

Автореферат Н
РЗО

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

РЖЕСІК КОСТЯНТИН АДОЛЬФОВИЧ

УДК 621.57.028.041:64.066.8



**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕКИ ПОБУТОВИХ
ХОЛОДИЛЬНИКІВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ІЗОБУТАНІ**

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

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2008

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Донецькому національному університеті економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ОСОКІН Володимир Васильович,
Донецький національний університет
економіки і торгівлі імені Михайла Туган-
Барановського, завідувач кафедри
холодильної і торгової техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ХМЕЛЬНЮК Михайло Георгійович,
Одеська державна академія холоду, професор,
завідувач кафедри холодильних установок;

доктор технічних наук, професор
КРАВЦОВ Владилен Васильович,
Донецький національний технічний
університет, завідувач кафедри технічної
теплофізики.

Захист дисертації відбудеться «___» _____ 2008 року о _____ год.,
у аудиторії _____ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.087.01 в Одеській
державній академії холоду Міністерства освіти і науки України за адресою: вул.
Творянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

Дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДАХ

Ферат розісланий _____ 2008 р.

спеціалізованої ради

В.І.Мілованов

(12)

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У цей час в малій холодильній техніці найкращими в частині ефективності як холодоагентів і екологічної безпеки є вуглеводні, до числа яких відноситься добре зарекомендувавший себе ізобутан. Стримуючий фактор широкого використання цих речовин у холодильних приладах і пристроях - їх вибухопожежонебезпечність. Нерозв'язаність проблеми забезпечення технічної безпеки працюючих на ізобутані побутових холодильників, морозильників, кондиціонерів та інших пристроїв для виробництва штучного холоду обумовлена насамперед відсутністю достовірних даних про види реальних наскрізних мікроушкоджень компресорних систем, про характер, тривалість і масу витоків з них холодоагенту, про особливості їхнього функціонування при цьому, а також формування, займання від джерела запалювання і горіння ізобутаноповітряної суміші, про ступінь створеної у зв'язку із цим вибухопожежонебезпеки. Розкриття закономірностей і особливостей протікання зазначених процесів може бути базисом для розробки науково-технічної основи прогнозування і виключення аварійних ситуацій, пов'язаних з витокami ізобутану з компресорних систем, удосконалення конструкції малої холодильної техніки і відповідних стандартів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Постанови Верховної Ради України «Про основні напрямки державної політики України в області охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки», Галузевої науково-технічної програми сталого розвитку побутової техніки України на 2006-2011 роки (наказ Мінпромполітики України від 03.03.2006р. №85), конкретного завдання з науково-технічної програми «Донбас-2020», а також у рамках госпдоговірних науково-дослідних робіт із ЗАТ «Сервісний центр «Норд»: Забезпечення безпеки конструкції і масового виробництва побутових холодильних приладів, що працюють на ізобутані» - державна реєстрація №105U002723, «Дослідження процесів формування ізобутаноповітряної суміші при витках ізобутану в побутових холодильниках» - державна реєстрація №0106U008244. У виконанні госпдоговірних НДР здобувач брав участь як відповідальний виконавець.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розробка комплексної науково-технічної основи прогнозування і виключення аварійних ситуацій, пов'язаних з витокami ізобутану з компресорної системи побутових холодильників.

Для її реалізації вирішувалися наступні наукові завдання:

- встановлення особливостей реальних мікроушкоджень магістралей компресорної системи побутових холодильників, характеру, інтенсивності, тривалості і можливої маси витоків через них ізобутану на різних її ділянках з урахуванням його фазового стану;

- з'ясування особливостей термодинамічних і теплофізичних процесів у побутових холодильниках при їх нормальній і аварійній, обумовленій витокami ізобутану з компресорної системи, роботі;

XV 1313

ІНСТИТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Одеська державна академія холоду
БІБЛІОТЕКА

- визначення надійних показників початку аварійної роботи побутового холодильника, що має наскрізні uszkodження в лініях нагнітання та всмоктування холодильної машини;

- розкриття закономірностей процесів формування, займання від джерела запалювання і горіння ізобутаноповітряної суміші в ємностях – аналогах різнотемпературних відділень побутового холодильника, що замкнені та відкриваються, у їхньому компресорно-конденсаторному відділенні при витіках ізобутану з компресорної системи, ступеня впливу на них зовнішніх факторів;

- оцінка ймовірності небезпечного накопичення ізобутану в холодильній шафі і в компресорно-конденсаторному відділенні як працюючого, так і відключеного від електричної мережі холодильника при мікровитоках його з ліній всмоктування та нагнітання холодильної машини;

- візуалізація і термографування процесів займання від джерела запалювання і горіння ізобутаноповітряної суміші в найбільш імовірних місцях витіку ізобутану з компресорної системи побутового холодильника;

- з'ясування ступеня пожежонебезпеки при горінні маси холодоагенту, що реально виділилась з компресорної системи, біля фронтальної поверхні холодильника та в його компресорно-конденсаторному відділенні;

- формулювання з урахуванням результатів виконаних досліджень концептуальної основи підвищення надійності та безпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані;

- розробка інженерних рішень щодо підвищення рівня технічної безпеки при використанні ізобутану як холодоагенту у побутових холодильниках.

Об'єкт дослідження: термодинамічні і теплофізичні процеси в побутовому холодильнику при витіках у ньому ізобутану.

Предмет дослідження: аварійно працюючий через витік ізобутану побутовий холодильник.

Методи дослідження: фізичне моделювання термодинамічних і теплофізичних процесів у побутовому холодильнику при витіках у ньому ізобутану, електронна мікроскопія мікроушкоджень магістралей холодильної машини, відеозйомка і термографування займання і горіння ізобутаноповітряної суміші в місцях витіків холодоагенту, розрахунки складу і термодинамічних властивостей робочого тіла при витіках холодоагенту з лінії всмоктування і надходження в неї атмосферного повітря.

Наукова новизна отриманих результатів:

- визначені види можливих мікроушкоджень у компресорній системі побутових холодильників, причини зміни їхньої пропускну здатності і розкриті особливості витікання через них ізобутану з урахуванням його фазового стану і взаємодії з компресорним мастилом, ступінь небезпеки розгерметизації ними холодильної машини;

- встановлено і пояснено розходження термодинамічних процесів у побутових холодильниках при витіках холодоагенту з ліній нагнітання і всмоктування, показана наявність при цьому однакових діагностичних ознак їхньої аварійної роботи, наявність небезпеки руйнування лінії нагнітання

надлишковим тиском при роботі в режимі невідключення холодильної машини, що має наскрізне uszkodження в лінії всмоктування;

- виявлено і теоретично обґрунтовано зміну складу і термодинамічного стану робочого тіла в заправленій ізобутаном компресорній системі працюючого побутового холодильника, що має наскрізне uszkodження у всмоктувальній лінії, часткового співвідношення ізобутану і повітря у виділеній з неї ізобутаноповітряної суміші після повної його зупинки;

- встановлені невідомі раніше кількісні дані про процеси руху ізобутану в повітрі біля місця безнапірного витіку, поширення фронту його горіння після запалення від теплового імпульсу, про вплив на них зовнішніх повітряних потоків, а також про динаміку зміни температурних полів у зоні горіння реальної маси ізобутану і поблизу її, що визначають ступінь пожежонебезпеки екзотермічних процесів;

- розкрита сутність і ступінь впливу компресорного мастила на займання і горіння ізобутану біля місця розгерметизації лінії нагнітання холодильної машини.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено стендовий метод дослідження роботи побутових холодильників, що мають наскрізні uszkodження в їхній холодильній машині, який прийнятий для використання у дослідницько-випробувальному центрі УкрНДІПобутМаш – Група «Норд».

