, O., Shushura, O. (2016). Kompiuterne modeliuvannia system ta protsesiv. Metody obchyslennia. Retrieved February 12, 2016 from http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/173..htm;
- [14] Danfoss Ukraina (2016). Retrieved August 15, 2016 from <http://www.danfoss.ua/home/>;
- [15] Vse dlia studenta. (2010). Raschet termodynamicheskikh svoistv khladahentov REFPROP versyia 7.0. Retrieved August 15, 2016 from <http://www.twirpx.com/file/186711>;
- [16] CoolPack – IPU (2016). Retrieved August 13, 2016 from <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx>;
- [17] Cn.ua (2016). Shcho oznachaiut terminy “Velyki Dani” ta “Era velykykh danykh”. Retrieved August 15, 2016 from <http://www.cn.ua/news/info-tehnology/3265-sho-oznachaut-termini-veliki-dani-ta-era-velikih-danih.html>;
- [18] Olshevska, O., Selivanova, A. (2015). Data analysis software tools for processing of parameters obtained in air conditioning and refrigerating units implementation. Part 1. *Refrigeration engineering and technology*, 51(6), 91–93. (in Ukrainian) DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.6/2015.39290>;
- [19] Morosuk, L. I., Olshevskaya, O. V. (2012). To calculation of heat transfer in microchannels of two-way air microchannel condenser. *Refrigeration engineering and technology*, 3 (137), 18–23. (in Russian) ;
- [20] Olshevska, O. V., Morosuk, L. I. (2012). Analiz umov teploperedachi u dvokhodovomu povitriannomu mikrokanalnomu kondensatori. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv*, 29, 148–155. (in Ukrainian) ;
- [21] Morozuk, L. I., Olshevskaya, O. V. (2012). Analysis of hydrodynamic process at the condensation of the working substance in a microchannel capacitor. *Refrigeration engineering and technology*, 4 (138), 22–25. (in Russian) ;
- [22] Software to size microchannel heat exchangers (2012). Retrieved August 13, 2012 from <http://www.unilab.eu/heat-transfer-software/unilab-microchannel/>;
- [23] Morosuk, L. I., Olshevskaya, O. V. (2013). Software to calculation microchannel air condenser. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv*, 31, 220–228;
- [24] Olshevska, O. V. (2016). Computer program for calculation microchannel heat exchangers for air conditioning systems. *Refrigeration engineering and technology*, 52(3),48-52. doi:10.15673/ret.v52i3.123.