

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**Іщенко Вадим Миколайович**

УДК 629.463.125

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
РЕФРИЖЕРАТОРНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ  
ЗАЛІЗНИЦЬ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі вагонів Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
Брайковська Надія Сергіївна,  
Державний економіко-технологічний  
університет транспорту,  
проректор з науково-педагогічної роботи,  
професор кафедри вагонів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Бабанін Олександр Борисович,  
Українська державна академія залізничного  
транспорту,  
професор кафедри експлуатації  
і ремонту рухомого складу

кандидат технічних наук, доцент  
Дуганов Олександр Георгієвич,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна,  
доцент кафедри вагонів і вагонного господарства

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 року о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха,7.  
З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха,7.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Прохорченко А.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найважливішою задачею діяльності залізничного транспорту є масове перевезення вантажів і пасажирів. Складовою частиною залізничного транспорту є рефрижераторний рухомий склад (РРС), який забезпечує основну частку перевезень швидкопсувних вантажів (ШПВ).

В сучасних умовах змінюються напрямки та об'єми перевезень ШПВ, посилюються жорсткі екологічні вимоги до робочих речовин холодильного обладнання, зростає конкуренція з боку інших видів транспорту. Всі ці обставини та стан існуючого РРС потребує необхідності вирішення економічних, технічних, технологічних, екологічних і управлінських задач щодо його оновлення, утримання, ремонту і ефективного використання та функціонування при перевезеннях ШПВ.

Відповідно до рішень Монреальського протоколу та інших міжнародних домовленостей щодо речовин, які руйнують озоновий шар, холодильний агент хладон-12 (R12), який застосовувався в холодильному обладнанні РРС протягом багатьох років, визнаний озоноруйнуючою речовиною і його виробництво і використання в теперішній час заборонено.

У ситуації, що склалась, актуальним є не тільки розв'язання наукового завдання щодо забезпечення працездатності, але й підвищення ефективності функціонування рефрижераторних вагонів (РВ) при їх експлуатації на альтернативному R12 холодоагенті в умовах діючої системи ремонту та обслуговування РРС.

Це викликає необхідність проведення досліджень характеристик холодильного обладнання, технологічних тривалостей охолодження вантажів в РВ, енергетичних показників РРС з урахуванням технічного стану холодильних машин та теплотехнічних показників огороження кузова РВ, удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання, що працює на альтернативному холодоагенті. Але поки що ці питання досліджені недостатньо, без урахування зміни в процесі експлуатації теплотехнічних якостей огороження кузова РВ, а також зношування елементів компресора холодильних машин РРС, що призводить до зниження холодопродуктивності холодильної машини та енергетичних показників РВ в цілому.

Таким чином, дослідження характеристик холодильного обладнання, технологічної тривалості охолодження вантажу в РВ та показників енергоспоживання РРС, що працює на альтернативному холодоагенті, є актуальними, першорядними та сприяють вирішенню завдань, які стоять перед залізничним транспортом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі вагонів Державного економіко-технологічного університету транспорту в період 2005-2009 рр. відповідно до "Програми припинення в Україні виробництва та використання озоноруйнуючих речовин" (Постанова Кабінету Міністрів України від 17

жовтня 1996 року №1274), Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 рр., концепція якої схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 року №651-р, планів науково-дослідних робіт Державного економіко-технологічного університету транспорту, що виконуються згідно державних та галузевих програм: НДР “Розробка методики проведення діагностики холодильного обладнання рухомого складу залізниць України, що працює на альтернативному холодоагенті” (ДР№ 0107U 000736, 2006 р), “Розробка пропозицій удосконалення критих з утепленим кузовом вагонів з метою покращення їх теплотехнічних якостей” (ДР№ 0109U 006605, 2009 р).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування РРС залізниць при використанні альтернативного холодоагенту і засобів технічної діагностики.

Дисертаційна робота містить постановку та вирішення наступних задач:

- оцінити стан перевезень ШПВ рефрижераторним рухомим складом залізниць та досвід використання технологій альтернативних холодоагентів в РРС;

- виконати аналіз використання засобів технічної діагностики в умовах діючої системи ремонту та обслуговування РРС;

- виконати дослідження характеристик холодильних машин РРС з урахуванням властивостей альтернативних холодоагентів;

- розробити математичну модель для побудови холодопродуктивності компресора холодильних машин РВ з урахуванням властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів;

- отримати аналітичні залежності холодопродуктивності компресора холодильних машин, що працюють на альтернативній сумішній композиції холодоагентів, від тиску кипіння та конденсації;

- обґрунтувати вибір процедури діагностування, яка забезпечує контроль характеристик холодильної машини та визначає її технічний стан з урахуванням властивостей альтернативного холодоагенту;

- оцінити зміни теплоізоляційних характеристик кузова РВ в процесі експлуатації;

- розробити математичну модель взаємодії елементів в системі «навколишнє середовище – рефрижераторний вагон – холодильне обладнання рефрижераторного вагона - вантаж»;

- отримати аналітичні залежності технологічної тривалості процесів охолодження вантажів від властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів та умов транспортування;

- удосконалити метод проведення моніторингу технологічної тривалості охолодження та енергоспоживання РВ при перевезенні ШПВ;

- розробити рекомендації щодо оцінки термодинамічної ефективності холодильних машин та енергетичної ефективності РВ при застосуванні альтернативних холодоагентів.

**Об’єкт дослідження** – процес функціонування РРС при використанні альтернативного холодоагенту і засобів технічної діагностики.

**Предмет дослідження** – розрахунки і моделювання характеристик РРС та його холодильного обладнання при експлуатації на альтернативному холодоагенті.

**Методи дослідження.** Для виконання поставлених у дисертації задач теоретичні дослідження холодопродуктивності компресора холодильної машини при використанні альтернативного холодоагенту базувалися на математичному моделюванні і експериментальних перевірках коректності основних результатів на натурних об'єктах. Дослідження технологічної тривалості охолодження вантажів та енергоспоживання РРС виконувались з застосуванням математичного моделювання теплових процесів в системі охолодження РВ, яке базувалося на двох фундаментальних рівняннях теплопередачі та теплового балансу.

Дослідження, які пов'язані з забезпеченням технічних показників холодильними машинами РВ, що працюють на альтернативному холодоагенті, виконувались експериментальним методом.

