

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Донецькому національному університеті економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського МОН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
ГОРІН ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ,  
завідувач кафедри холодильної і торговельної  
техніки Донецького національного університету  
економіки і торгівлі імені Михайла Туган-  
Барановського Міністерства освіти і науки  
України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
ХМЕЛЬНЮК МИХАЙЛО ГЕОРГІЙОВИЧ,  
завідувач кафедри холодильних машин і  
установок Одеської національної академії  
харчових технологій, інститут холоду,  
кріотехнологій та екоенергетики імені  
Мартиновського В.С. Міністерства освіти і  
науки України

кандидат технічних наук, доцент  
КОНОВАЛОВ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ,  
доцент кафедри теплотехніки Херсонської філії  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова Міністерства освіти і  
науки України

Захист дисертації відбудеться «25» листопада 2013 року в 14:00, в ауд. 108  
відданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній  
академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: вул.  
1/3, м. Одеса, 65082, Україна

Документ можна ознайомитися в бібліотеці ОНАХТ за адресою:  
вул. 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

«23» жовтня 2013 р.

Мілованов В.І.

xv 1116  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
бібліотека

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Останнім часом неухильно зростає кількість малої холодильної техніки, яка використовує як холодильний агент природні вуглеводи, що мають нульовий потенціал руйнування озонового шару стратосфери та незначний потенціал глобального потепління. До таких речовин відносять холодоагент R600a - ізобутан. Головне обмеження в його застосуванні - вибухопожежонебезпечність, яка може бути усунутою конструкторськими рішеннями на основі сучасних досягнень техніки й технології.

Як показала практика, у процесі експлуатації можливі випадки витoku холодильного агента з герметичної холодильної системи. За наявності мікрвитоків компресорна система холодильника може працювати без видимих змін досить довгий період. При цьому погіршуються технологічні й експлуатаційні показники роботи холодильної машини, створюються умови для виходу з роботи компресора.

Аналіз статистичних даних сервісних ремонтів побутових холодильників, випущених ПАТ «Норд» у період з 01.01.2012р. по 31.12.2012р., показав, що на території України, Росії та країн СНД сервісною службою було виконано значну кількість гарантійних ремонтів холодильників, пов'язаних з витокom холодильного агента з компресорної системи, що спричинило вихід з роботи і заміну компресора. Ремонтні з усунення витоків ізобутану з холодильної системи з виходом компресора з роботи склали 13,3%.

У конструкції торговельних і побутових холодильних приладів відсутні пристрої, що діагностують і сигналізують про мікрвитікання. У літературних джерелах відсутні дані про термодинамічні процеси, особливості й наслідки роботи холодильної системи при наявності мікрвитоків. Дослідження в даному напрямі дозволять максимально ефективно забезпечити надійність і безпеку малої холодильної техніки, яка працює на ізобутані, виключити ймовірність псування харчових продуктів, виходу компресора з роботи, виключити перевитрати електроенергії під час експлуатації ушкодженого холодильника. З огляду на вищевикладене можна вважати дослідження особливостей роботи побутових холодильних приладів при наявності мікрвитоків, а також ефективне забезпечення їх надійності та безпеки актуальними.

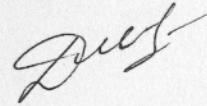
**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Здобувач брав участь у проведенні науково-дослідних робіт: Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган - Барановського Д-2006-15 «Удосконалення обладнання технологічних процесів та забезпечення екологічної безпеки підприємств торгівлі і харчових виробництв» (0105U000363); Д-2011-6 «Удосконалення холодильної і торговельної техніки з метою зниження енергоспоживання, підвищення рівня технічної і екологічної безпеки». Відповідальний виконавець розділу: «Забезпечення технічної та екологічної безпеки малої холодильної техніки, що працює на вуглеводах (на прикладі ізобутану)». Виконує передбачену науково-технічною програмою «Донбас - 2020» науково-дослідну роботу в галузі енергозбереження на тему «Зниження енергоспоживання при роботі побутових холодильних приладів».



П 92'

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ДЬОМІН МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ**



УДК 621.564.2-049.5/6

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ МАЛОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ ПРИ МІКРОВИТОКАХ ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТУ**

Спеціальність 05.05.14 - Холодильна, вакуумна та компресорна техніка,  
системи кондиціонування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса - 2013

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Донецькому національному університеті економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського МОН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
ГОРІН ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ,  
завідувач кафедри холодильної і торговельної  
техніки Донецького національного університету  
економіки і торгівлі імені Михайла Туган-  
Барановського Міністерства освіти і науки  
України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
ХМЕЛЬНЮК МИХАЙЛО ГЕОРГІЙОВИЧ,  
завідувач кафедри холодильних машин і  
установок Одеської національної академії  
харчових технологій, інститут холоду,  
кріотехнологій та екоенергетики імені  
Мартиновського В.С. Міністерства освіти і  
науки України

кандидат технічних наук, доцент  
КОНОВАЛОВ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ,  
доцент кафедри теплотехніки Херсонської філії  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова Міністерства освіти і  
науки України

Захист дисертації відбудеться «25» листопада 2013 року в 14:00, в ауд. 108  
відданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній  
академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: вул.  
1/3, м. Одеса, 65082, Україна

Документ можна ознайомитися в бібліотеці ОНАХТ за адресою:  
вул. 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

«23» жовтня 2013 р.

Мілованов В.І.

xv 1116  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
бібліотека

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Останнім часом неухильно зростає кількість малої холодильної техніки, яка використовує як холодильний агент природні вуглеводи, що мають нульовий потенціал руйнування озонового шару стратосфери та незначний потенціал глобального потепління. До таких речовин відносять холодоагент R600a - ізобутан. Головне обмеження в його застосуванні - вибухопожежонебезпечність, яка може бути усуненою конструкторськими рішеннями на основі сучасних досягнень техніки й технології.

Як показала практика, у процесі експлуатації можливі випадки витoku холодильного агента з герметичної холодильної системи. За наявності мікрвитоків компресорна система холодильника може працювати без видимих змін досить довгий період. При цьому погіршуються технологічні й експлуатаційні показники роботи холодильної машини, створюються умови для виходу з роботи компресора.

Аналіз статистичних даних сервісних ремонтів побутових холодильників, випущених ПАТ «Норд» у період з 01.01.2012р. по 31.12.2012р., показав, що на території України, Росії та країн СНД сервісною службою було виконано значну кількість гарантійних ремонтів холодильників, пов'язаних з витокom холодильного агента з компресорної системи, що спричинило вихід з роботи і заміну компресора. Ремонтні з усунення витоків ізобутану з холодильної системи з виходом компресора з роботи склали 13,3%.

У конструкції торговельних і побутових холодильних приладів відсутні пристрої, що діагностують і сигналізують про мікрвитікання. У літературних джерелах відсутні дані про термодинамічні процеси, особливості й наслідки роботи холодильної системи при наявності мікрвитоків. Дослідження в даному напрямі дозволять максимально ефективно забезпечити надійність і безпеку малої холодильної техніки, яка працює на ізобутані, виключити ймовірність псування харчових продуктів, виходу компресора з роботи, виключити перевитрати електроенергії під час експлуатації ушкодженого холодильника. З огляду на вищевикладене можна вважати дослідження особливостей роботи побутових холодильних приладів при наявності мікрвитоків, а також ефективне забезпечення їх надійності та безпеки актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Здобувач брав участь у проведенні науково-дослідних робіт: Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган - Барановського Д-2006-15 «Удосконалення обладнання технологічних процесів та забезпечення екологічної безпеки підприємств торгівлі і харчових виробництв» (0105U000363); Д-2011-6 «Удосконалення холодильної і торговельної техніки з метою зниження енергоспоживання, підвищення рівня технічної і екологічної безпеки». Відповідальний виконавець розділу: «Забезпечення технічної та екологічної безпеки малої холодильної техніки, що працює на вуглеводах (на прикладі ізобутану)». Виконує передбачену науково-технічною програмою «Донбас - 2020» науково-дослідну роботу в галузі енергозбереження на тему «Зниження енергоспоживання при роботі побутових холодильних приладів».