- установлені гранична маса ізобутану, що може виділитися через наскрізні uszkodження з ліній нагнітання і всмоктування побутового холодильника до настання режиму роботи компресора із КРЧ=1, а також після повної зупинки його відключенням від електричної мережі, особливості формування, запалення від теплового імпульсу і горіння ізобутаноповітряної суміші біля місця розгерметизації компресорної системи з урахуванням факторів зовнішнього середовища, генезис джерел теплового імпульсу, ступінь пожежонебезпеки, яка створюється при згорянні ізобутану, що виділився, і впливу на екзотермічні процеси компресорного мастила, який виділяється з розгерметизованої системи, що створює основу для вдосконалювання настанов, в частині забезпечення технічної безпеки, щодо конструювання, масового виробництва та сервісного обслуговування побутової холодильної техніки – відповідно, для підприємств-виробників цієї техніки і сервісної служби;

- візуалізовано і термографовано процеси горіння реальної маси ізобутану, а також ізобутану і компресорного мастила біля ймовірних місць їхнього витіку в побутовому холодильнику, що дозволило визначити ступінь небезпеки, яка створюється при цьому для життєдіяльності людини;

- сформульована з урахуванням результатів виконаних досліджень концептуальна основа забезпечення надійності та безпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані, положення якої представлені у двох деклараційних патентах України на винаходи, прийняті для впровадження в Групі «Норд», що підтверджується відповідними актами, можуть бути враховані в загальноєвропейських стандартах на використання ізобутану в побутовій холодильній техніці.

Особистий внесок здобувача в отриманні в дисертаційній роботі результати: формулювання завдань і розробка методики досліджень, участь у їхньому проведенні, обробка, аналіз і узагальнення отриманих даних, розробка конструкторських рішень щодо підвищення надійності та рівня вибухопожежобезпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані.

Апробація результатів дисертації – результати її доповідалися і обговорювалися на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, ОДАХ, 21-23 верес. 2005р.), IV Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми харчування: технологія і устаткування, організація і економіка» (Донецьк – Святогірськ, ДонДУЕТ, 8-9 верес. 2005р.), Всеукраїнському науково-технічному семінарі «Удосконалювання конструкції і підвищення теплоенергетичної ефективності малих холодильних машин» (Донецьк, ДонДУЕТ, 7-8 верес. 2006р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Промисловий холод і аміак» (Одеса, ОДАХ, 28-30 верес. 2006р.), XI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Проблеми охорони праці і техногенно-екологічної безпеки» (Севастополь, СевНТУ, 5-9 жовт. 2006р.), V Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, ОДАХ, 19-21 верес. 2007р.), щорічних (2005-2008рр.) наукових конференціях викладачів і аспірантів ДонНУЕТ.

Публікації – основний зміст дисертації опублікований в 15-и статтях у наукових збірниках і журналах, які входять до Переліку спеціальних видань ВАК України; отримано 2 патенти України на винаходи; є додаткові публікації.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота містить передмову, вступ з загальною її характеристикою, включаючи обґрунтування актуальності розробленої теми, п'ять розділів, висновки, список використаної літератури та додатки. Вона представлена на 262 сторінках, включаючи 53 рисунка, 14 таблиць, список використаної літератури з 73 найменувань, додатки на 46 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, наведено основні відомості про неї.

Перший розділ роботи присвячений аналізу стану проблеми безпечного використання ізобутану в холодильній техніці.

Виконано аналіз регламентів і встановлених ними методів забезпечення вибухопожежобезпеки при використанні вуглеводнів у малій холодильній техніці. Показано наявність невирішених у цій області питань. Загальний підсумок аналізу стану розглянутої проблеми полягає в наступному: неоднозначність її сприйняття та рішення обумовлено в основному відсутністю достовірних даних про види реальних ушкоджень компресорних систем, про характер, тривалість і масу витоків з них холодоагенту, про особливості їхнього функціонування при цьому, а також формування, займання від джерела запалювання і горіння ізобутаноповітряної суміші, про ступінь створюваної у

зв'язку із цим вибухопожежобезпеки. На основі вищевикладеного були сформульовані мета та завдання досліджень за темою дисертаційної роботи.

Другий розділ дисертації присвячений дослідженням нормальної і обумовленої витокami ізобутану з компресорної системи аварійної роботи побутових холодильників.

Для проведення експериментальних досліджень створений випробувальний стенд на базі широко розповсюдженого в Україні побутового холодильника ДХ-245 із приладами для реєстрації тиску і температури в найбільш характерних пунктах його компресорної системи.

На рис. 1 наведено діаграми зміни тиску в компресорній системі побутового холодильника (доза заправлення ізобутану становила 58,5г) при роботі компресора та після зупинки його термостатом з одночасним повним відключенням від електромережі.

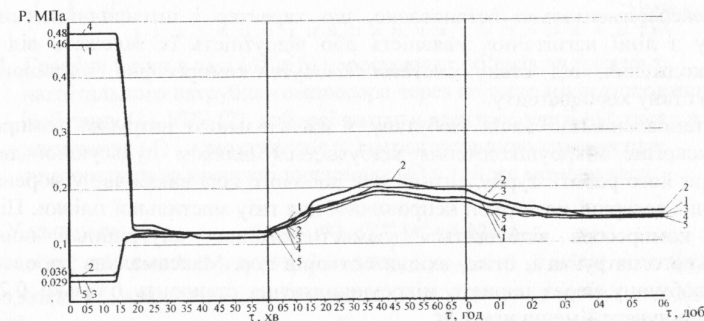


Рис. 1. Діаграми зміни тиску в компресорній системі побутового холодильника при роботі компресора та після зупинки його термостатом з одночасним повним відключенням від електромережі: 1,4 - у лінії нагнітання; 2,3,5 - у лінії всмоктування

На рисунку барограми 1, 4 - у лінії нагнітання, 2,3,5 - у лінії всмоктування. Головне на рисунку: при роботі компресора у всмоктувальній лінії компресорної системи побутового холодильника створюється розрідження, а після його зупинки - тиск у ній стає надлишковим. У зв'язку із цим є очевидним наступний прогноз: витoki ізобутану з всмоктувальної магістралі компресорної системи при наявності в ній наскрізного ушкодження можуть відбуватися тільки після зупинки компресора як температурним реле, так і відключенням від електромережі, при роботі компресора атмосферне повітря буде надходити у всмоктувальну лінію. В лінії нагнітання надлишковий тиск спостерігається як при роботі, так і при стоянці компресора.

На основі статистичного аналізу визначена ймовірність відмов у роботі побутових холодильників через витoki в них ізобутану.

Для встановлення особливостей витоків ізобутану з компресорної системи холодильників і їх роботи за цими умовами зроблено аналіз реальних мікроушкоджень її магістралей, який показав, що найбільш розповсюдженими є пористі і тріщинуваті мікроушкодження – отримані їхні фотографії з використанням електронного мікроскопа при збільшеннях до 500^x. Дослідження відповідно до поставлених завдань проведені з використанням фрагментів зазначених мікроушкоджень, які розміщалися в лініях нагнітання або всмоктування. Об'єми витоків ізобутану з лінії нагнітання через наскрізне ушкодження в ній визначали по зниженню рівня води в підключеному до нього через двопозиційний кран мірному циліндрі. Об'єми витоків ізобутану з всмоктувальної лінії під час стоянки компресора і надходячого в неї атмосферного повітря при роботі його визначали по довжині «пробігу» гліцеринових стовпчиків у полукapілярних прозорих трубках, приєднаних до мікроушкодження через двопозиційний кран.