Отримані у роботі наукові результати, висновки і рекомендації є обґрунтованими і достовірними. Підставою для цього є коректна постановка завдання, використання сучасних апробованих методів математичної статистики та теорії імовірності, математичного моделювання, регресійного аналізу та експериментальних досліджень на натурних зразках РВ. Достовірність отриманих результатів обґрунтована задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних досліджень, позитивними результатами їхньої перевірки в умовах експлуатації на залізничному транспорті України.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в вирішенні науково-прикладного завдання підвищення ефективності функціонування РРС з урахуванням його експлуатації на альтернативній сумішній композиції холодоагентів та використання засобів технічної діагностики.

Вперше:

– розроблено та теоретично обґрунтовано математичну модель для побудови холодопродуктивності компресора, яка визначає основну зовнішню характеристику холодильної установки РВ, що працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів. На відміну від існуючої моделі для моноречовини хладон 12 (R12) розроблена математична модель враховує особливості альтернативних сумішних композицій холодоагентів та визначається значеннями тиску кипіння та конденсації замість значень відповідних температур;

– отримані аналітичні залежності холодопродуктивності компресора холодильних машин РРС від тисків кипіння та конденсації, які працюють на альтернативній сумішній композиції холодоагентів. Ці залежності використовуються при удосконаленні процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання;

– розроблено математичну модель взаємодії елементів в системі «навколишнє середовище-рефрижераторний вагон-холодильне обладнання рефрижераторного вагону-вантаж», яка на відміну від існуючих, забезпечує

уточнення технологічної тривалості охолодження ШПВ та визначення енергоспоживання РВ в залежності від умов транспортування.

Удосконалені і набули подальшого розвитку:

– процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання, які на відміну від існуючих, враховують реальний технічний стан холодильної машини, властивості альтернативної сумішної композиції холодоагентів і дозволяють забезпечити раціональні значення холодопродуктивності установки РВ;

– метод моніторингу технологічної тривалості охолодження вантажу та енергоспоживання рефрижераторного вагону, який дозволяє виявити резерви економії паливно-мастильних матеріалів при перевезенні ШПВ в РРС.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

– побудовані залежності холодопродуктивності компресора холодильної машини типу ВР18х2-1-2 рефрижераторної секції РС-4 при застосуванні альтернативної сумішної композиції холодоагентів С10М1 використовуються при виконанні технічного діагностування і регулювання холодильного обладнання в умовах вагоноремонтного підприємства;

– отримані технологічні тривалості процесу охолодження ШПВ в РВ в залежності від умов транспортування, які забезпечують моніторинг енергоспоживання та визначення витрат дизельного пального рефрижераторними секціями, що сприяє економії паливно-мастильних матеріалів при перевезенні вантажів;

– удосконалено процедури діагностування і регулювання холодильного обладнання РРС, що забезпечили здійснення ремонту холодильного обладнання РВ за фактичним станом та зменшило кількість і об'єм поточного та планового видів ремонту та витрати на запасні частини.

Результати проведених досліджень і матеріали дисертаційної роботи впроваджені на експлуатаційних та ремонтній дільницях Державного підприємства Український державний центр залізничних рефрижераторних перевезень «Укррефтранс» при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті РВ, що в теперішній час експлуатуються на альтернативній сумішній композиції холодоагентів, а також у навчальному процесі підготовки студентів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційними рівнями «Спеціаліст» і «Магістр» у Державному економіко-технологічному університеті транспорту.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Мета роботи сформульована разом з науковим керівником. Автор самостійно сформулював завдання досліджень, наукові положення, провів теоретичні та експериментальні дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно у працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий:

[1] - виконана оцінка термодинамічних параметрів холодоагентів, які визначають раціональний вибір альтернативної заміни для забезпечення робочих характеристик холодильної машини;

[3] - збір даних за результатами випробувань компресорів холодильних машин, перевірка адекватності запропонованої моделі тестів;

[4] - уточнені показники комплексної оцінки ефективності холодильної установки і вантажного приміщення РВ і визначені формули для їх розрахунку.

Стаття [2] написана без співавторів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертації доповідалися, обговорювалися і отримали схвалення на:

– III міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития вагостроения» (Російська Федерація, Брянськ, 2006р.);

– 69 науково-технічній конференції з міжнародною участю «Рухомий склад та безпека руху на транспорті» (Харків, 2007р.);

– IV науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, 2007р.);

– III міжнародній науково-технічній конференції «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Російська Федерація, Санкт-Петербург, 2007р.);

– IV міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, 2008р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась та була схвалена на:

– міжкафедральному семінарі за участі кафедр Державного економіко-технологічного університету транспорту: «Вагони», «Тяговий рухомий склад», «Управління процесами перевезень», «Загальне машинознавство», «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», «Екологія та безпека життєдіяльності», а також Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України, Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагобудування», Головного управління вагонного господарства Укрзалізниці (Відділу нової техніки та випробувань вантажних вагонів і контейнерів головного управління вагонного господарства Укрзалізниці, Державного підприємства Українського державного центру залізничних рефрижераторних перевезень «Укррефтранс»)(Київ, 2009р.);

– науковому семінарі кафедри «Вагони» Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 (Харків, 2009р.).

**Публікації.** Основні положення та результати дисертації викладено в чотирьох статтях у виданнях, які входять до переліку ВАК України, з яких одна опублікована без співавторів. Інші результати – у тезах доповідей міжнародних конференцій (5).

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 7 додатків.

Повний обсяг роботи складає 154 сторінки. Робота ілюстрована 32 рисунками, наведено 18 таблиць. Список використаних джерел складає 90 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** наводиться обґрунтування обраної теми, її актуальність, показано зв'язок роботи з Державними та галузевими програмами, формулюються мета і завдання досліджень, їх наукова новизна та практичне значення, зазначаються об'єкт та предмет дослідження. Наведено дані про впровадження результатів роботи, особистий внесок автора та публікації.

**У першому розділі** наводиться огляд наукових публікацій за темою, надана оцінка стану перевезень ШПВ в РРС та оцінка досвіду використання технологій альтернативних холодоагентів в холодильному обладнанні РВ, проведено аналіз використання засобів технічної діагностики в умовах діючої системи ремонту та обслуговування РРС, обґрунтована мета та завдання дослідження.