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є розроблення способу та засобів виявлення мікробитоків холодильного агенту під час експлуатації побутового холодильного обладнання.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати проблему зниження надійності та безпеки експлуатації побутового холодильного обладнання через витіки холодильного агенту та обґрунтувати напрям і завдання дослідження, гіпотези їх розв'язання;

- розробити методику та провести експериментальні дослідження впливу мікробитоків холодильного агенту на теплоенергетичні показники роботи побутового холодильника;

- розробити математичну модель для розрахунку процесів теплопередачі від киплячого холодильного агенту до внутрішнього об'єму морозильної камери побутового холодильника за наявності його мікробитоків;

- розробити метод встановлення мікробитоків на основі теплоенергетичних параметрів роботи побутового холодильника;

- розробити конструкцію й визначити місце розташування пристрою автоматичної і його чутливого елемента для визначення та сигналізації про наявність мікробитоків холодильного агенту.

**Об'єкт дослідження** – побутові холодильні прилади, що працюють за наявності мікробитоків холодильного агенту.

**Предмет дослідження** – теплоенергетичні характеристики побутового холодильника при витіках з нього ізобутану.

**Методи дослідження:** фізичне та математичне моделювання теплофізичних процесів у побутовому холодильнику при мікробитках ізобутану, аналітичні й експериментальні дослідження параметрів його роботи.

**Наукова новизна** результатів роботи:

- запропоновано методологічний підхід до встановлення витоків холодильного агенту за температурою поверхні випарника морозильного відділення на основі результатів експериментальних досліджень впливу дози заправлення холодильної системи ізобутаном і температури навколишнього середовища на параметри і теплоенергетичні характеристики холодильної машини (споживання електроенергії компресором, температури на поверхні випарника морозильного відділення, коефіцієнт робочого часу (КРЧ));

- вперше розроблено метод встановлення витоків холодоагенту з компресорної системи побутових холодильників за значенням температури на поверхні випарника морозильного відділення з визначенням кількості видаленого із системи холодоагенту та врахуванням зміни теплового навантаження на компресор;

- розроблено фізичну та математичну моделі для розрахунку параметрів процесу теплопередачі від киплячого холодильного агенту до внутрішнього об'єму морозильної камери побутового холодильника при роботі його за наявності мікробитоків холодильного агенту та при змінних температурах навколишнього середовища й уставки терморегулятора. Розбіжність експериментальних і розрахункових даних з температури на поверхні випарника морозильного відділення склало 7,0-10,0 %;

- вперше отримано експериментальні дані та закономірність зміни параметрів і теплоенергетичних характеристик роботи побутового холодильника (споживання електроенергії компресором, температури на поверхні випарника морозильного відділення, КРЧ) залежно від дози заправлення холодильної системи ізобутаном і температури навколишнього середовища, які підтверджують адекватність розробленої математичної моделі в діапазоні дози заправлення холодильної системи ізобутаном від 32,0 г до 41,0 г;

**Достовірність наукових положень і результатів** забезпечено коректною постановкою завдань дослідження, відповідною точністю експериментальних даних, використанням математичних методів прогнозування термодинамічних параметрів, що підтверджено результатами експериментальних досліджень, використанням сучасних засобів реєстрації фізичних параметрів і атестованих приладів, апробацією в лабораторних та виробничих умовах пристрою, який реагує на зниження температури на поверхні випарника морозильної камери, що є ознакою аварійної роботи холодильного приладу.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено стенд для дослідження роботи побутових холодильників, що мають наскрізні ушкодження в холодильній системі, який прийнятий для використання в дослідницько-випробувальному центрі УКРНДІПОБУТМАШ – Група «Юрд»;

- розроблено і впроваджено в ПАТ «Юрд» пристрій сповіщення про витік робочого тіла з компресорної системи за зниженням температури на поверхні випарника морозильної камери внаслідок зменшення дози заправлення холодильної системи;

- обґрунтовано принцип дії та місце розташування чутливого елемента пристрою для визначення і сигналізації про наявність мікробитоків холодильного агенту;

- розроблено та впроваджено пристрій механічної дії для визначення і сигналізації про наявність мікробитоків, яке захищено патентом України на винахід;

- вперше встановлено критичне значення маси ізобутану (4,5 г), що може виділитися через ушкодження в холодильній системі побутового холодильника ДХ-239 до настання режиму роботи компресора з коефіцієнтом робочого часу КРЧ=1, що дозволяє проводити налаштування приладу, який сповіщає про мікробитоків;

- результати дисертаційного дослідження у вигляді методики встановлення витоків холодоагенту з компресорної системи побутових холодильників за значенням температури на поверхні випарника морозильного відділення з визначенням кількості видаленого із системи холодоагенту та врахуванням зміни теплового навантаження на компресор; стенд для дослідження роботи побутових холодильників, що мають наскрізні ушкодження в холодильній системі, впроваджено у навчальний процес кафедри холодильної і торговельної техніки ДонНУЕТ.

**Особистий внесок здобувача** в результатах, які отримано в дисертаційній роботі: формулювання завдань і розроблення методики досліджень, участь у їх

проведенні, оброблення, аналіз і узагальнення отриманих даних, розроблення конструкторських рішень з підвищення надійності та рівня вибухобезпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень були представлені і обговорювалися на: науко-технічній конференції с міжнародним участием «Холодильные агенты на все времена. Евроожидания и российский опыт» 02 лютого 2010р., Санкт-Петербург: СПбГУНИПТ; V міжнародній науко-технічній конференції «Удосконалення малої холодильної техніки – використання холоду в харчовій галузі» 9-11 вересня 2010р. ДонНУЕТ; науко-технічній конференції з міжнародною участю, присвяченій 80-чю СПбДУНИПТ «Холод-2011. Промэкология и энергосбережение» 2 лютого 2011 г., СПбГУНИПТ; міжнародній науко-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: ОНАХТ, 17-20 травня 2011р; VII міжнародній конференції «Стратегия качества в промышленности и образовании» г. Варна (Болгарія), Технічний університет, 3-10 червня 2011р.; VII міжнародній науко-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» – Одеса: ОДАХ, 14-16 вересня 2011р.; XIV міжнародній науко-технічній конференції «Актуальні проблеми енергетики і екології», Одеса: ОДАХ 21 – 23 вересня 2011 р.; II міжнародній науко-технічній конференції, присвяченій 20-річчю незалежності України «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», 5-7 жовтня 2011р. м. Миколаїв; II міжнародній конференції з елементами наукової школи для молоді «Иновационные разработки в области техники и физики низких температур» Москва 14-16 грудня 2011р.; міжнародній спеціалізованій виставці «Світ морозива та холоду» & «Молочна і м'ясна індустрія XXI століття»- 1-4 березня 2011р. м. Київ; міжнародній спеціалізованій виставці «MARKUP HORECA - Морозиво & Продукти харчування», 20-23 березня 2012р. м. Київ; VIII міжнародній конференції «Стратегия качества в промышленности и образовании» г. Варна (Болгарія), Технічний університет (8-15 июнь 2012г.); VIII міжнародній науко-технічній конференції «Сталий розвиток і штучний холод», 8-10 жовтня 2012р., ОДАХ; міжнародній конференції Proceedings of International conference «Modern Technologies in the Food Industry». Technicab university of Moldova 1-3 november 2012.; 10-тій міжнародній спеціалізованій виставці «Світ морозива та холоду» & «Молочна і м'ясна індустрія XXI століття», 20-22 березня 2013р., м. Київ; всеукраїнській науко-технічній конференції молодих учених та студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 24-25 квітня 2012 р. м. Одеса; науковій конференції викладачів і аспірантів університету за підсумками науко-дослідної роботи «Холодильна і торговельна техніка – на рівні світових стандартів» 12 лютого 2010р; 71-й науковій конференції науко-викладацького складу ОНАХТ. 18-22 квітня 2011р. Одеса, ОНАХТ, 2011р; науковій конференції викладачів і аспірантів ДонНУЕТ за підсумками науко-дослідної роботи за 2011 рік «Удосконалення, підвищення надійності, безпеки та ефективності холодильної техніки» 17 лютого 2012р., ДонНУЕТ