При дозі заправлення компресорної системи холодильника ДХ-245 від 62 до 67г експериментально встановлено, що характер і інтенсивність витоків ізобутану з лінії нагнітання, наявність або відсутність їх залежать від виду мікроушкодження, від стану системи «ізобутан-компресорне мастило», від фазового стану холодоагенту.

Встановлено, що витік ізобутану з нагнітального патрубку компресора через наскрізне мікроушкодження відбувається шляхом пульсуючої дифузії тільки при його роботі: турбулентний рух робочого тіла виключає утворення на внутрішній поверхні магістралі непроникної для газу мастильної плівки. Під час стоянки компресора відбувається «замасилування» внутрішньої поверхні нагнітального патрубку і, отже, вхідних отворів пор. Максимальна добова маса витoku ізобутану через пористе мікроушкодження становить близько 0,25г, а через тріщинувате – менш ніж 1,5г.

Довгострокові дослідження витоків ізобутану через пористе мікроушкодження в нагнітальному патрубку компресора, які відбувалися протягом 118 діб, показали істотні коливання, незалежно від початкової дози заправлення, добових об'ємів його виділення і тиску в лінії нагнітання, відсутність кореляційного зв'язку між ними. Найбільш імовірна причина зазначених проявів – відкладення щільних компонентів компресорного мастила, що підтверджується фотографією такого компонента при збільшенні 500^x, на внутрішніх поверхнях магістралей компресорної системи в умовах дії сил адсорбції і поверхневого натягу та наступне їх «змивання» при роботі компресора. За даними досліджень, у цих умовах витoki ізобутану через пористе мікроушкодження можуть відбуватися протягом 1,5 років до початку режиму роботи компресора із КРЧ=1. Незалежно від початкової дози заправлення ізобутану в компресорній системі ДХ-245 (при дослідженнях вона змінювалася від 62 до 67г), його залишкова маса, при якій компресор починає безперервно працювати в режимі невідключення термостатом від електромережі, становить близько 57г.

Представлені на рис. 2 графіки відображають процеси в побутовому холодильнику при роботі його з витками ізобутану з нагнітального патрубку компресора (початкова доза заправлення його 62 грама).

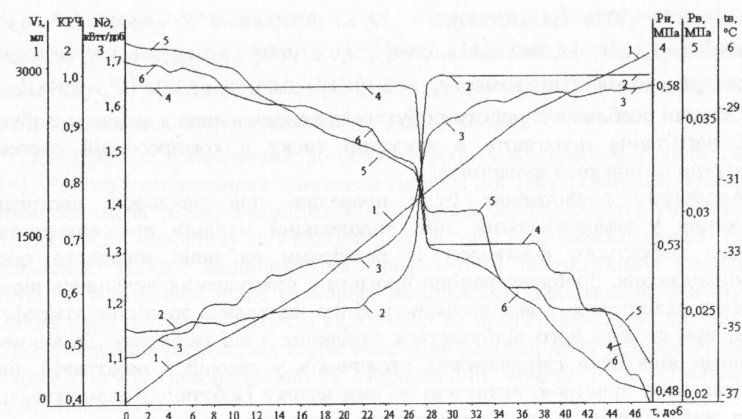


Рис. 2. Графіки зміни в часі (48 діб) наростаючих об'ємів виділення з нагнітального патрубку компресора через пористе мікроушкодження ізобутану (1), КРЧ (2), добової витрати електроенергії (3), тиску в лінії нагнітання (4) і всмоктування (5) перед зупинкою компресора, температури на поверхні випарника (6) у той же момент часу

У цьому випадку $V_i = 49,983 \cdot t^{1,0804}$ ($R^2 = 0,9972$),

$$KPC = 3 \cdot 10^{-8} \cdot V_i^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot V_i + 0,4851 (R^2 = 0,8683), N_o = -0,4 \cdot V_i^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot V_i + 1,0577 (R^2 = 0,811),$$

$$N_o = -3,5008 KPC^2 + 6,3933 KPC - 1,2601 (R^2 = 0,9727), t_s = -8 \cdot 10^{-7} \cdot V_i^2 - 7 \cdot 10^{-4} \cdot V_i - 27,073 (R^2 = 0,9816).$$

Холодильник почав працювати без відключення від електромережі після 27 діб досліджень, при залишковій масі ізобутану в системі близько 57г.

Аналогічні, але більш швидкоплинні процеси відбуваються при роботі холодильника з витками ізобутану з нагнітального патрубку компресора через тріщинувате мікроушкодження.

При переустановці пористого мікроушкодження на ділянку лінії нагнітання між конденсатором і фільтром-осушувачем витік ізобутану з неї не відбувається також і при роботі компресора: не проявляється дія капілярних сил для робочого тіла, що перебуває в рідкому стані, - взаєморозчинних ізобутану і компресорного мастила.

При переустановці тріщинуватого мікроушкодження на ділянку лінії нагнітання між конденсатором і фільтром-осушувачем відбувається його руйнування внаслідок циклічного впливу рідкого робочого тіла вже на початку першої години роботи компресора – утворюється макроушкодження, через яке виділяються в мірний циліндр газоподібний ізобутан і компресорне мастило. Втрата ізобутану з компресорної системи (початкова доза заправлення 67г) до критичної маси – близько 57г відбувається протягом однієї години роботи холодильника, наслідок чого – КРЧ=1 і зниження температури на поверхні випарника майже на 5°C. Протягом 4-х годин аварійної роботи холодильника втрата маси ізобутану з компресорної системи становить близько 26г. При цьому

$V_i = -50t^2 + 2170t + 3770$ ($R^2 = 0,9996$), $P_n = 1 \cdot 10^{-9}V_i^2 - 3 \cdot 10^{-5}V_i + 0,5933$ ($R^2 = 0,9995$),
 $P_e = 7 \cdot 10^{-10}V_i^2 - 1 \cdot 10^{-5}V_i + 0,0842$ ($R^2 = 0,9995$), $t_e = 2 \cdot 10^{-7}V_i^2 - 0,0043V_i - 14,126$ ($R^2 = 0,9826$),
 температура в холодильній камері $t_{х.к.} = 2 \cdot 10^{-7}V_i^2 - 0,0015V_i + 5,321$ ($R^2 = 0,9981$).

Основні особливості роботи побутового холодильника з витокком ізобутану з лінії нагнітання полягають в зниженні тиску в компресорній системі і температури на поверхні випарника.

Аналогічні дослідження були проведені при наявності наскрізного ушкодження у всмоктувальній лінії холодильної машини при використанні реального дефектного фрагменту із розмірами на рівні нижнього порога макроушкодження. Зроблене раніше прогнозне припущення виявилось вірним: при роботі компресора у всмоктувальну лінію надходить зовнішнє атмосферне повітря, при стоянці його відбувається виділення з неї ізобутану. За відомими довжинами «пробігу» гліцеринових стовпчиків у газовій і повітряній лініях вимірювального пристрою визначені об'єми витокку ізобутану з всмоктувальної лінії та надходження в неї атмосферного повітря і, як результат, визначено величини їхньої маси. При дослідженнях встановлена можливість «промерзання» у випарнику морозильної камери наскрізного ушкодження (з розмірами прохідних каналів на рівні нижнього порога макроушкодження), припинення у зв'язку із цим витокків з нього ізобутану і надходження в компресорну систему атмосферного повітря (у холодильній камері це неможливо, тому що в ній постійно підтримується плюсова температура).

Представлені на рис. 3 графіки відображають процеси в побутовому холодильнику при роботі його з наскрізним ушкодженням у всмоктувальній лінії (початкова доза заправлення ізобутану 67г).