Найбільші райони виробництва та споживання ШПВ визначили напрями та об'єми перевезень вантажів в РРС. У робочому парку РРС в основному використовуються 5- вагонні рефрижераторні секції типу РС-4 побудови Брянського машинобудівного заводу, які оснащені холодильно-опалювальними установками ВР18х2-1-2, що працюють за схемою одноступеневого стиснення, та секцій типу ЦБ-5 побудови заводу Німеччини з холодильно-опалювальними установками типу ФАЛ- 056, які працюють за схемою двоступеневого стиснення. Холодильно-опалювальні установки розраховані на використання в якості холодоагента моноречовини – хладон 12 (R12).

Наукові досягнення, зміни національних законодавств в питаннях боротьби з наслідками глобального потепління призвели до заборони використання озоноруйнуючих речовин, до яких належить R12. Згідно існуючих критеріїв відбору альтернативних холодоагентів для заміни R12 в холодильному обладнанні РРС, найбільш прийнятним рішенням є використання озонозберігаючої сумішної композиції холодоагентів на основі гідрохлорфторвуглецевих. На відміну від R12 сумішні композиції холодоагентів мають характерні для них особливості роботи, які дещо відрізняються від поведінки моноречовини.

На основі аналізу літературних джерел вітчизняних та зарубіжних вчених і спеціалістів, технічної документації на холодильне обладнання РРС встановлена недостатність досліджень характеристик холодильних машин РВ з метою удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання, яке працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів та енергетичних показників РВ в процесі експлуатації.

Робиться висновок про необхідність проведення досліджень характеристик холодильного обладнання та енергетичних показників РРС з урахуванням властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів та теплотехнічного стану огороження кузова РВ. У цьому актуальному напрямі вирішується завдання в подальших розділах дисертації.

**У другому розділі** розроблена процедура проведення досліджень стосовно підвищення ефективності функціонування РРС, виконано дослідження конструктивних особливостей, перехідних процесів, способів регулювання та характеристик холодильних машин РРС з урахуванням термодинамічної та



фазової поведінки альтернативних сумішних композицій холодоагентів. Запропонована та теоретично обґрунтована математична модель для побудови холодопродуктивності компресора холодильної машини, виконано порівняння побудованих розрахункових значень холодопродуктивності компресора на альтернативному холодоагенті C10M1 з відповідними відомими характеристиками для R12. Проведено теоретичні дослідження з удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання РВ, надана класифікація несправностей холодильного обладнання РРС і оцінка їх впливу на робочий цикл холодильної машини.

В РРС застосовуються парокompресійні холодильні установки з поршневыми напівгерметичними компресорами одно та двох ступеневого стиснення. В робочому процесі холодильної установки холодопродуктивність, що виробляється компресором за рахунок підведеної роботи, утворюється у випарнику шляхом кипіння холодоагенту при низькій температурі кипіння та тиску кипіння за рахунок відводу теплоти від вантажу, що охолоджується у вантажному приміщенні РВ. Це означає, що робота холодильної установки характеризується однаковими значеннями холодопродуктивності компресора та випарника і у перехідному процесі ця енергетична рівновага є динамічною.

Холодопродуктивність є основною зовнішньою характеристикою холодильної установки РВ, яка залежить від властивостей холодоагенту, параметрів холодильного циклу та для моноречовини R12 визначається значеннями температур конденсації та кипіння, тобто:

$$Q_0 = f(\dots) \quad (1)$$

На підставі положень термодинаміки холодильних машин РРС, які розроблені Бартошем Є. Т., залежність  $Q_0 = f(\dots)$  визначається за допомогою виразу об'ємної продуктивності компресора і має вигляд:

$$Q_0 = \dots \quad (2)$$

де  $\dots$  - коефіцієнт подачі компресора;  $\dots$  - об'єм, що описують поршні компресора за одиницю часу, м<sup>3</sup>/с;  $\dots$  - питома об'ємна холодопродуктивність пару холодоагенту, що всмоктується компресором, Дж/кг.

Аналіз величин, які містить формула (2), з урахуванням властивостей холодоагенту R12 дає підстави зробити висновок, що при постійній температурі конденсації залежність холодопродуктивності компресора у функції температури кипіння холодоагенту має не лінійний характер.

На відміну від моноречовини R12 у альтернативній сумішній композиції холодоагентів, які застосовуються в РРС, концентрації парової та рідинної фаз в умовах термодинамічної рівноваги відрізняються. Практично це означає зменшення температури конденсації при постійному тиску конденсації та незначне підвищення температури кипіння при постійному тиску кипіння. Враховуючи ці обставини, для побудови та дослідження основної зовнішньої характеристики холодильної машини, що працює на сумішній композиції холодоагентів, в дисертаційній роботі запропонована математична модель, яка відображає взаємозв'язки вихідних параметрів компресора холодильної машини та властивості альтернативної сумішної композиції холодоагентів:

$$Q_0 = \dots \quad (3)$$

$$i = 1,2; \quad x_1 = P_k; \quad x_2 = \dots$$

$$\text{тобто} \quad Q_0 = f(\dots)$$

В роботі розглянути два підходи до побудови характеристик холодильної машини РРС: регресійний та нейросітьовий. З урахуванням проведеного дослідження термодинамічних властивостей альтернативної сумішної композиції, яка застосовується в РРС, та величин, що визначають холодопродуктивність холодильної машини, в дисертаційній роботі залежність  $Q_0 = f(\dots)$  визначається на підставі об'ємної продуктивності компресора за формулою

$$Q_0 = \left( a + b \frac{P_k}{P_0} \right) V_h \cdot \dots \quad (4)$$

де  $a, b$  – емпіричні коефіцієнти ( $a = 0,855; b = 0$ );  $h_1$  – ентальпія холодоагенту перед компресором, Дж/кг;  $h_4$  – ентальпія холодоагенту після регулюючого вентиля, Дж/кг;  $\vartheta_1$  – питомий об'єм пари холодоагенту при всмоктуванні в компресор, м<sup>3</sup>/кг.

За розробленою програмою для ПЕОМ використання рівняння (4) дозволило встановити та побудувати теоретичні значення холодопродуктивності компресора холодильної машини в широкому діапазоні зміни тиску кипіння холодоагенту  $P_0$  при різних значеннях тиску конденсації (рис. 1).