**Публікації** – основний зміст дисертації опублікований у 12-х статтях у наукових збірниках і журналах, які входять до Переліку спеціальних видань;

(одна публікація в журналі Молдовської академії наук), 9 доповідей на конференціях в Україні і за кордоном. Отримано один патент України на винахід у співавторстві.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаної літератури з 104 джерел та додатків. Містить 151 сторінку основного тексту, 43 рисунки, 15 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, відображено зв'язок з державними програмами і темами, сформульовано цілі та основні завдання дослідження, наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, дано відомості про апробацію результатів дисертації та основні публікації.

У **першому розділі** обґрунтовується доцільність застосування ізобутану в малій холодильній техніці та аналізуються актуальні проблеми його безпечного використання. Розв'язання проблем забезпечення відповідної світовим стандартам теплоенергетичної ефективності малої холодильної техніки, що працює на ізобутані, безпеки її конструкції, масового виробництва та сервісного обслуговування вимагає провести системний аналіз основних причин витоку ізобутану з холодильної системи.

Мікроушкодження можна віднести до видів: «непроявлення» у зварених з'єднаннях (зварювання киснево-пропанове з використанням мідно-фосфорного припою), пружнодеформовані від зовнішніх механічних впливів і корозійні - у сталевих конденсаторах. Виявлені мікроушкодження виділені у дві групи: пористі й тріщинуваті. Залежно від розміру наскрізні ушкодження діляться на макро- і мікроушкодження. Мікроушкодження дуже важко діагностувати. При мікровитоках холодильного агенту (ізобутану) холодильна машина може працювати без діагностичних ознак витоку ( $KP^4=1$ ) до кількох місяців.

Дозування холодоагенту, особливо R600a, при заправленні малої холодильної машини повинно бути досить точним: зменшення дози його, порівняно з розрахунковою величиною, призводить до істотної перевитрати електроенергії під час роботи холодильника, погіршенню термодинамічних характеристик і умов охолодження компресора. Особливістю роботи розгерметизованої холодильної системи, що заправлена ізобутаном, є можливість підсмоктування атмосферного повітря, яке впливає на термодинамічні характеристики робочого тіла. У літературних джерелах відсутня інформація про особливості роботи побутових і торговельних холодильників у випадку мікровитоків холодоагенту.

У **другому розділі** розроблено математичну модель процесів теплопередачі від киплячого холодоагенту до внутрішнього об'єму морозильної камери побутового холодильника під час роботи його при наявності мікровитоків та змінних температури навколишнього повітря й уставки терморегулятора.

Для рішення зроблено математичну постановку завдання, а саме розрахунок очікуваної температури на поверхні випарника за різних умов (зміна

дози заправлення холодоагенту та температури навколишнього середовища). Для визначення оптимальних значень було використано: критерій Нуссельта, коефіцієнт тепловіддачі, діаметр трубки, теплопровідність газорідинної системи, критерій Рейнольдса для газорідинної системи, швидкість течії, кінематичний коефіцієнт в'язкості, критерій Прандтля для газорідинної системи, критерій Прандтля для стінки труби газорідинної системи.

Рішення задачі щодо очікуваної температури в трубі випарника морозильної камери. Вважаємо течію холодоагенту в трубі сталою, що дозволяє використовувати критеріальні залежності. Приймаємо температурний напір  $t_p - t_{cr} = 1^\circ\text{C}$ , визначаємо число Грасгофа:

$$Gr_{pd} = \frac{g\beta k^3 \Delta T}{\nu^2} \quad (1)$$

$\beta$  - коефіцієнт об'ємного розширення рідини.

Застосовуючи формулу для тепловіддачі, знаходимо

$$Nu_{pd} = 0,15 Re_{pd}^{0,33} Pr_{pd}^{0,43} Gr_{pd}^{0,1} (Pr_{pd}/Pr_{cr})^{0,25}, \quad (2)$$

де  $Nu_{pd} = \alpha d / \lambda_{pd}$  - критерій Нуссельта,  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі;  $d$  - діаметр трубки,  $\lambda_{pd}$  - теплопровідність газорідинної суміші,  $Re_{pd} = ud/\nu$  - критерій Рейнольдса для газорідинної системи;  $u$  - швидкість течії,  $\nu$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості;  $Pr_{pd} = \nu/a$  - критерій Прандтля для газорідинної системи,  $Pr_{cr}$  - критерій Прандтля для стінки труби газорідинної системи.

З формули (2) визначимо коефіцієнт тепловіддачі від киплячого холодоагенту труби випарника морозильного відділення:

$$\alpha = Nu_{pd} \frac{\lambda_p}{d} \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}. \quad (3)$$

Поправку на довжину труби вводити не варто, тому що  $l/d > 50$ . Кількість переданої теплоти через всю трубу

$$Q = ml\alpha(t_x - t_{cr}) \text{ Вт}. \quad (4)$$

Для визначення теплового потоку від труби в частину випарника необхідно визначити швидкість течії в трубі і умови тепловіддачі.

Рівняння енергії Півха І.Л.:

$$\rho c_p \left( v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right), \quad (5)$$

де  $\rho$  - густина холодоагенту;

$c_p$  - питома масова теплоємність холодоагенту при постійному тиску;

$v_r$  - компонента швидкості вздовж координати  $r$ . Причому профіль швидкості для  $r$ -компоненти швидкості визначається за формулою:

$$v_r = 2\bar{v}_x \left[ 1 - (r/r_0)^2 \right] \quad (6)$$

$v_x$  - компонента швидкості уздовж координати  $x$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності холодоагенту;  $T$  - поточна температура.

Рівняння тепловіддачі для крапельних рідин:

$$\bar{Nu}_{pd} = 0,021 Re_{pd}^{0,8} Pr_{pd}^{0,43} \left( \frac{Pr_{pd}}{Pr_{cr}} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

Коефіцієнт тепловіддачі для турбулентного руху газу визначають за числом Нуссельта:

$$Nu_{p(x)d} = 0,022 Re_{p(x)}^{0,8} Pr_{p(x)}^{0,43} \varepsilon_i; \quad (8)$$

де  $\varepsilon_i = 1,38(x/d)^{0,12}$ .

Таким чином, використовуючи рівняння подібності, визначимо температуру в трубках полиць морозильного відділення.

Проте завдання ускладнюється тим, що залежно від температури навколишнього середовища, холодоагент після конденсації надходить до дроселюючого пристрою з різною температурою, і перехід здійснюється не миттєво, а в певному обсязі із збільшенням частки газової фази  $\xi$ , тому в точці переходу від рідкого агрегатного стану до газоподібного встановлюється наступна гранична умова:

$$\lambda_{\text{жид}} \frac{\partial t}{\partial n} - \lambda_{\text{пар}} \frac{\partial t}{\partial n} = L \lambda \frac{\partial \xi}{\partial t}; \quad (9)$$

$n$  - координата.