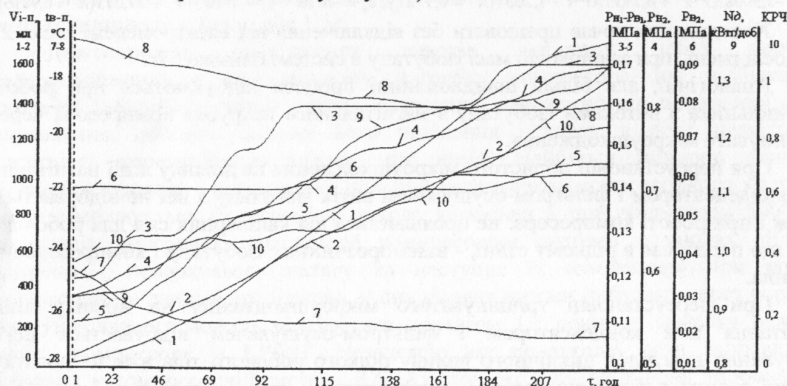


Рис. 3. Графіки зміни в часі наростаючих об'ємів виділення з випарника ізобутану (1), надходження в нього атмосферного повітря (2), тиску в лінії нагнітання перед пуском (3) і зупинкою (4) компресора, у лінії всмоктування - відповідно, (5) і (6), температури перед зупинкою компресора на поверхні випарника (7) і в пакетах-імітаторах (8), добової витрати електроенергії (9), КРЧ (10)

У цьому випадку $P_{H_2} = (528,12 - 0,20V_i + 0,53V_e) \cdot 10^{-3}$ ($R^2 = 0,975$),
 $N_o = 0,2527P_{H_2}^2 + 1,0445P_{H_2} + 0,2295$ ($R^2 = 0,9731$) - залежність від експериментальних значень P_{H_2} , $N_o = 0,8601P_{H_2}^2 + 0,1996P_{H_2} + 0,5194$ ($R^2 = 0,9875$) - залежність від теоретичних значень P_{H_2} , $t_e = -0,4078 \ln V_i - 23,861$ ($R^2 = 0,8947$).

Дослідження проводилися до початку роботи компресора холодильника із КРЧ=1. Робота холодильника з невідключенням від електромережі термостатом починається після витокку з компресорної системи через наскрізне ушкодження у випарнику 4,5г ізобутану і надходження в неї 1,5г атмосферного повітря. Максимальне добове виділення ізобутану з лінії всмоктування холодильної машини із зазначеним вище розміром наскрізного ушкодження близько 0,6г. Гранична маса ізобутану 4,5г, що виділилася на протязі декількох діб циклічної роботи холодильника, створює теоретично (при рівномірному розподілі в повітрі) вибухонебезпечну концентрацію в морозильній камері і не створює її в холодильній камері.

Основні відмінні риси роботи холодильника при наявності наскрізного ушкодження у всмоктувальній лінії - підвищення в компресорній системі тиску і зниження температури на поверхні випарника. Зменшення маси ізобутану в компресорній системі через його витік призводить до зниження тиску робочого тіла, а надходження в неї атмосферного повітря, що, на відміну від ізобутану, не конденсується, - до підвищення тиску. Переважним фактором, що впливає на зміну тиску в компресорній системі, є підсмоктування в неї атмосферного повітря. Зниження температури на поверхні випарника, як і збільшення КРЧ, обумовлені не тільки зменшенням маси ізобутану в компресорній системі, але також погіршенням термодинамічних властивостей робочого тіла через додавання до нього атмосферного повітря. Зазначена маса ізобутану 4,5г є граничною для виділення холодоагенту з лінії всмоктування компресорної системи з оптимальною дозою заправлення його 67г: з початком роботи компресора в режимі невідключення від електромережі в неї підсмоктується атмосферне повітря, збільшення маси якого приводить до подальшого підвищення тиску робочого тіла.

Розкривають причину підвищення тиску в лінії нагнітання при роботі холодильної машини з наскрізним ушкодженням у лінії всмоктування та зниження при цьому температури на поверхні випарника дані, отримані експериментальним шляхом (рис.3) і розрахунковим методом. У конденсаторі при наявності атмосферного повітря і появи рідкої фази ізобутану загальний тиск P газової суміші становлять величини тиску повітря P_e і насичених пар холодоагенту P_i^o : $P = P_e + P_i^o$. Величина P визначається за показаннями манометра в лінії нагнітання між компресором і конденсатором, P_i^o - за наявними довідковими даними залежно від вимірювальної температури конденсації холодоагенту. У розрахунках враховується стискальність ізобутану при різних значеннях температури насичення. За результатами математичної обробки довідкових даних, коефіцієнт стискальності насиченого газоподібного ізобутану

$z_i = 10^{-5}t^2 - 2 \cdot 10^{-3}t + 0,9316$ ($R^2 = 0,9864$). Коефіцієнт стискальності повітря при величинах тиску до 10^6 Па дорівнює одиниці з погрешністю менше 1%.

Концентрація ізобутану в молярних відсотках у суміші з повітрям

$$\chi_i = \frac{n_i}{n_i + n_a}, \quad (1)$$

де n_i і n_a - кількість моль, відповідно, ізобутану і повітря в суміші.

Величини n_i та n_a визначаються з рівнянь

$$P_i^o V = n_i z_i RT, \quad (2)$$

$$P_a V = n_a RT. \quad (3)$$

При цьому

$$n_a = \frac{P_a \cdot n_i \cdot z_i}{P_i^o}, \quad (4)$$

або з урахуванням $P_a = P - P_i^o$

$$n_a = \frac{(P - P_i^o) \cdot n_i \cdot z_i}{P_i^o}, \quad (5)$$

звідки після відповідних перетворень

$$\chi_i = \frac{P_i^o}{P_i^o(1 - z_i) + P \cdot z_i}, \quad (6)$$

і, отже,

$$\chi_a = 100 - \chi_i. \quad (7)$$

У підсумку виконання розрахунків отримані дані про процентне співвідношення ізобутану і повітря, що перебувають над шаром рідкого ізобутану в конденсаторі холодильної машини. У зв'язку зі збільшенням об'ємів витоків ізобутану з випарника побутового холодильника, надходження в нього атмосферного повітря відбуваються в лінії нагнітання зміни состава реальної газової суміші – концентрація ізобутану в молярних відсотках зменшується зі 100 до 60,6%, наслідком чого є зниження тиску насичених пар ізобутану – з 0,58 до 0,50 МПа, температури його конденсації – з 42,3 до 36,7°C і підвищення абсолютного тиску робочого тіла – с 0,58 до 0,88 МПа. Виявлена тенденція підвищення тиску в лінії нагнітання холодильної машини у зв'язку з підсмоктуванням атмосферного повітря у випарну лінію під час роботи компресора дає підставу зробити висновок про неприпустимість при цьому функціонування холодильника в режимі невідключення термостатом від електромережі. Надмірне підвищення тиску в лінії нагнітання може бути причиною руйнування її та компресора з виділенням назовні значної маси робочого тіла.

Отже, очевидне розходження термодинамічних процесів у побутових холодильниках при роботі їх з наскрізними uszkodженнями в лініях нагнітання і всмоктування. В обох випадках діагностичні ознаки роботи побутового холодильника з витоком ізобутану - підвищення КРЧ і добової витрати електроенергії, стабільне зниження температури на поверхні випарника. При роботі компресора із КРЧ=1 з лінії нагнітання через наскрізне uszkodження буде виділятися ізобутан до практично повного «вироблення» його з компресорної

системи, а в лінію всмоктування через наскрізне uszkodження буде надходити атмосферне повітря, нестисливість якого обумовлює підвищення тиску в магістралях холодильної машини.