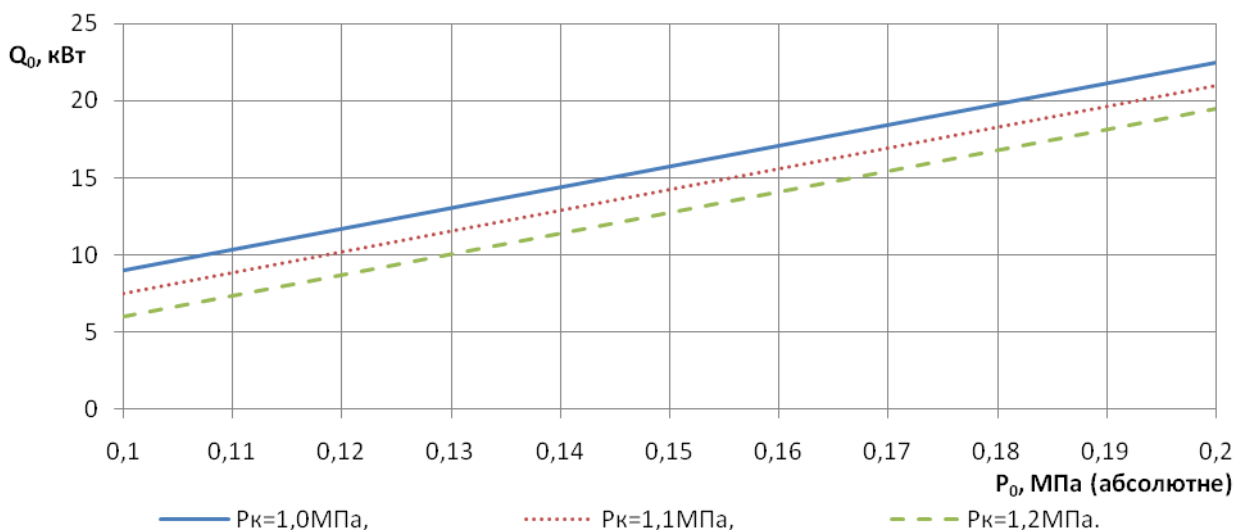


Рис. 1. Залежність холодопродуктивності компресора холодильної машини типу VR18x2-1-2 від тиску кипіння і конденсації холодоагенту C10M1 марка A.

На підставі аналізу отриманих розрахункових значень холодопродуктивності розроблена математична модель основної зовнішньої характеристики холодильної машини, що працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів, має лінійний характер та визначається залежністю:

$$Q_0 = f + \dots \quad (5)$$

де  $f$  – холодопродуктивність машини при 0,1 МПа,  $\dots$  – кутовий коефіцієнт.

Результати порівняння побудованих розрахункових характеристик холодопродуктивності на альтернативному холодоагенті C10M1 з відомими характеристиками для холодоагенту R12, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Відношення холодопродуктивності  $Q_{0C10M1}/Q_{0R12}$ 

$P_k$ , МПа	$P_0$ , МПа							
	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
1,0	1,2913	1,2284	1,2540	1,1850	1,2143	1,2396	1,2211	1,1714
1,1	1,3024	1,2803	1,2754	1,1743	1,2494	1,2217	1,2031	1,1644
1,2	1,3128	1,3072	1,2919	1,1645	1,1925	1,2159	1,1896	1,1684

Аналіз наведених значень в табл.1 дає підстави зробити висновок ,що в діапазоні тиску конденсації холодоагенту  $= 1,0...1,2$  МПа , найбільш можливому в робочому циклі холодильної машини при експлуатації РРС, холодопродуктивність компресора ,при застосуванні альтернативного холодоагенту C10M1 в середньому на 16-18% вище, ніж при R12 ,що сприяє зменшенню технологічної тривалості охолодження вантажів, які перевозяться в РВ.

З метою дослідження енергетичної ефективності роботи холодильної машини на альтернативному холодоагенті побудовані характеристики потужності , що споживається компресором холодильної машини  $N_e = f(\dots)$  та холодильного коефіцієнта  $\varepsilon = f(\dots)$

Порівняльний аналіз розрахункових характеристик на альтернативному холодоагенті C10M1 з характеристиками компресора холодильної машини ВР18х2-1-2 для R12 показав, що в діапазоні тиску конденсації  $= 1,0...1,1$  МПа холодильний коефіцієнт при застосуванні холодоагенту C10M1 в середньому на 8% вище, ніж при R12, а при збільшенні тиску конденсації зменшується в середньому на 2%.

В зв'язку з цим запропоновано при експлуатації РРС на альтернативному холодоагенті C10M1 підтримувати режими роботи холодильного обладнання значень тиску конденсації холодоагенту, які визначають раціональне енергоспоживання РВ та зменшують витрати паливно-мастильних матеріалів РРС при перевезенні ШПВ.

Розроблено та запропоновано метод діагностики холодильних систем РРС, що використовує термодинамічний аналіз, який описує за допомогою математичних моделей взаємодію між енергією, що споживається, і продуктом, що виробляється. Функції, за якими розрізняються несправності, базуються на основі термодинамічних властивостей робочих тіл, які здійснюють процеси переносу енергії і маси в системі. Такі функції розглядалися як міра розбіжності між ідеальною характеристикою до початку експлуатації обладнання і реальною характеристикою безпосередньо в процесі життєвого циклу РРС.

Для встановлення факторів, що впливають на робочий процес холодильних машин РВ, досліджені несправності, які виникають при експлуатації РРС. Надана класифікація характерних несправностей та оцінка впливу на робочий процес холодильної машини. Найбільша кількість

несправностей (більш 50% від загальної кількості) це витіки холодоагенту з системи циркуляції у випадку розгерметизації трубопроводів та арматури. Це має особливе значення, тому що при витіках існує потенціальна можливість зміни складу альтернативної сумішної композиції холодоагентів, яка застосовується в РРС, що впливає на холодопродуктивність установки РВ. Враховуючи властивості альтернативної сумішної композиції холодоагентів, запропоноване удосконалення процедури діагностування, яке передбачає функціональне діагностування для визначення основної зовнішньої характеристики холодильної машини-холодопродуктивності.