Енергія  $E$  переходу з рідкого стану в пару ( $L$  - прихована теплота пароутворення):

$$E = \int_0^{t_*} c_p(T) dt + L \eta(t - t_*); \quad \eta(u) = \begin{cases} 1, u \geq 0 \\ 0, u < 0 \end{cases}, \quad (10)$$

де  $t_*$  - температура фазового переходу. Враховуючи, що  $\partial \eta(u)/\partial t = \delta(u)$ , отримуємо функцію Дірака, фізичний зміст якої полягає в тому, що теплоємність зосереджена на поверхні розподілення фаз. Оскільки фазовий перехід здійснюється не в точці, а в певному просторі, то переходимо до дельтаподібної функції  $\delta(t - t_*, \Delta)$ , відмінною від нуля тільки в інтервалі температур  $(t_* + \Delta, t_* - \Delta)$ , де  $\Delta = (t_* - t_n)/2$ , що дозволяє перейти до згладженої теплоємності.

Знання температури кипіння холодоагенту дозволяє визначити температуру в морозильній камері. Це друга задача, для рішення якої необхідно застосувати таку систему рівнянь.

$$(\nabla \nabla) \vec{v} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu \nabla \nabla \vec{v} + \vec{g} T \beta \quad \text{- рівняння Нав'є-Стокса}; \quad (11)$$

$$c_p (\nabla \nabla) T = \nabla \lambda \nabla T \quad \text{рівняння теплоперенесення}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad \text{рівняння нерозривності}; \quad (13)$$

де  $\vec{v}$  - вектор швидкості;  $P$  - тиск газорідинної суміші, Па;  $\rho$  - густина повітря, що конвертується в морозильній камері,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\nu$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря;  $\vec{g}$  - прискорення вільного падіння;  $\beta$  - коефіцієнт об'ємного розширення повітря;  $t$  - поточна температура;  $c_p$  - питома масова теплоємність повітря при постійному тиску;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності повітря;  $u_x, u_y, u_z$  - компоненти швидкості;  $x, y, z$  - координати.

Рівняння доповнюється граничними умовами. На межі повітря-стінка камери формулюється наступна умова:

$$\lambda_{\text{стінк}} \frac{\partial t}{\partial n} = \lambda_{\text{камер}} \frac{\partial t}{\partial n}; \quad t_{\text{стінк}} = t_{\text{камер}}; \quad (14)$$

де  $\lambda_{\text{пов}}$ ,  $\lambda_{\text{кам}}$  - коефіцієнти теплопровідності повітря і стінок камери.

На межі «камера - навколишнє середовище» температура дорівнює температурі навколишнього середовища.

З метою оцінювання коректності запропонованої математичної моделі та обчислювального алгоритму експериментальним результатам, було проведено низку тестових експериментів. У результаті зіставлення встановлено, що математична модель забезпечує адекватне перенесення більшості спостережуваних на фізичній моделі ефектів в частині процесів гідродинаміки та теплоперенесення. Розбіжність експериментальних і розрахункових показників температури на поверхні випарника морозильного відділення складала 7,0-10,0 % (рис. 1).

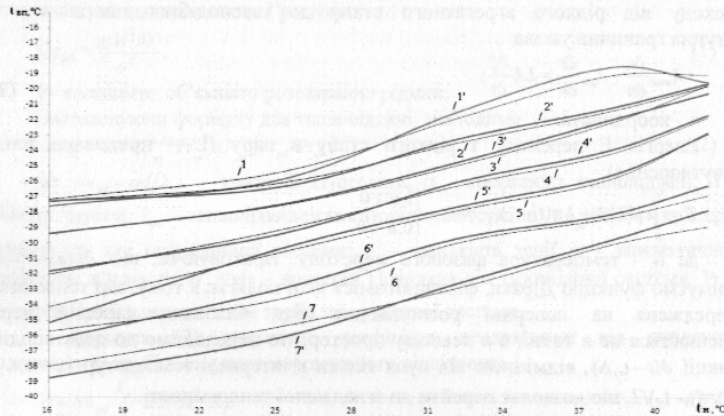


Рис. 1. Залежність зміни температури на поверхні випарника в місці встановлення термопар, розташованої на середній полиці при температурі навколишнього середовища, що змінюється від 16 °С до 43 °С, при середній уставці терморегулятора. Залежності 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – дані, отримані експериментальним шляхом, 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7' – дані, отримані методом розрахунку при різних дозах заправки. Графік 1, 1' (41г); 2, 2' (39,5 г); 3, 3' (38г); 4, 4' (36,5 г); 5, 5' (35г); 6, 6' (33,5 г); 7, 7' (32г).

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень теплоенергетичних параметрів роботи побутового холодильника залежно від дози заправки холодильним агентом, температури навколишнього середовища і уставки терморегулятора. У цьому розділі визначено методику, описаний експериментальний стенд. Схему експериментального стенда представлено на рис. 2.

У першій частині досліджень експериментально визначено вплив на теплоенергетичні характеристики побутового холодильника температури навколишнього середовища і уставки терморегулятора.

Дослідження проводилися при фіксованих значеннях температури зовнішнього повітря: 16, 25, 32, 38, 43 °С при уставках терморегулятора, відповідних мінімальному, середньому і максимальному охолодженню (рис 3). Холодильне та морозильне відділення стенду були заповнені пакетами-імітаторами харчових продуктів відповідно до ДСТУ 2295-93 та ДСТУ EN ISO 15502:2009.

Погіршення теплоенергетичних характеристик працюючого стендового холодильника у зв'язку із збільшенням температури навколишнього середовища обумовлено збільшенням тепловитоків у його холодильну шафу, внаслідок чого збільшується температура конденсації холодоагенту, що спричиняє збільшення температури його кипіння у випарнику. Далі були визначені ці параметри зі зменшеною дозою заправки холодильника.

У другій частині досліджень експериментально визначено вплив на теплоенергетичні характеристики побутового холодильника температури навколишнього середовища і уставки терморегулятора залежно від дози заправки холодильним агентом.

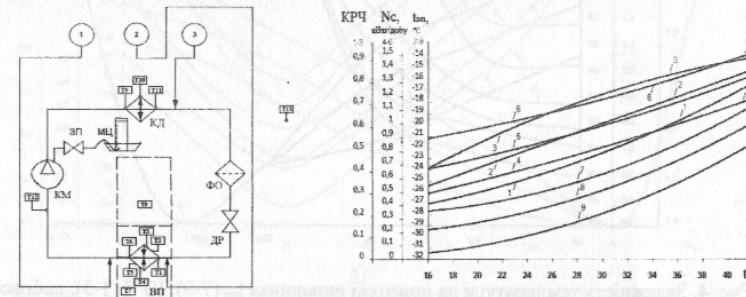


Рис. 2. - Схему експериментального стенда: КМ - компресор, КД - добової витрати електроенергії  $N_c$  (4,5,6), конденсатор, ФО - фільтр-осушувач, ДР - дросель, ВП - випарник, 1, 2 - мановakuумметри, 3 - манометр, Т<sub>1</sub> - середовища при уставках терморегулятора на охолодження, різних ділянках компресорної відповідно мінімальне, середнє, системи, ЗП - запірний патрубок, МЦ - мірний циліндр

Аналіз отриманих даних показує, що температура на поверхні випарника ( $t_{\text{вп}}$ ) залежить від дози заправки компресорної системи і положення терморегулятора (рис. 4). При зменшенні дози заправки від 38 г до 35 г температура на поверхні випарника знижується при уставках терморегулятора: мінімальної від -26,1 до -29,4 °С, середньої від -27,5 до -30,6 °С, максимальної від

-29,5 до -32,5 °С. При цьому зниження температури (°С) становить відповідно: -3,3; -3,1; -3,0.