Розроблений і реалізований розрахунково-графічний метод визначення маси ізобутану і повітря у виділеній з усмоктувальної лінії в холодильну шафу газоповітряної суміші після примусової зупинки компресора з моменту початку його роботи із КРЧ=1. За основу прийняті результати експериментальних досліджень. У зв'язку зі збільшенням теплоприпливів у холодильну шафу, що не компенсуються роботою холодоагенту у випарній лінії компресорної системи. Внаслідок кипіння ізобутану ріст тиску у випарній лінії виявився випереджальним в порівнянні з підвищенням тиску в лінії нагнітання. Точки з парними чисельними значеннями абсолютного тиску і температури в ті самі моменти часу виявляються на $\lg p-h$ – діаграмі для R600a лівіше прикордонної кривої $x=0$, тобто в області ненасиченої рідини. Опускаємо ці точки за відповідними ізобарами на зазначену прикордонну криву і визначаємо ізобари, що відповідають початку кипіння ізобутану. Отже, перше положення кожної розглянутої точки відповідає абсолютному тиску у випарнику газової суміші, друге – парціальному тиску газоподібного ізобутану над його рідкою фазою, а різниця величин тиску – парціальному тиску атмосферного повітря в реальній газовій суміші. Об'єми (v_i) і масові (g_i) частки кожного компонента в газовій суміші визначені за формулами, відповідно:

$$v_i = p_i / p_{cv}, \quad (8)$$

$$g_i = r_i \mu_i / \sum (r_i \mu_i), \quad (9)$$

де p_i - тиск і-того компонента, p_{cv} - тиск газової суміші, μ_i - молярна маса і-того компонента, молярна маса ізобутану і повітря, відповідно, 58 і 29 г/моль.

Маса виділених з випарника ізобутану і повітря визначена за формулами, відповідно:

$$m_i = V \cdot v_i \cdot \rho_i, \quad (10)$$

$$m_n = V \cdot v_n \cdot \rho_n, \quad (11)$$

де V – об'єм (л) виділеної з випарника ізобутаноповітряної суміші, v_i і v_n – об'ємна частка, відповідно, ізобутану і повітря, ρ_i і ρ_n – щільність (г/л), відповідно, ізобутану і повітря.

Відповідно до розрахунків, об'ємна частка ізобутану в газовій суміші, що виділяється з випарника, підвищується протягом біля 55-и годин від початку досліджень із 0,4 до 0,98 і втримується на максимальному рівні до кінця експерименту (залишковий тиск у компресорній системі 0,11 МПа). За отриманими даними, в 8,9 л ізобутаноповітряної суміші, що виділилася з випарника непрацюючого холодильника, маса ізобутану і повітря становить, відповідно, 17,7 і 1,48 г. Відповідно до розрахунків, концентрація ізобутану в морозильній камері може перевищити верхню концентраційну межу займистості, у холодильній камері може перебувати в концентраційних межах займистості - за умови його рівномірного розподілу в їхньому об'ємі. Отже, якщо при циклічній

роботі холодильника (початкова доза заправлення холодоагенту 67г), що має наскрізне ушкодження в лінії усмоктування, маса ізобутану, яка виділяється з компресорної системи до настання режиму невідключення компресора термостатом від електромережі, не перевищує 4,5г, то після примусової зупинки холодильної машини з випарної системи виділяється ще маса його 17,7г. Загальна маса ізобутану, що виділилася, - близько 1/3 від дози заправлення. Вищевикладене необхідно враховувати при підготовці аварійно працюючого холодильника (КРЧ=1) до сервісного обслуговування.

У третьому розділі роботи представлено результати дослідження особливостей формування і горіння ізобутаноповітряної суміші при витоках холодоагенту з компресорної системи побутового холодильника. Теплові імпульси створювалися газовими електрозапальниками, процеси запалення і горіння ізобутану в місцях його витоків реєструвалися відеокамерою - у роботі представлені характерні стоп-кадри екзотермічних процесів від їхнього початку до завершення. Установлені з урахуванням специфіки конструкції і роботи побутових холодильників невідомі раніше явища: відшарування ізобутану від малорухомого атмосферного повітря в закритій ємності - аналог охолоджуваного відділення холодильної шафи (10г його відшаровуються від повітря протягом часу біля 2-х хвилин, після чого виключається запальююча дія теплового імпульсу в шарі «розливу» і над ним), «витікання» його вниз безперервною масою зі швидкістю близько 0,07м/с у звичайних для приміщень мікрокліматичних умовах при відкриванні її, горіння після спалаху від зовнішнього джерела запалювання в руслі «витікання», поширення полум'я зі швидкістю близько 2м/с зверху вниз, близько 2,5м/с знизу нагору - залежно від місця знаходження теплового імпульсу, догорання ізобутаноповітряної суміші в ній з викидом полум'я назовні, зсув русла «витікання» і горіння газу зовнішнім вентиляційним струменем, що має швидкість 0,4м/с і більше (гранична швидкість для приміщень 0,6м/с), у напрямку її руху, «стікання» його в компресорно-конденсаторному відділенні холодильника від місця безпапірного витоків на підлогу і «розтікання» по ньому, незважаючи на наявність теплової депресії при роботі компресора і обумовленого нею висхідного руху повітря зі швидкістю близько 0,25м/с. За даними досліджень, маса ізобутану 10г «випливає» з ємності, що відкрилася, протягом не більше 10с (час, на який в реальних умовах відкривають двері холодильної шафи). Природно, протягом цього часу зазначена в другому розділі роботи маса холодоагенту 0,6 і 4,5г (максимальна добова і гранична при циклічній роботі холодильної машини) повністю «вितече» із охолоджуваного відділення, що відкрилося. При цьому «витікаючий» ізобутан здатний спалахнути від теплового імпульсу, віддаленого від відкритого прорізу ємності: по вертикалі вниз - при швидкості горизонтального вентиляційного струменя в площині прорізу до 0,4м/с, на вертикальному контурі його з підвітряної сторони при швидкості її близько 0,6м/с; при збільшенні швидкості повітряного потоку від 0,4 до 0,6м/с русло «витікання - вивування» і горіння ізобутану розвертається на 90° за ходом його руху. Процеси запалення і горіння ізобутаноповітряної суміші досить швидкоплинні: тривалість згорання 10г ізобутану деяким більше 2с. Зазначена в другому розділі роботи максимальна добова маса витоків ізобутану менше 1,5г з

нагнітального патрубку компресора через тріщинувате мікроушкодження і навіть масу його 10г (зі слідами компресорного мастила), що виділяється протягом однієї години з лінії нагнітання на ділянці між конденсатором і фільтром-осушувачем, не створює небезпеки утворення з повітрям вибухонебезпечної концентрації внаслідок розтягнутості газовиділення в часі, протягом якого ізобутан встигає опуститися вниз, «розтектися» по підлозі і розсіятися в навколишньому просторі. За даними досліджень, час розведення 10г «витікаючого» ізобутану до безпечної концентрації обчислюється десятками секунд при швидкості руху зовнішнього повітря близько 0,1м/с. Експериментально встановлено, що в цей проміжок часу можливе запалення «розтікаючого» по підлозі ізобутану від теплового імпульсу біля фронтальної поверхні холодильника, поширення полум'я під днищем з викидом його в компресорно-конденсаторне відділення. Отже, ізобутан при мікровитоках з лінії нагнітання компресорної системи не накопичується під холодильником і поблизу нього - у нормальних умовах експлуатації, не виноситься в навколишній простір висхідним повітряним потоком внаслідок прояву теплової депресії при роботі холодильної машини. Таким чином, наявність мікроушкоджень у лінії нагнітання компресорної системи побутових холодильників не знижує рівень їх вибухопожежонебезпеки. Очевидна помилковість закладеного в європейських стандартах положення про допустимість заправлення компресорної системи побутової холодильної техніки 150г ізобутану на тій підставі, що у випадку його витоків він рівномірно розподілиться в об'ємі приміщення, де вона встановлена, до концентрації менше нижньої межі займистості. У зв'язку з тим, що виділена з випарної системи циклічно працюючого холодильника гранична маса ізобутану 4,5г (при початковій дозі заправлення 67г) не створює вибухонебезпечну концентрацію в повітрі холодильної камери (за умови рівномірного розподілу в ньому), опускається в її донну частину, а при відкриванні дверей «випливає» назовні, очевидна допустимість розміщення у верхній частині її електротехнічних виробів без засобів вибухозахисту. У зв'язку з імовірністю макровитоків ізобутану з лінії нагнітання і неминучим «стіканням» його вниз, клемна колодка і пускозахисне реле можуть виявитися у випадку їхнього ушкодження джерелом запалення ізобутаноповітряної суміші - їх декларумий вибухозахист не має обґрунтування.