Удосконалену процедуру діагностування запропоновано використовувати при ремонті та технічному обслуговуванні для встановлення реального технічного стану холодильного обладнання, а також для здійснення регулювання холодильних машин РРС з забезпечення раціональних характеристик в процесі експлуатації.

**У третьому розділі** приведено результати аналізу енергетичних систем РРС, надана оцінка зміни теплоізоляційних характеристик кузова вагона в умовах експлуатації, досліджені особливості процесів охолодження у навантаженому і порожньому РВ, розроблено та запропонована математичну модель, яка відображає перехідні процеси тепломасопередачі в системі “наколишне середовище-рефрижераторний вагон-холодильне обладнання рефрижераторного вагона-вантаж”, отримані технологічні тривалості процесу охолодження ШПВ в РВ в залежності від умов транспортування та властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів.

Проведений аналіз показав, що зовнішні поверхні конструкцій кузова РВ є межами енергетичних систем РРС, які забезпечують тільки пасивний захист вантажу за рахунок наявності теплоізоляції і герметичності кузова.

Досліджені дві групи чинників, що впливають на процеси теплопередачі та інфільтрації кузова РВ, які постійно діють незалежно від терміну експлуатації та безпосередньо пов'язані з терміном роботи РВ від побудови або капітального ремонту.

Оцінка теплотехнічних якостей кузова РВ в процесі експлуатації здійснювалась на підставі зведеного коефіцієнта теплопередачі:

$$K_{зв} = f(a_з, a_в, \quad (6)$$

де  $a_з$  –зведений коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К;  $a_в$  –коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої обшивки, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\alpha$  –коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої обшивки до повітря у вагоні, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\beta$  –коефіцієнт інфільтрації,  $\gamma$  –коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції, Вт/мК.

Коефіцієнтами  $a_з, \alpha$  визначалась теплопередача крізь огороження

кузова РВ,  $\beta$  – інфільтрація повітря. Аналіз теплотехнічних характеристик РВ з різними теплоізоляційними матеріалами в огороженні кузова (міпорою, пінополістіролом, пінополіурітаном), способами формування теплоізоляційного шару (укладання блоків, заливки, напилювання) показав, що використання пінополіурітану при формуванні теплоізоляційного шару способом заливки, який має щільність 50 кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності 0,032...0,039 Вт/мК,

більш технологічного та вологостійкого значно стабілізувало теплотехнічні характеристики РВ. Проведені дослідження свідчать, що в умовах експлуатації РРС збільшення зведеного коефіцієнта теплопередачі кузова РВ з пінополіуретановою ізоляцією за період до виконання капітального ремонту не перевищує 20...25%, що задовольняє вимоги міжнародних норм.

В процесі перевезення ШПВ в енергетичних системах РВ відбуваються процеси тепломасопереносу, які постійно змінюють теплове і вологостне навантаження у вантажному приміщенні вагона.

Активний захист вантажу, що перевозиться в РРС, здійснює холодильна установка, яка забезпечує необхідні температурні умови транспортування ШПВ за рахунок компенсації теплонадходжень у вантажне приміщення РВ. Технологічна тривалість охолодження як порожнього, так і завантаженого РВ визначається холодопродуктивністю установки та теплофізичними характеристиками огороження кузова вагона. Для загальної оцінки ефективності холодильної машини огороження кузова вагона та РВ у цілому розроблена та запропонована математична модель системи “навколишнє середовище–рефрижераторний вагон–холодильне обладнання рефрижераторного вагону–вантаж”, яка відображається рівнянням:

$$f(a, e, c, k, d, \quad (7)$$

де  $a$  – стан об’єкту охолодження (вантаж),  $e$  – стан випарника холодильної машини,  $c$  – стан конденсатора холодильної машини,  $k$  – стан компресора холодильної машини,  $d$  – стан дроселя холодильної машини.

Стан елементів системи відображається рівнянням балансу енергії:

об’єкт охолодження (вантаж)

$$f(a) = \begin{cases} M_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = Q_a + Q_i \\ Q_a = UA_a (T_a - T_s) \end{cases} \quad (8)$$

випарник (И)

$$f(e) = \begin{cases} Q_e = \dot{m}_{comp} (h_1 - h_2) \\ Q_e = UA_e (T_w - T_s) \end{cases} \quad (9)$$

конденсатор (Кд),

$$f(c) = \begin{cases} Q_c = \dot{m}_{comp} (h_2 - h_3) \\ Q_c = UA_c (T_c - T_{a,c}) \end{cases} \quad (10)$$

компресор (К)

$$f(k) = \begin{cases} \dot{m}_{comp} = \eta_{vol} p_1 \dot{V}_d \\ \dot{m}_{comp} (h_2 - h_1) = W_{comp} - Q_i \\ W_{comp} = \frac{\dot{m}_{comp} (h_{2s} - h_1)}{\eta_s} \\ Q_{comp} = Q_f W_{comp} \end{cases} \quad (11)$$

дросель (Др)

$$f(d) = \{h_4 \quad (12)$$

де  $Q$  – теплота, Вт;  $W$  – робота, Вт;  $M$  – маса, кг;  $C_p$  – ізобарна теплоємність, Дж/кг К;  $h$  – питома ентальпія, Дж/кг;  $UA$  – добуток коефіцієнта теплопередачі на площу, Вт/К;  $\dot{m}$  – витрата холодоагенту, кг/с; індекс «а» характеризує навколишнє середовище; «w» – вантаж. Решта індексів вказана на рис. 2.

Обчислення ентальпії і ентропії виконується за рівнянням Редліха – Квонга:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{\sqrt{T}v}, \quad (13)$$

де  $p$  – тиск газу, Па;  $a$  – газова стала, Дж/кгК;  $T$  – абсолютна температура, К;  $v$  – об'єм газу, м<sup>3</sup>;  $b$  – постійні величини, які залежать від властивостей газу.