Як бачимо, на 1 г витоку ізобутану доводиться зниження температури на поверхні випарника на 1 °С, практично незалежно від уставки терморегулятора.

Експериментальні дослідження почали з дози заправлення ізобутану в компресорній системі холодильника 41 г з подальшим зниженням її на 1,5 г.

Після кожного випуску ізобутану з компресорної системи в період квазістаціонарного режиму роботи холодильника при масі холодоагенту, що залишилась, визначали на різних її ділянках його температуру і тиск, встановлювали добову витрату електроенергії, розраховували КРЧ.

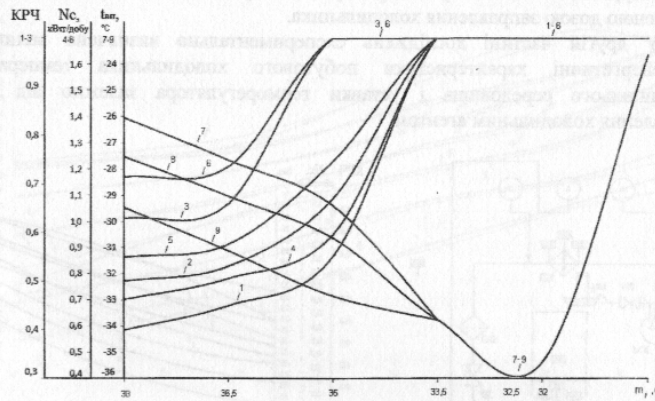
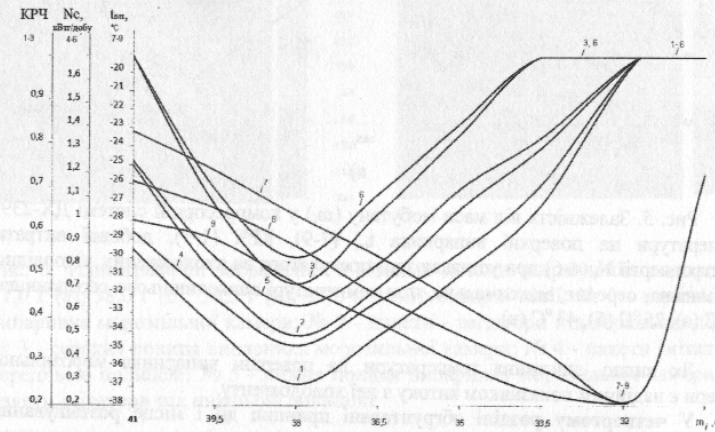


Рис. 4. Залежність температури на поверхні випарника  $t_{вп}$  (7-9), КРЧ (1-3), добової витрати електроенергії  $N_c$  (4-6) від маси ізобутану ( $m$ ) в компресорній системі ПХП НОРД - 239 при уставках терморегулятора, відповідно, мінімальної, середньої, максимальної (температура навколишнього середовища 25 °С)

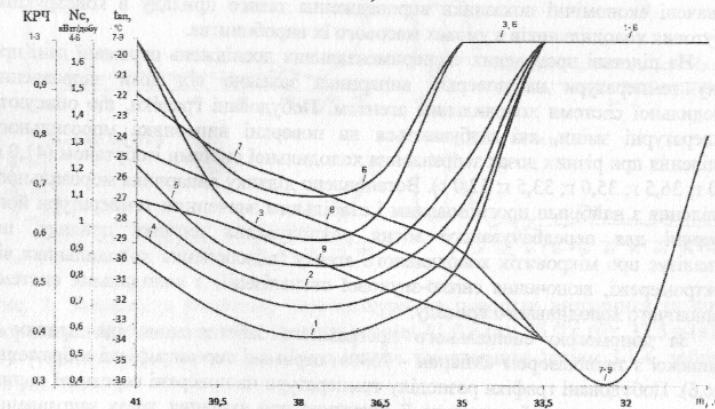
На рис. 5 наведено побудовані методом згладжування графіки залежності КРЧ,  $N_c$ ,  $t_{вп}$  від дози заправлення ізобутану в компресорній системі при різних уставках терморегулятора і значеннях температури навколишнього середовища: 16 °С (а), 25 °С (б), 43 °С (в).

Як видно на рис. 5, при всіх заявлених значеннях температури навколишнього середовища мінімальні величини КРЧ,  $N_c$  (чітко виражений їх мінімум на графіках у вигляді западин) відповідають встановленою підприємством - виробником побутового холодильника ДХ-239 оптимальній дозі заправлення його компресорної системи 38 г. При великих і менших дозах заправлення ізобутану (щодо оптимальної дози) кількісні значення КРЧ та  $N_c$  симетрично зростають. При температурі навколишнього середовища 43 °С компресор працює циклічно при дозі заправлення холодоагенту в межах 36,5 -

39,5г. Температура на поверхні випарника (відображає температуру кипіння холодоагенту) при всіх уставках терморегулятора і значеннях температури навколишнього середовища спадає (тенденція чітко виражена), у зв'язку із зменшенням дози заправлення ізобутану в компресорній системі. За даними рис. 5, при дозі заправлення ізобутану в компресорній системі близько 32 г, температура на поверхні випарника, досягнувши величин близько -38, -36, -30 °С при температурі навколишнього середовища відповідно, 16, 25, 43 °С, починає збільшуватися (єдиною лінією незалежно від уставки терморегулятора) у зв'язку зі зменшенням дози заправлення ізобутану в компресорній системі.



а)



б)

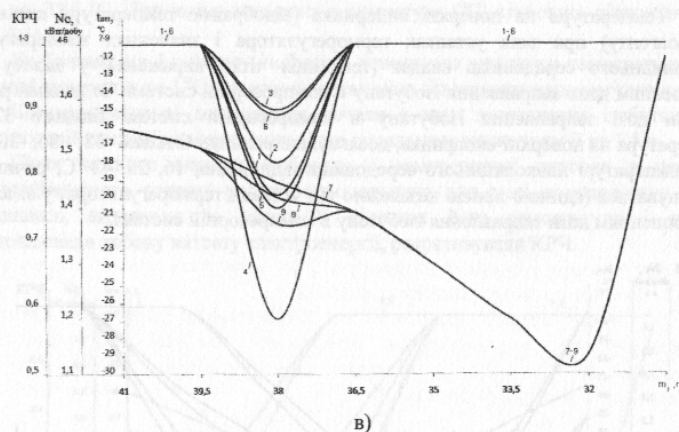


Рис. 5. Залежність від маси ізобутану ( $m_i$ ) у компресорній системі ДХ-239, температури на поверхні випарника  $t_{\text{вп}}$  (7-9), КРЧ (1-3), добової витрати електроенергії  $N_c$  (4-6) при уставках терморегулятора на охолодження, відповідно мінімальне, середнє, максимальне, при температурі навколишнього середовища: 16 °С (а), 25 °С (б), 43 °С (в)

Як видно, зниження температури на поверхні випарника морозильної камери є надійним показником витоку з неї холодоагенту.

У **четвертому розділі** обґрунтовані принципи дії і місце розташування датчика приладу, що діагностує і сигналізує про мікровитік холодильного агенту, визначені економічні показники впровадження такого приладу в конструкцію побутових холодильників в умовах масового їх виробництва.

На підставі проведених експериментальних досліджень отримані дані про зміну температури на поверхні випарника залежно від дози заправлення холодильної системи холодилим агентом. Побудовані графіки, що описують температурні зміни, які відбуваються на поверхні випарника морозильного відділення при різних дозах заправлення холодильної системи ізобутаном (41,0 г; 38,0 г; 36,5 г; 35,0 г; 33,5 г; 32,0 г). Встановлено ділянку випарника морозильного відділення з найбільш прогнозованим і стабільним значенням температури його поверхні для передбачуваного місця розташування датчика приладу, що сигналізує про мікровитік холодильного агенту (відключення холодильника від електромережі, включення світло-звукової сигналізації) з холодильної системи працюючого холодильного приладу.