Четвертий розділ дисертації присвячено дослідженням пожежонебезпеки при запаленні і горінні ізобутану, «витікаючого» з холодильної машини на різних її ділянках.

Зроблено аналіз і узагальнення даних про властивості ізобутану як вибухопожежонебезпечної речовини. Отримано робоче рівняння для розрахунку теплового ефекту реакції окислювання ізобутану при різних значеннях температури (справедливо до T=1000К). Питоме тепловиділення при згорянні ізобутану 45,56МДж/кг, при повнім згорянні маси ізобутану від 40 до 75г (доза заправлення компресорної системи вироблених у Європі холодильників) загальне тепловиділення може скласти від 1,82 до 3,42МДж.

Проведено дослідження температурних полів у зонах горіння ізобутану і робочого тіла при витоках у лініях, відповідно, всмоктування і нагнітання

компресорної системи. Термографічна зйомка (одночасно з відеозйомкою) виконувалася з використанням тепловізорів IR Flex Cam Pro 320 і ISG K 6800 (виробництво США). Горіння протягом 1,6с 10г ізобутану, що випливає з відкритої морозильної камери, не викликає термічну деструкцію щільних шторних тканин, що знаходяться в полум'ї з температурою 477,9...612,8°C біля фронтальної поверхні холодильника (природно, дерево і пластик у цих умовах не займаються). Отже, згорання зазначеної маси ізобутану, що більш ніж у два рази перевищує можливу масу витoku холодоагенту (4,5г) з лінії всмоктування працюючого холодильника до настання режиму невідключення компресора термостатом від електромережі, не створює небезпеки виникнення пожежі (є небезпека одержання опіків). Доведено термографуванням і відеозйомкою, що при одномоментній повній розгерметизації нагнітальної лінії працюючої холодильної машини (руйнування тріщинуватого мікроушкодження гідропульсацією, під дією надмірного тиску робочого тіла при наявності в ньому повітря) відбуваються займання від джерела запалювання при температурі близько 270°C викидаємого з неї компресорного мастила, наступне горіння на повітрі ізобутано-мастильного аерозолу і потім ізобутаноповітряної суміші (температура у вогнищі горіння 498,23...514,98°C). Отже, розчинність ізобутану в компресорному мастилі впливає на вибухопожежонебезпеку, але не убик зменшення її, як вважають деякі фахівці, а убик істотного зниження нижньої температурної межі займистості робочого тіла. Показано, що при горінні на повітрі робочого тіла, що витісняється компресором з лінії нагнітання при її повній розгерметизації, температура біля задньої панелі холодильника перевищує 665°C, внаслідок чого протягом 20...26с відбувається термічна деструкція поверхневого шару теплоізоляції - виникає вогнище пожежі. Горіння робочого тіла може відбуватися до практично повного «вироблення» його з холодильної машини (тепловий захист компресора не спрацьовує), при цьому вибухові прояви відсутні.

У п'ятому розділі дисертації сформульовано з урахуванням результатів виконаних досліджень концептуальну основу підвищення надійності та безпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані. Показано необґрунтованість і марність застосування в сучасних моделях холодильників засобів захисту наявних електротехнічних виробів як потенційних джерел небезпечного теплового імпульсу, можливість забезпечення вибухозахисту при використанні деяких з них компонованими рішеннями: вони повинні перебувати вище місць можливого витoku ізобутану з компресорної системи. Запропоновано конструкцію герметичного компресора (захищена деклараційним патентом України) з розміщенням пускозахисного реле на верхній частині холодильної шафи (під сервірочною площиною) або в коробці вилки штепсельного рознімання. Розроблені і представлені відповідні принципи електричні схеми побутового холодильника з винесеним з кошуа компресора пускозахисним реле. Накопичення ізобутану в холодильній шафі при витоках його з лінії усмоктування під час стоянок компресора можна виключити влаштуванням у холодильній шафі дренажних каналів для «стоку» його в навколишній простір і розсіювання в ньому (конструкція холодильної шафи із дренажними каналами захищена деклараційним

патентом України). Результати проведених досліджень із відеозйомкою свідчать про можливість «перетікання» ізобутану по каналах діаметром 6 мм під дією гравітаційних сил, горіння створюваної газоповітряної суміші біля устя його спалахами при наявності тут джерела запалювання (швидкість згорання ізобутану набагато перевищує швидкість перетікання по каналу і утворення з повітрям горючої суміші) і неможливості поширення по ньому полум'я - полум'я не проскакує по дренажному каналу.

ВИСНОВКИ

У дисертації представлені експериментальні дані і теоретичні узагальнення для створення комплексної науково-технічної основи прогнозування і виключення аварійних ситуацій, пов'язаних з витокami ізобутану з компресорної системи побутових холодильників. При цьому встановлено наступне.

1. Характер та інтенсивність витоків ізобутану з лінії нагнітання, наявність або відсутність їх залежать від виду мікроушкодження (пористе або тріщинувате), стану системи «ізобутан - компресорне мастило», фазового стану холодоагенту.

2. Наявність у лінії нагнітання пористого мікроушкодження не представляє небезпеки взагалі, тріщинувате мікроушкодження в ній може руйнуватися під дією пульсацій робочого тіла і перетворюватися в макроушкодження: прогресуючий витік робочого тіла відбувається під дією перепаду тиску; існує можливість «промерзання» наскрізного пошкодження у випарнику морозильної камери.

3. Особливість роботи побутового холодильника з витоком ізобутану з лінії нагнітання - зниження тиску в компресорній системі і температури на поверхні випарника, роботи його при наявності наскрізного ушкодження в лінії всмоктування - підвищення тиску в нагнітальній лінії внаслідок підсмоктування атмосферного повітря (при цьому змінюються склад і властивості холодоагенту) і зниження температури на поверхні випарника.

4. Холодильна машина з оптимальною дозою заправлення ізобутану 67г починає працювати із КРЧ=1 у випадку витoku його з лінії нагнітання при залишковій масі 57г, а у випадку витoku з лінії всмоктування - при втраті маси 4,5г і підсмоктуванні 1,5г атмосферного повітря, причому зазначена маса ізобутану, що виділяється, гранична: при роботі компресора в режимі невідключення від електромережі в систему надходить повітря, неконденсуємість якого обумовлює небезпеку руйнування лінії нагнітання більшим надлишковим тиском робочого тіла.

5. Можливе накопичення значної маси ізобутану (не менш 1/3 оптимальної дози заправлення для ДХ-245) у донній частині закритих відділень холодильної шафи непрацюючого побутового холодильника, що має наскрізне ушкодження в блоці випарників, згорання якої створює реальну термічну небезпеку.

6. При безнапірному витoku з компресорної системи, ізобутан «стікає» вниз навіть у висхідному повітряному потоці, що свідчить про помилковість установлення граничної дози заправлення ізобутану в компресорній системі (до

150г), виходячи із припущення про рівномірний розподіл його у випадку витoku в об'ємі приміщення, у якому вона перебуває.