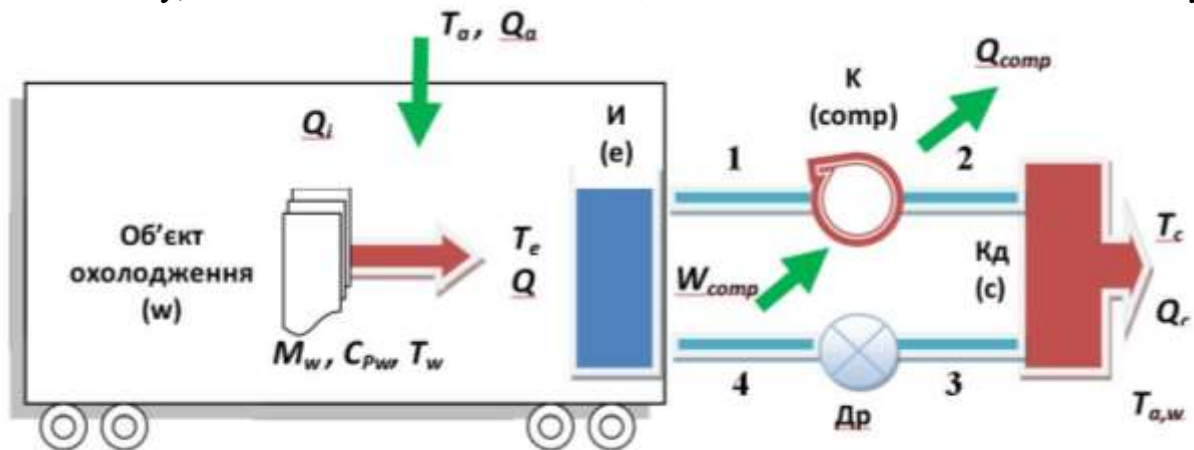


Рис. 2 – Структура енергетичної системи рефрижераторного вагону

На підставі розробленої математичної моделі (7) отримані технологічні тривалості охолодження порожнього РВ, а також технологічні тривалості охолодження ШПВ в залежності від їх виду, термічної обробки, умов транспортування та властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів С10М1. Порівняльний аналіз отриманих технологічних тривалостей охолодження вантажів з відомими технологічними тривалостями охолодження вантажів при використанні холодоагенту R12 дають підстави зробити висновок, що за рахунок збільшення холодопродуктивності холодильної установки РВ, яка працює на альтернативній сумішній композиції С10М1, технологічні тривалості охолодження вантажів зменшились у середньому на 10%, що поліпшує енергетичні показники РРС.

**В четвертому розділі** наведені результати проведених за участю автора випробувань холодильного обладнання РВ, що працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів. Досліджена адекватність розроблених математичних моделей, які використані для визначення холодопродуктивності компресора холодильної машини та перехідних процесів у системі “навколишнє середовище–рефрижераторний вагон–холодильне обладнання рефрижераторного вагону–вантаж”. Відпрацьовані технологічні процеси, які пов’язані з удосконаленням процедури діагностування холодильного обладнання, та моніторингом технологічної тривалості охолодження вантажного приміщення РВ.

Розроблена за участю автора методика випробування передбачала визначення холодопродуктивності компресора холодильної машини, технологічної тривалості охолодження порожнього вантажного приміщення РВ, удосконалення технологічних процесів діагностування та регулювання холодильного обладнання, що працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів.

У процесі випробувань отримані залежності холодопродуктивності компресора холодильних машин типу ВР18х2-1-2, що працюють на альтернативній сумішній композиції холодоагентів С10М1 і які надані на рис. 3.

За результатами випробувань були зроблені висновки про достатню збіжність отриманих експериментально та розрахункових значень холодопродуктивності холодильних машин, відхилення не перевищує 8-10%.

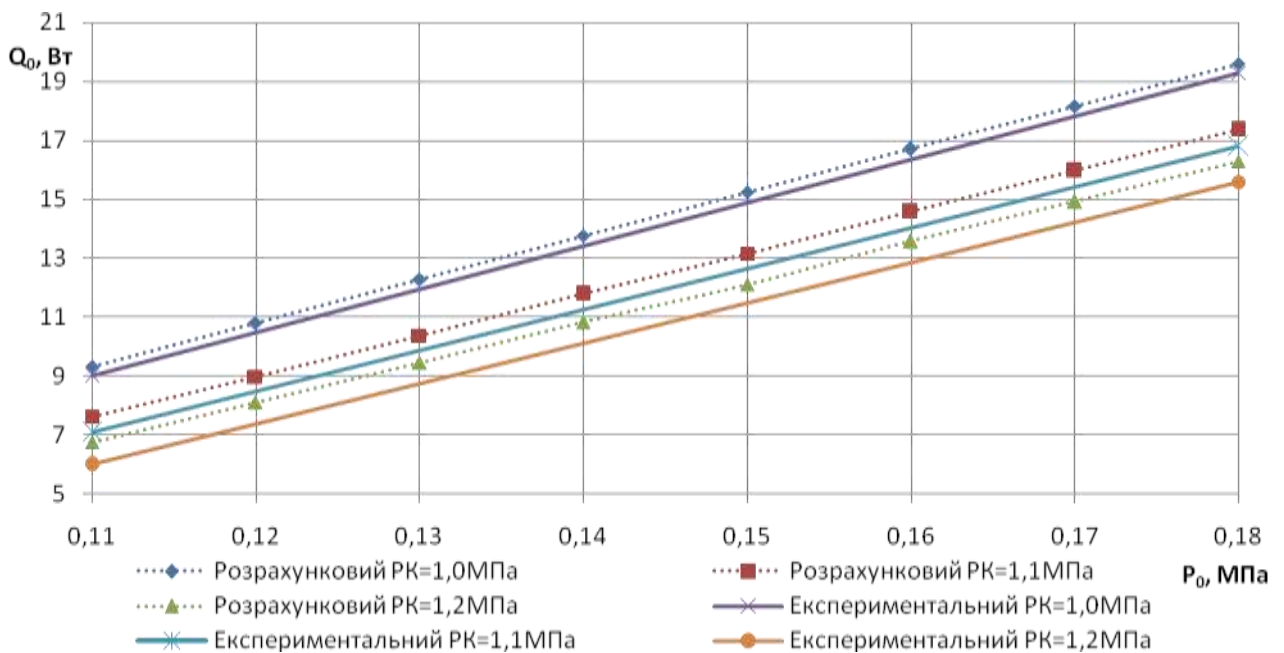


Рис. 3. Залежність холодопродуктивності компресора холодильної машини ВР18х2-1-2 від тиску кипіння  $P_0$  і конденсації  $P_K$  холодоагенту С10М1 марка А

При проведенні випробувань холодильних машин відпрацьовані технологічні процеси, які пов'язані з удосконаленням процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання РРС, що працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів, з визначення холодопродуктивності компресора та встановленню технічного стану холодильної машини.