За допомогою спеціального програмного забезпечення, що працює в комплексі з тепловізором «Мікрон - 7600», отримані термографічні зображення (рис.6). Побудовані графіки розподілу температури на поверхні середньої полиці випарника морозильної камери за її шириною при вказаних дозах заправлення (рис.7). Визначено максимальні і мінімальні значення температури.

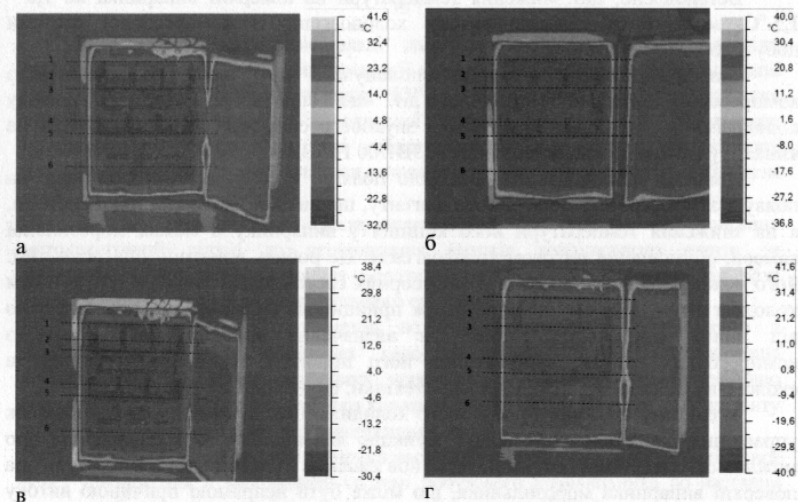


Рис. 6. Термографічні зображення з різними дозами заправлення холодоагенту, 41,0 г (а); 38,0 г (б); 33,5 г (в); 32,0 г (г). Пунктирні лінії: № 1 - верхня полиця випарника морозильної камери; № 2 - пакети імітатори під верхньою полицею; № 3 - середня полиця випарника морозильної камери; № 4 - пакети імітатори під середньою полицею; № 5 - нижня полиця випарника морозильної камери; № 6 - пакети імітатори під нижньою полицею

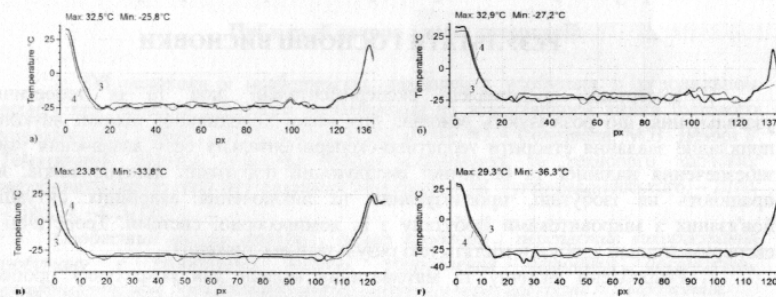


Рис. 7. Залежність розподілу температури на поверхні випарника за шириною морозильної камери при дозах заправлення 41,0 г (а); 38,0 г (б); 33,5 г (в); 32,0 г (г). (температурні параметри відповідають пунктирним лініям 3 і 4, зображеним на рис. 6.)

Встановлено, що зниження температури на поверхні випарника на 1,0 - 1,5 °С, може бути ознакою витoku холодоагенту з компресорної системи побутового холодильника.

Запропоновано конструкцію сповіщувача про витік холодоагенту з компресорної системи механічної дії, що спрацьовує внаслідок витoku холодоагенту з подачею світлового і звукового сигналів. Отримано патент на винахід у співавторстві 91608 U UA F25B1/00 F25B9/00.

Новизна пропонованого пристрою полягає в тому, що він реагує не на появу в атмосферному повітрі холодоагенту, що витікає з компресорної системи, а на зниження температури його кипіння у випарнику в межах морозильної камери, обумовленої витоком холодоагенту. Це робить пристрій універсальним: його можна використовувати в компресорних системах, які заправлені будь-яким холодоагентом. У цьому полягає також принципова відмінність цього пристрою від інших відомих пристроїв для визначення витоків холодоагентів з компресорних систем. Застосування його підвищує надійність, технічну та екологічну безпеку малої холодильної техніки, що працює на ізобутані.

У систему сучасного побутового холодильника, що має електронний блок управління, запропоновано додати функцію яка відповідає за сповіщення про можливість аварійної ситуації, яка пов'язана із зниженням температури на поверхні випарника морозильника, що може бути непрямою причиною витoku холодоагенту з холодильної системи і про можливий вихід з роботи компресора. Попередження здійснюється у вигляді подачі світлового та звукового сигналів з подальшим відключенням холодильного приладу від електромережі.

Уведення в конструкцію побутового холодильника приладу з функцією сигналізації про зниження температури на поверхні випарника, пов'язаної з мікровитоком з холодильної системи холодоагенту, є економічно обґрунтованим, оскільки дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 655,415 тис.грн/рік за умови виходу з ладу 1059 шт./рік компресорів.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

У дисертації представлені експериментальні дані та їх теоретичне узагальнення, що розв'язують важливе для малої холодильної техніки науково-прикладне завдання створити теоретико-експериментальну базу визначення умов забезпечення надійної та безпечної експлуатації побутових холодильників, які працюють на ізобутані, прогнозування та виключення аварійних ситуацій, пов'язаних з мікровитоками ізобутану з їх компресорної системи. Теоретичні й експериментальні здобутки містять такі результати дослідження:

1. Розроблено фізичну та математичну моделі для розрахунку процесу теплопередачі від киплячого холодоагенту до внутрішнього об'єму морозильної камери побутового холодильника з визначенням температури поверхні випарників під час роботи за наявності мікровитоків холодоагенту та при змінних від 16 °С до 43 °С температурі навколишнього середовища та уставки терморегулятора.

2. Отримано експериментальні дані параметрів і теплоенергетичних характеристик (споживання електроенергії компресором, температури на поверхні випарника морозильного відділення, КРЧ) роботи побутового холодильника залежно від дози заправки холодоагентом і температури навколишнього середовища, які підтверджують адекватність розробленої математичної моделі в діапазоні дози заправки холодоагентом і температури від 32,0 г до 41,0 г.

3. За результатами експериментальних досліджень запропоновано методологічний підхід до встановлення витоків холодоагенту за температурою поверхні випарника морозильного відділення залежно від дози заправки і температури навколишнього середовища.

4. Вперше розроблено метод встановлення витоків холодоагенту з компресорної системи побутових холодильників за зниженням значення температури на поверхні випарника морозильного відділення до її гранично мінімального значення з визначенням кількості видаленого із системи холодоагенту та врахуванням зміни теплового навантаження на компресор.

5. Встановлено критичне значення маси ізобутану (4,5 г), що може виділитися через ушкодження в холодильній системі побутового холодильника до настання режиму роботи компресора з коефіцієнтом робочого часу КРЧ=1.

6. Обґрунтовано принцип дії та місце розташування чутливого елемента пристрою. Це дало можливість визначити та сигналізувати про наявність мікровитоків холодоагенту.

7. Розроблено та впроваджено в ПАТ «Норд» пристрій сповіщення про витік робочого тіла з компресорної системи за зниженням температури на поверхні випарника морозильної камери внаслідок зменшення дози заправки холодоагентом системи, який забезпечує підвищення надійності та безпеки побутових приладів.