7. Згоряння при функціонуванні холодильника «втікаючого» з холодильної шафи ізобутану (можливе займання його від зовнішнього теплового імпульсу, місце небезпечного знаходження якого залежить від напрямку і швидкості вентиляційного струменя) не створює у зв'язку зі швидкоплинністю (не більше 2с) небезпеки виникнення пожежі, однак реальна небезпека отримання опіків; при розташуванні джерела теплового імпульсу біля місця ушкодження магістралі холодильної машини, що перебуває під надлишковим тиском, спочатку запалюються пари компресорного мастила при температурі близько 270°C, потім згоряють аерозоль та ізобутаноповітряна суміш; горіння в компресорно-конденсаторному відділенні холодильника робочого тіла, що спалахнуло від джерела запалювання у випадку макровитoku його з лінії нагнітання і роботи компресора, створює небезпеку виникнення пожежі (але не вибуху): відбувається загоряння пінополіуретанової теплоізоляції від діючого протягом 20...25с полум'я з температурою більше 665°C.

8. Припустимо використання в холодильній камері побутового холодильника електротехнічних виробів, що входять у його конструкцію, без засобів вибухозахисту, доцільна зміна конструкції герметичного компресора - пускозахисне реле переноситься у верхню частину холодильної шафи або у вилку штепсельного рознімання для підключення холодильника до електромережі та холодильної шафи - влаштовуються дренажні канали для «стоку» ізобутану на випадок витoku його із всмоктувальної лінії.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Осокін, В.В. Про особливості ізобутану як робочого тіла в малій холодильній техніці та забезпечення безпеки під час її експлуатації / В.В. Осокін, К.А. Ржесік // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2005. – Вип. 13. – С. 10-18.
2. Осокін, В.В. Об оценке степени пожаровзрывоопасности бытовых холодильников, работающих на изобутане / В.В. Осокин, К.А. Ржесик // Современные проблемы холодильной техники и технологии : сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч. - техн. конф., г. Одесса, 21-23 сент. 2005 г. – Одесса, 2005. – С. 6-8.
3. Осокин, В.В. О физико-химических свойствах изобутана и основных принципах безопасности использования его в бытовой холодильной технике / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, В.Г. Матвиенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2005. - № 6 (98). – С. 9-12.
4. Осокин, В.В. Об особенностях процессов формирования и горения изобутановоздушной смеси в закрытой и раскрывающейся емкости / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, Ю.А. Селезнева // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2006. - № 1 (99). – С. 23-26.
5. Осокин, В.В. Об особенностях воспламенения и горения изобутановоздушной смеси при «вытекании» изобутана из раскрывшейся емкости и

нахождении источника зажигания за ее пределами / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, Ю.А. Селезнева // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2006. - № 3 (101). – С. 33-40.

6. Про особливості зміни тиску та температури в холодильній системі побутового холодильника, що працює на ізобутані / В.В. Осокін, К.А. Ржесік, О.Б. Кудрін, Ю.А. Селезньова, Г.Є. Сиромятов, Р.В. Брюшков // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2006. – Вип. 15. – С. 3-10.

7. Осокин, В.В. О влиянии вентиляционной струи на формирование, воспламенение от источника зажигания и горение изобутановоздушной смеси в окрестности, содержащей изобутан открывающейся емкости и внутри ее // В.В. Осокин, К.А. Ржесик, Ю.А. Селезнева // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2006. - № 5 (103) – С. 39-43.

8. Осокин, В.В. Об оценке возгораемости различных материалов в пламени горячей изобутановоздушной смеси возле лицевой поверхности бытового холодильника / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, Ю.А. Селезнева // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2007. - № 1 (105) – С. 13-18.

9. Про теплоенергетичні процеси у побутовому холодильнику під час мікро витоків ізобутану з лінії нагнітання холодильної машини / В.В. Осокін, К.А. Ржесік, О.Б. Кудрін, Ю.А. Селезньова, Г.Є. Сиромятов, Р.В. Брюшков // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2007. – Вип. 16. – С. 63-70.

10. Об аварийной работе бытового холодильника в связи с микроутечками изобутана из линии нагнетания и оценки возможности возникновения при этом взрывопожароопасности / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, А.Б. Кудрин, Ю.А. Селезнева, Г.Е. Сыромятов, Р.В. Брюшков // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2007. – № 2 (106) – С. 10-16.

11. Про особливості витоків ізобутану через мікро ушкодження на різних ділянках лінії нагнітання холодильної машини й роботи при цьому побутового холодильника / В.В. Осокін, К.А. Ржесік, О.Б. Кудрін, Ю.А. Селезньова, Г.Є. Сиромятов, Р.В. Брюшков // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2007. – Вип. 17. – С. 33-42.

12. Об утечках изобутана из линии нагнетания через микроповреждения и работе при этом бытового холодильника / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, А.Б. Кудрин, Ю.А. Селезнева, Г.Е. Сыромятов, Р.В. Брюшков // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2007. - № 3 (107) – С. 20-30.

13. О процессах в бытовом холодильнике, работающем на изобутане, при наличии сквозного повреждения в его испарительной системе / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, А.Б. Кудрин, Ю.А. Селезнева, Г.Е. Сыромятов, Р.В. Брюшков // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2007. – № 4 (108) – С. 11-17.

14. Об особенностях процессов в холодильной системе бытового холодильника и его работы при утечке изобутана из линии разрежения / В.В. Осокин, К.А. Ржесик,

В.Г. Матвиенко, Ю.А. Селезнева // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2007. – Вип. 31. – т.1. – С. 143-149.

15. О процессах в бытовом холодильнике, имеющем сквозное повреждение в испарительной системе, после полного отключения от электросети его компрессора, работавшего в режиме с КРВ=1 / В.В. Осокин, К.А. Ржесик, А.Б. Кудрин, Ю.А. Селезнева, Г.Е. Сыромятов, Р.В. Брюшков // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2007. - № 5 (109) – С. 18-24.

Є 9 додаткових публікацій, серед яких:

1. Пат. 14686 U UA F25B9/00. Компрессор побутового холодильника, що працює на ізобутані / В.В. Осокін, М.П. Зборщик, К.А. Ржесік, Ю.А. Селезньова, Г.Є. Сиром'ятов ; Донец. нац. техн. ун-т. - № 20052050; заявлено 15.12.2005 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.

2. Пат. 20315 U UA F25B9/00. Холодильна шафа побутового холодильника, що працює на вибухопожежонебезпечному холодоагенті ізобутані / В.В. Осокін, К.А. Ржесік, Ю.А. Селезньова, Г.Є. Сиром'ятов; Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – № 200608432; заявлено 27.07.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

Особистий внесок здобувача: [1] - аналіз проблеми і перспектив використання ізобутану в холодильній техніці; [3] - аналітичні дослідження, розрахунки і висновки; [2, 4-12] - постановка завдань, участь в експериментальних дослідженнях, обробка отриманих результатів, висновки; [13-15] - постановка завдань, аналітичні і експериментальні дослідження, обробка результатів експериментальних досліджень, висновки.

АННОТАЦИЯ

Ржесик К.А. Повышение надежности и безопасности бытовых холодильников, работающих на изобутане. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. Одесская государственная академия холода. – Одесса, 2008.