Удосконалена процедура діагностування та регулювання холодильного обладнання складається з 5 модулів і приведена на рис. 4.

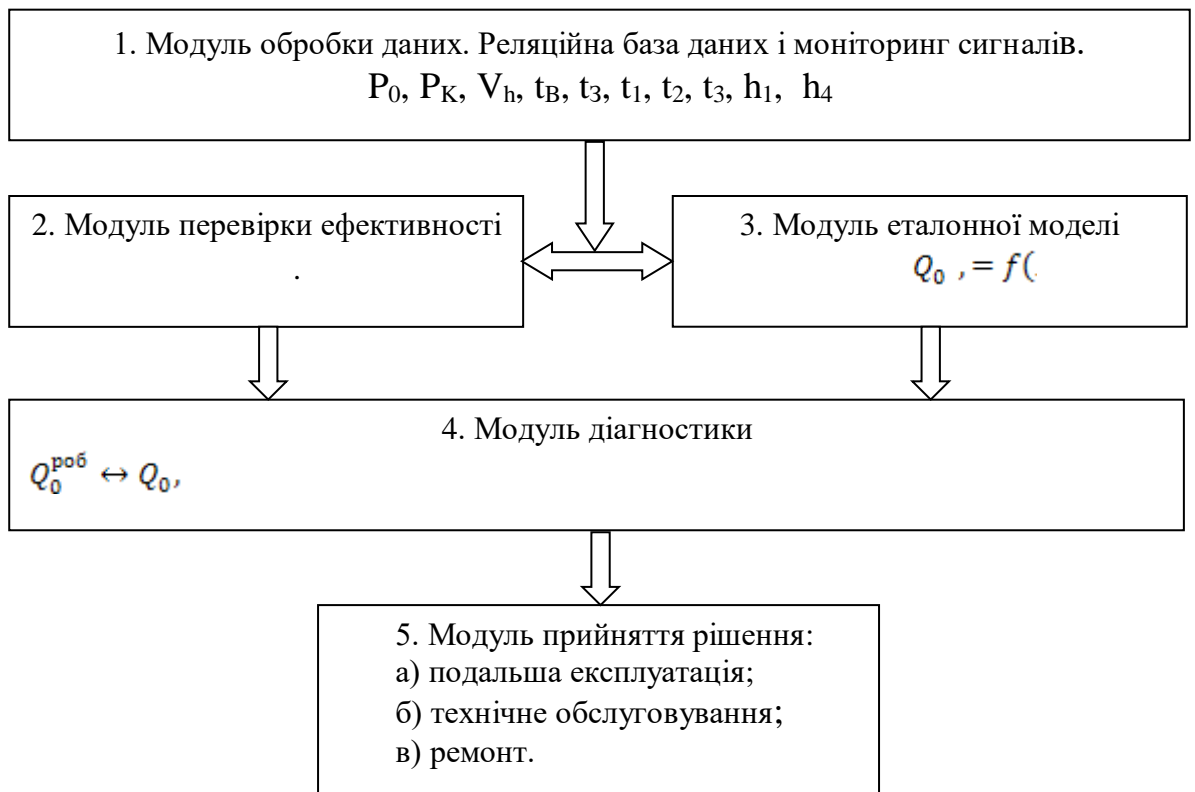


Рис. 4. Схема процедури діагностування та регулювання холодильної машини

Звичайним методом контролю загального технічного стану РВ після ремонту є отримання в вантажному приміщенні вагону температури повітря – 20°C. При цьому методі контролю не враховується технологічна тривалість процесу охолодження до заданої температури, яка свідчить про теплотехнічний стан холодильного обладнання та огороження кузова РВ.

Для підтвердження теоретичних розрахунків технологічної тривалості охолодження порожнього вагону до температури -20°C з урахуванням технічного стану холодильного обладнання та аналітично визначеному коефіцієнту теплопередачі огороження кузова РВ проведено випробування по охолодженню вантажних приміщень РВ секцій РС4 при середній температурі зовнішнього повітря +27°C.

Отримані значення технологічних тривалостей охолодження при випробуванні РВ приведені на рис. 5.



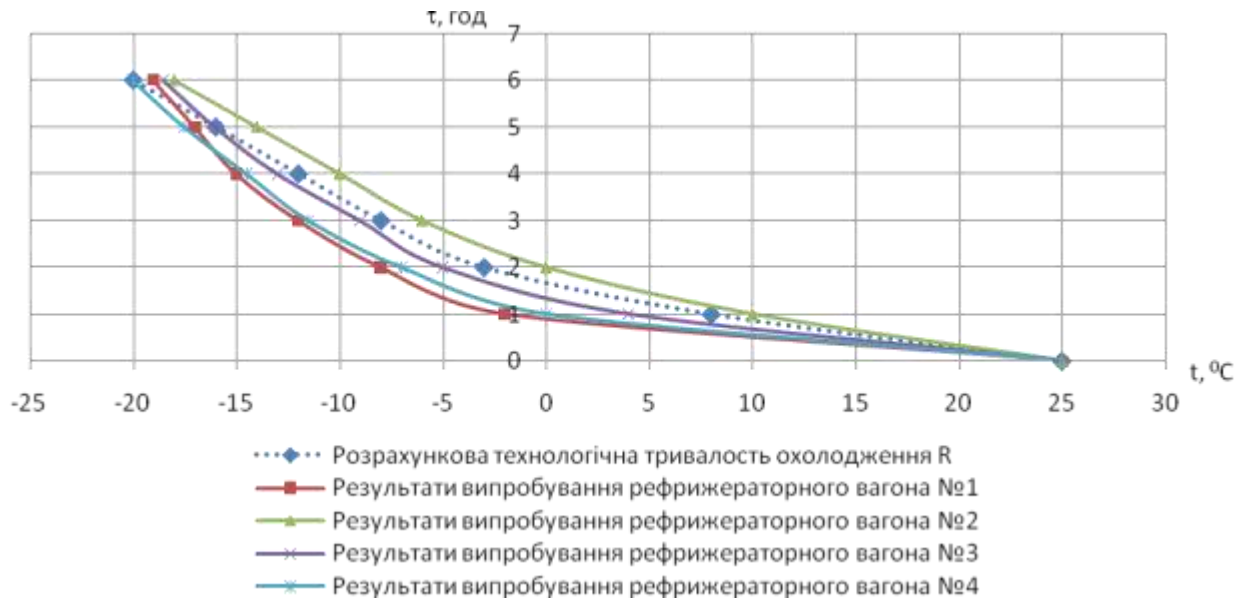


Рис. 5. Залежність технологічної тривалості охолодження порожніх вантажних вагонів рефрижераторної секції РС4 при експлуатації холодильно-опалювальної установки ВР-18х2-1-2 на альтернативному холодоагенті С10М1