## Публікації автора з теми дисертації:

1. Об условиях и особенностях накопления изобутана в холодильном шкафу при наличии сквозного повреждения во всасывающей линии бытового холодильника [Текст] / В.В.Осокин, К.А.Ржесик, Ю.А.Селезнёва, М.В. Дёмин // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2010. – Вип.24. – С.3-12.

*Особистий внесок автора : аналіз проблеми і перспектив використання ізобутану в холодильній техніці, розроблення методики досліджень, експериментальне дослідження витoku ізобутану через наскрізне пошкодження.*

2. О способе установления наличия утечки хладагента из компрессорной системы работающего бытового холодильника [Текст] / В.В.Осокин, К.А.Ржесик, Ю.А.Селезнёва, М.В. Дёмин // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2010. – Вип. 24. – С. 84-88.

*Особистий внесок автора : розроблення методики досліджень, обґрунтування та проведення експериментальних досліджень, за визначенням*

*теплоэнергетичних характеристик холодильної машини, оброблення отриманих результатів, висновки.*

3. Осокин В.В. О влиянии температуры окружающей среды на теплоэнергетические характеристики бытового холодильника [Текст] / В.В. Осокин, А.Б. Кудрин, М.В. Дёмин // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2011, №1(129). – С. 17-22.

*Особистий внесок автора : спроектовано і виготовлено експериментальний стенд побутового холодильника, експериментально визначено вплив температури навколишнього середовища на теплоенергетичні характеристики.*

4. Осокин В.В. О влиянии дозы заправки компрессорной системы бытового холодильника хладогентом (изобутаном) на происходящие в нем термодинамические и теплофизические процессы [Текст] / В.В. Осокин, А.Б. Кудрин, М.В. Дёмин // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2011, №3 (131). – С.24-30.

*Особистий внесок автора : обґрунтування та проведення експериментальних досліджень, аналіз термодинамічної ефективності циклів холодильної машини, оброблення отриманих результатів, висновки.*

5. Актуальність вирішення проблеми забезпечення пожежонебезпеки у процесі використання у побутових холодильниках ізобутану як холодоагенту [Текст] / В.В. Осокин, К.А. Ржесік, М.В. Дьомін та ін. // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2011. – Вип.26. – С. 527- 534.

*Особистий внесок автора : формулювання завдань, проведення експериментальних досліджень, розроблення заходів пожежонебезпеки у процесі використання у побутових холодильниках ізобутану.*

6. Осокин В.В. О зависимости теплоэнергетических характеристик бытового холодильника от дозы заправки его компрессорной системы хладогентом (изобутаном) и температуры окружающей среды [Текст] / В.В. Осокин, М.В. Дёмин // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Публікується за матеріалами міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», присвяченої 90-річчю з дня народження професора В.Ф.Чайковського.– Одеса, 2011.– Вип. 39. – Том. 1. – С.35-41.

*Особистий внесок автора : участь в експериментальних дослідженнях, аналіз термодинамічної ефективності циклів холодильної машини, виконання розрахунків.*

7. О термодинамической и теплофизической основе негазоанализаторного способа установления утечек хладагента из компрессорной системы работающего бытового холодильника – на примере ДХ-239, заправленного изобутаном [Текст] / В.В. Осокин, А.Б. Кудрин, М.В. Дёмин // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2011, №4 (132). – С.9-16.

*Особистий внесок автора : формулювання завдань, аналітичні і експериментальні дослідження, оброблення результатів експериментальних досліджень, висновки.*

8. Осокин В.В. Математическая модель распределения температуры на поверхности испарителя, в объёме морозильной камеры в зависимости от температуры окружающей среды и дозы заправки изобутаном бытового холодильника «Норд – 239» [Текст] / М.В. Дёмин, В.В. Белоусов, В.В. Осокин // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2012, №1 (135). – С.15-18.

*Особистий внесок автора : розроблено математичну модель розподілу температури на поверхні випарника, залежно від температури навколишнього середовища і дози заправки холодильної системи.*

9. Исследования температурного поля на поверхности испарителя работающего бытового холодильника ДХ-239 от дозы заправки и температуры окружающей среды [Текст] / А.Н. Горин, М.В. Дёмин, А.Б. Кудрин, В.В. Осокин // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2012, №2 (136). – С. 13-16.

*Особистий внесок автора : на підставі математичної моделі і експериментальних даних визначено місце розміщення датчика приладу, який реагує на зниження температури.*

10. Горин А.Н. Про діагностування витоків холодильного агента із холодильної системи побутового холодильника негазоаналізаторним методом [Текст] / О.М. Горін, М.В. Дьомін, О.Б. Кудрін // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – Вип.29. Том 1 – С. 28-34.

*Особистий внесок автора : проведення та оброблення результатів експериментальних досліджень, висновки.*

11. Горин А.Н. Об оценке теплоэнергетических характеристик морозильной камеры бытового холодильника Норд – 239 [Текст] / Горин А.Н., Дёмин М.В., Кудрин А.Б., Красновский И.Н. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції присвячена 90-річчю Одеської державної академії холоду «Сталий розвиток і штунний холод» (Одеса, 8-10 жовтня 2012). – Одеса, 2011. – С. 68-72.

*Особистий внесок автора : проведення та оброблення результатів експериментальних досліджень, висновки.*

12. Using non gas analyzer method about diagnosing of leakage of the refrigerating agent from refrigerating system of the household refrigerator «NORD» - DN -239 [Текст] / Gorin A., Demin M // Conference Internationale «Modern technologies in the food industry-2012» 1-3 November, 2012 Chişinău (Republic of Moldova) – С. 88-92.

*Особистий внесок автора : проведення експериментальних досліджень, оброблення результатів експериментальних досліджень, висновки.*

13. Исследования температурного поля поверхности испарителя холодильной и морозильной камер бытового холодильника НОРД ДХ – 239 [Текст] / Горин А.Н., Дёмин М.В., Красновский И.Н., Кудрин А.Б. // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2013, №3 (143). – С. 4-9.

*Особистий внесок автора : спроектовано і виготовлено експериментальний стенд побутового холодильника, проведення експериментальних досліджень, оброблення результатів експериментальних досліджень, висновки.*

## Тези наукових конференцій

Осокин В.В. О зависимости теплоэнергетических характеристик бытового холодильника от дозы заправки его компрессорной системы хладагентом (изобутаном) и температуры окружающей среды [Текст] / Осокин В.В., Демин М.В., Кудрин А.Б., Селезнева Ю.А., Ржесик К.А. // Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології»: Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2011. – С.20-22.

Осокин В.В. О зависимости теплоэнергетических характеристик бытовых холодильников от температуры окружающей среды [Текст] / Осокин В.В., Кудрин А.Б., Демин М.В. // VII Міжнародна конференція «Стратегія якості у промисловості і освіті» (3-10 червня 2011г., Варна, Болгарія): Матеріали. У 3-х томах. Том III. Упорядники: Хохлова Т.С., Хохлов В.О., Стулак Ю.О. – Дніпропетровськ – Варна, 2011. – С. 204-207

Осокин В.В. О зависимости теплоэнергетических характеристик бытового холодильника от дозы заправки его компрессорной системы хладагентом (изобутаном) Сучасні проблеми холодильної техніки і технології [Текст] / Осокин В.В. Демин М.В., Кудрин А.Б. та ін. //Збірник тез докладів Міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 14-16 вересня 2011року – Одеса: ОДАХ, 2011. – С.154-156.

Осокин В.В. О зависимости теплоэнергетических характеристик бытового холодильника от температуры окружающей среды Сучасні проблеми холодильної техніки і технології [Текст] / Осокин В.В., Демин М.В., Кудрин А.Б. та ін. // Збірник тез докладів Міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 14-16 вересня 2011р. – Одеса: ОДАХ, 2011. – С.157-158.