На основании статистического анализа определена для Украины вероятность ежегодных отказов в работе бытовых холодильников производства Группы «Норд» из-за утечек в них изобутана. Выполнен анализ микроповреждений магистралей их компрессорной системы: имеются пористые и трещиноватые микроповреждения – получены их фотографии с использованием электронного микроскопа при увеличении до 500^x. Разработан и обоснован комплексный метод стендовых исследований бытовых холодильников, работающих с утечками изобутана в линиях нагнетания и всасывания. По полученным барограммам, при работе холодильника без утечек изобутана создается во всасывающей линии разрежение, после остановки компрессора давление в ней избыточное. Отсюда: утечки изобутана из всасывающей магистрали при наличии в ней сквозного повреждения возможны при стоянке компрессора, при работе его в нее будет поступать атмосферный воздух. Установлено: утечки изобутана из нагнетательного патрубка компрессора

происходят через сквозные микроповреждения только при его работе (имеет место диффузионный импульсный перенос газовых молекул), при стоянке компрессора утечек нет из-за «замазывания» их входных отверстий. Утечка сконденсированного изобутана невозможна из-за отсутствия действия капиллярных сил. Показано: трещиноватые микроповреждения в нагнетательной магистрали холодильной машины, в отличие от имеющих стабильные физические свойства макропор, способны разрушаться с течением времени под действием гидравлических пульсаций при работе компрессора и превращаться в макроповреждения, перенос вещества в которых происходит под действием перепада давления. Максимальная суточная масса утечки изобутана через пористое микроповреждение около 0,25г, через трещиноватое – меньше 1,5г, но с началом саморазрушения – 10г/час. Независимо от начальной дозы заправки изобутана в компрессорной системе ДХ-245 (при исследованиях она изменялась от 62 до 67г), остаточная масса его в ней, при которой компрессор начинает работать в режиме неотключения от электросети, составляет около 57г. Компрессор холодильника начинает работать с КРВ=1 после утечки из линии всасывания 4,5г изобутана и поступления в нее при этом 1,5г атмосферного воздуха. Указанная масса утечки изобутана является предельной: с началом работы компрессора в режиме неотключения термостатом от электросети в компрессорную систему подсасывается атмосферный воздух. Раскрыто и объяснено различие термодинамических процессов в бытовых холодильниках при утечках изобутана из линий нагнетания и всасывания. Причина различия: если при работе бытового холодильника со сквозным повреждением в линии нагнетания происходят только уменьшение массы изобутана в компрессорной системе и обусловленное этим понижение в ней давления, то при работе с повреждением в линии всасывания – снижение массы изобутана из-за утечек во время стоянок компрессора, подсасывание в нее атмосферного воздуха во время его работы и, как следствие, повышение давления в нагнетательной линии (воздух, в отличие от изобутана, не конденсируется), что создает опасность ее разрушения, изменение состава (подтверждено теоретически и расчетами) и, неизбежно, свойств хладагента. При наличии сквозных повреждений в линиях нагнетания или всасывания диагностические признаки работы бытового холодильника с утечкой изобутана единые: повышение КРВ и суточного расхода электроэнергии, стабильное понижение температуры на поверхности испарителя - в морозильной камере. Разработан и реализован расчетно-графический метод определения массы изобутана и воздуха в выделяющейся из всасывающей линии в холодильный шкаф газозвушной смеси после принудительной остановки компрессора с момента начала его работы с КРВ=1 – используются экспериментальные термо-, барограммы и lgr-h – диаграмма для R600a. Возможно накопление в донной части закрытого холодильного шкафа значительной массы изобутана. Установлены неизвестные ранее количественные данные о процессах движения изобутана в воздухе возле места утечки, распространения фронта его горения после воспламенения от теплового импульса с учетом действия внешней вентиляционной струи. Раскрыты на основе результатов видеосъемки и термографирования особенности образования, воспламенения от источника зажигания и горения изобутановоздушной смеси в случаях утечки хладагента из компрессорной системы и формирования при

экзотермических процессах температурных полей. При этом установлено: сгорание «вытекающего» из холодильного шкафа изобутана (в случае функционирования холодильника) не создает в связи со скоротечностью экзотермического процесса (не более 2с) опасности возникновения пожара, однако реальна опасность получения ожогов; при расположении источника теплового импульса возле места повреждения находящейся под избыточным давлением магистрали холодильной машины вначале воспламеняются пары компрессорного масла при температуре около 270°C, затем сгорают аэрозоль и изобутановоздушная смесь – наличие в системе компрессорного масла увеличивает пожароопасность. Горение воспламенившегося от источника зажигания рабочего тела в компрессорно-конденсаторном отделении холодильника в случае макроутечек его из линии нагнетания и работы компрессора создает опасность возникновения пожара (но не взрыва): происходит загорание пенополиуретановой теплоизоляции от действующего в течение около 20...25с пламени с температурой более 665°C. Сформулирована с учетом результатов выполненных исследований концептуальная основа повышения надежности и безопасности бытовых холодильников, работающих на изобутане, реализуемая на стадиях их проектирования, массового производства и сервисного обслуживания. Положения ее должны быть учтены в стандартах и руководствах по технической безопасности малой холодильной техники.

Ключевые слова: бытовой холодильник, изобутан, микро- и макроповреждения, утечка, термодинамические процессы, горение, взрывопожаробезопасность.

АНОТАЦІЯ

Ржесік К.А. Підвищення надійності і безпеки побутових холодильників, які працюють на ізобутані. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.14 - холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування. Одеська державна академія холоду. - Одеса, 2008.

Виконано аналіз відмов в роботі побутових холодильників через витоки в них ізобутану і мікроушкоджень їхньої компресорної системи. Розроблений і обґрунтований комплексний метод стендових досліджень побутових холодильників, що працюють із витоками ізобутану в лініях нагнітання і всмоктування, термодинамічних і теплофізичних процесів у побутових холодильниках при витоках у них холодоагенту на різних ділянках магистралей, формування, займання від теплового імпульсу і горіння ізобутаноповітряної суміші біля місця розгерметизації компресорної системи з урахуванням факторів зовнішнього середовища, а також ступеня пожежонебезпеки, що створюється при цьому. Сформульована з урахуванням результатів виконаних досліджень концептуальна основа забезпечення надійності і безпеки побутових холодильників, що працюють на ізобутані, яка має бути реалізована на стадіях їхнього проектування, масового виробництва і сервісного обслуговування. Положення її повинні бути враховані в стандартах і керівництвах по технічній безпеці малої холодильної техніки.

Ключові слова: побутовий холодильник, ізобутан, мікро- і макрошкодження, витік, термодинамічні процеси, горіння, вибухопожежобезпека.

ANNOTATION

Rzhesik K.A. Enhancement of reliability and safety of household isobutane refrigerators. – Manuscript.

Dissertation for the Candidate Degree in Technical Sciences specialty 05.05.14 – Refrigeration, Vacuum and Compression Engineering, Conditioning Systems. – Odessa State Academy of Refrigeration, - Odessa, 2008

The analysis of household refrigerators' operational failures, caused by isobutane leakages and microdamages of their compression system has been carried out. Complex method of test bench investigation has been developed and grounded for household refrigerators, operating under conditions of isobutane leakages in discharge and suction lines; also the study of thermodynamic and thermo-physical processes in household refrigerators with refrigerant leakages in different line sections, exploration of formation and heat pulse inflammation and combustion of air-isobutane mixture at the points of decompression of compression system, taking into account factors of external environment, as well as the fire hazard level was worked out. Research data analysis has made it possible to formulate a conceptual basis for ensuring explosion and fire safety when using isobutane as a refrigerant in household refrigerators. Principles of this concept will enable to raise the level of reliability of the corresponding standards and instructions on designing, operating and servicing of small-scale cooling facilities.

Key words: household refrigerator, isobutane, micro- and macro- damages, leakage, thermodynamic processes, combustion, explosion and fire safety.

Підписано до друку 06.03.2008 р. Папір офсетний.

Друк – ризографія. Ум.друк.арк. 0.9

Тираж 100 прим. Зам. № 143.

Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Редакційно-видавничий відділ

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 1106 від 5.11.2002 р.