В.В. Осокин О степени взрывопожароопасности при использовании в бытовых холодильниках изобутана в качестве хладагента [Текст] / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, М.В. Демин та ін. //Актуальні проблеми енергетики і екології /Збірник наукових праць Одеса, 21 – 23 вересня 2011 року - Одеса: ОДАХ, 2011. – С.33-35

Осокин В.В. О термодинамической и теплофизической основе негазоанализаторного способа установления утечек хладагента из компрессорной системы работающего бытового холодильника – на примере ДХ-239, заправленного изобутаном [Текст] / Осокин В.В., Демин М.В., Кудрин А.Б. //Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 20-річчю незалежності України «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». 5-7 жовтня 2011р. Миколаїв: Національний ун-т кораблебудування імені адмірала Макарова. – С.274-278

Демин М.В. Исследования влияния дозы заправки изобутаном компрессорной системы бытового холодильника при изменении температуры окружающей среды [Текст] / М.В. Демин // Сборник тезисов докладов второй международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур» - М.: МГУИЭ, 2011 – С. 90-92

Демин М. В. Об установлении утечки изобутана из холодильной системы работающего бытового холодильника [Текст] / Демин М. В., Шипко А.К. // збірник тез щорічної науково-практичної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології, 24-25 квітня 2012 року– Одеса: ОДАХ, 2012. – С.26-28.

Горин А.Н. О способе установления микроутечек хладагента из компрессорной системы работающего на изобутане бытового холодильника [Текст] / Горин А.Н., Кудрин А.Б., Демин М.В., Шипко А.К. // VIII Міжнародна конференція «Стратегія якості у промисловості і освіті» (3-10 червня 2011г., Варна, Болгарія): Матеріали. У 3-х томах. Том II. Упорядники: Хохлова Т.С., Хохлов В.О., Стулак Ю.О. – Дніпропетровськ – Варна, 2012. – С. С.51-54

**Патент**

Пат. 91608 U A F25B1/00 F25B9/00. Сповіщувач про витік холодоагенту з компресорної системи працюючого побутового холодильника – за темою дисертації (у співавторстві). [Текст] / В.В. Осокин, К.А. Ржесік, Ю.А. Селезнєва, М.В. Дьомін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – № а2008 12832; заявлено 03.11.2008 ; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

**АННОТАЦИЯ**

**Демин М.В. Обеспечение надежности и безопасности малой холодильной техники при микроутечках холодильного агента. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. Одесская национальная академия пищевых технологий. – Одесса, 2013.

Работа посвящена разработке научно-практических основ прогнозирования и исключения аварийных ситуаций, связанных с микроутечками изобутана из компрессорной системы малой холодильной техники.

На основе анализа литературных источников разработан и создан экспериментальный стенд для исследования влияния микроутечек на теплоэнергетические показатели работы бытового холодильника.

Разработана математическая модель процессов теплопередачи от кипящего холодильного агента к внутреннему объему морозильной камеры бытового холодильника во время его работы при наличии микроутечек и переменных температуры окружающей среды и уставки терморегулятора.

С целью оценки корректности предложенной математической модели и вычислительного алгоритма, экспериментально были получены зависимости параметров теплоэнергетических характеристик работы бытового холодильника от дозы заправки холодильной системы изобутаном и температуры окружающей среды. В результате сопоставления установлено, что математическая модель обеспечивает адекватное перенесение большинства наблюдаемых на физической модели эффектов в части гидродинамики и теплопереноса в диапазоне дозы заправки холодильной системы изобутаном от 32,0г до 41,0г.

Разработана методика выявления утечек хладагента из компрессорной системы бытовых холодильников по значению температуры на поверхности испарителя морозильного отделения с учетом количества удаленного из системы хладагента и изменения тепловой нагрузки на компрессор, вызванной переменным значением теплопритоков. Установлено критическое значение массы изобутана, которая может выделиться через повреждение с линий нагнетания и всасывания бытового холодильника до наступления режима неотключения компрессора (КРВ=1).

На основе теоретических и экспериментальных исследований обоснованы принцип действия и место расположения датчика прибора, диагностирующего и сигнализирующего об микроутечках холодильного агента, определены экономические показатели изменения в связи с изменением конструкции бытового холодильника в условиях массового их производства.

**Ключевые слова:** бытовой холодильник, компрессорная система, изобутан, доза заправки, утечка хладагента, температура на поверхности испарителя, температура окружающей среды, устройство реагирования на утечку хладагента.

#### АНОТАЦІЯ

**Дьомін М.В. Забезпечення надійності та безпеки малої холодильної техніки при мікровитоках холодильного агенту.** – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 - холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування. Одеська національна академія харчових технологій. - Одеса, 2013.

Робота присвячена розробленню науково-практичних основ прогнозування і виключення аварійних ситуацій, пов'язаних з мікровитоками ізобутану з компресорної системи малої холодильної техніки.

Розроблено і створено експериментальний стенд для дослідження впливу мікровитоку на теплоенергетичні показники роботи побутового холодильника. Запропоновано математичну модель процесів теплопередачі від киплячого холодильного агента до внутрішнього об'єму морозильної камери побутового холодильника під час його роботи за наявності мікровитоку і змінних температури навколишнього середовища і уставки терморегулятора. Встановлено критичне значення маси ізобутану, яка може виділитися через пошкодження з ліній нагнітання і всмоктування побутового холодильника до настання режиму невідключення компресора (КРЧ (коефіцієнт робочого часу) = 1). Розроблено методику виявлення витоків холодоагенту, обґрунтовано принцип дії та місце розташування датчика приладу, діагностуючого і сигналізує про мікровиток холодильного агенту, визначено економічні показники зміни у зв'язку з зміною конструкції побутового холодильника в умовах масового їх виробництва.

**Ключові слова:** побутовий холодильник, компресорна система, ізобутан, доза заправки, витік холодоагенту, температура на поверхні випарника, температура навколишнього середовища, пристрій реагування на витік холодоагенту.

#### ANNOTATION

**Domin. M.V. Safety and security of small refrigeration leakage of explosive isobutane.** - Manuscript.

This is for a candidate of science (engineering) degree by specialty 05.05.14 – refrigerating, vacuum and compressor appliances, conditioning systems. – Odessa National Academy of Food Technologies. Odessa. 2013.

The work is devoted to elaboration of scientific-practical base of prediction and exclusion of emergency situations connected with isobutane leak from the compressor system of small refrigeration equipment.

The experimental stand for investigation of influence of leakage on heat and power indices of work of household refrigerator is elaborated. The mathematical model of heat conduction processes from boiling cooling agent to inner size of deep-freezer of household refrigerator during its work in the presence of leakage and variables of environment temperature and thermoregulator installation is offered. The critical value of isobutane mass is determined, which may emanate through the damage from the line of discharge and suction of household refrigerator till the time of mode of cutting off the compressor (DCF (duty cycle factor) = 1). The methodology of detection of cooling agent leakage is elaborated, the principle of functioning and placing the sensor of equipment diagnosing and signaling about cooling agent leakage is based, the economic indices of change connected with the change of construction of household refrigerators in the conditions of their mass production is determined.

**Key words:** domestic refrigerator, compressor system, isobutane, dose of filling, leak of cooling agent, temperature on the surface of the freezer, temperature of the environment, a mechanism of reacting on the leak of the cooling agent.

Підписано до друку 15.10.2013. Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Друк – ризографія.  
Ум. друк. арк. 0,9. Тираж 110 прим. Зам. № 426.

Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
83050, м. Донецьк-50, вул. Щорса, 31

Редакційно-видавничий відділ  
83023, м. Донецьк, вул. Харитонова, 10

Свідчення про внесення до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 3470 від 28.04.2009 р.