Аналіз експериментальних залежностей дає підстави зробити висновок, що дійсна тривалість охолодження РВ рефрижераторної секції відрізняється від змодельованих в середньому на 10-12%. Це свідчить про незначне відхилення теоретичних досліджень від фактичного стану холодильного обладнання і теплотехнічних характеристик огороження кузову вагона.

**В п'ятому розділі** розглянута техніко-економічна ефективність і практичне впровадження результатів роботи.

Основні види ефективності результатів дисертаційної роботи наступні:

1. Науково-технічний ефект полягає у визначенні холодопродуктивності компресора холодильних машин РРС, в поліпшенні енергетичних показників РВ, скороченні часу діагностування та регулювання холодильного обладнання при застосуванні альтернативних холодоагентів.

2. Економічний ефект. Орієнтовно розрахунковий економічний ефект від впровадження науково-технічних досліджень складає 408400 грн. за один рік.

3. Соціальний ефект, який відображає зміну умов праці фахівців з діагностування та регулювання холодильного обладнання, яке працює на альтернативній сумішній композиції холодоагентів, зменшення впливу на навколишнє середовище, тощо.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичне завдання підвищення ефективності функціонування рефрижераторного рухомого складу залізниць з використанням озононеруйнуючого холодоагенту та засобів технічної діагностики.

Основні результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Надана оцінка стану перевезень швидкопсувних вантажів рефрижераторним рухомим складом залізниць та досвіду використання технологій альтернативних холодоагентів, що дозволило зробити висновок про актуальність завдання підвищення ефективності експлуатації та функціонування рефрижераторного рухомого складу з урахуванням екологічних вимог та удосконалення методів контролю його технічного стану;

2. Аналіз використання засобів технічної діагностики в умовах діючої системи ремонту та обслуговування рефрижераторного рухомого складу показав, що діагностування холодильного обладнання рефрижераторних вагонів виконується тільки при капітальному та деповському ремонтах і не застосовується при технічному обслуговуванні та в процесі експлуатації рефрижераторного рухомого складу.

3. Проведено дослідження характеристик холодильних машин рефрижераторних вагонів з урахуванням властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів, яка застосовується в рефрижераторному рухомому складі, що дозволило встановити взаємозв'язки вихідних параметрів компресора з основною зовнішньою характеристикою холодильної машини - холодопродуктивність та запропонувати визначати її залежність від тиску конденсації та кипіння холодоагенту.

4. Розроблена математична модель для визначення холодопродуктивності компресорів холодильних машин рефрижераторних вагонів, що враховує термодинамічні властивості альтернативної сумішної композиції холодоагентів, яка застосовується в рефрижераторному рухомому складі;

5. Запропоновано процедуру діагностування і регулювання холодильного обладнання рефрижераторного рухомого складу, яка забезпечила здійснення ремонту холодильного обладнання рефрижераторного вагона за фактичним станом, що зменшило кількість і об'єми поточного та планового видів ремонту та витрати на запасні частини;

6. Надана оцінка зміни теплотехнічних характеристик огороження кузова рефрижераторних вагонів в залежності від виду теплоізоляційного матеріалу, який застосовується в структурі огороження кузова, способів формування теплоізоляційного шару та терміну експлуатації вагонів, що дозволяє прогнозувати технологічні тривалості охолодження вантажів та енергоспоживання рефрижераторних вагонів при перевезенні вантажів з урахуванням теплотехнічної якості кузова вагона та властивостей альтернативної сумішної композиції холодоагентів;

7. Розроблено математичну модель взаємодії елементів в системі "навколишнє середовище – рефрижераторний вагон – холодильне обладнання рефрижераторного вагона – вантаж", яка враховує температурні умови навколишнього середовища, теплотехнічні характеристики огороження кузова вагона, холодопродуктивність холодильного обладнання та властивості вантажу;

8. На основі розроблених математичних моделей отримані аналітичні залежності: холодопродуктивності компресора холодильних машин рефрижераторних вагонів при застосуванні альтернативної сумішної композиції

холодоагентів, від тиску кипіння та конденсації, що дозволило удосконалити процедуру діагностування та регулювання холодильного обладнання в умовах вагоноремонтного підприємства та при технічному обслуговуванні рефрижераторного рухомого складу; технологічної тривалості процесів охолодження вантажів, які дозволяють визначити енергоспоживання рефрижераторних секцій в залежності від зовнішніх температурних умов транспортування, термічної підготовки вантажу, теплотехнічного стану рефрижераторного вагону та його холодильного обладнання;

9. Запропоновано метод проведення моніторингу технологічної тривалості процесів охолодження вантажів та енергоспоживання рефрижераторного рухомого складу, що враховує теплотехнічні показники огороження кузова вагона, термодинамічні характеристики холодильного обладнання та властивості вантажів під час їх перевезення;

10. Розроблено та запропоновані рекомендації щодо оцінки термодинамічної ефективності холодильних машин при використанні альтернативної сумішної композиції холодоагентів, що дозволяє при застосуванні засобів технічної діагностики визначити технічний стан холодильного обладнання та здійснити процедуру регулювання, яка забезпечує раціональні характеристики холодильних машин та рефрижераторного вагону в цілому.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати дисертації опубліковані у наступних фахових виданнях України, які затверджені ВАК.

1. Ищенко В.Н. Термодинамические аспекты альтернативной замены холодильного агента в холодильных системах подвижного состава. / В.Н.Ищенко, Н.С. Брайковская // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технології транспорту – 2005. – С. 53-57.

2. Ищенко В.М. Анализ функционирования рефрижераторных секций у современных условиях эксплуатации. / В.М.Ищенко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту – 2007. – Вип. 86. – С. 155-160.

3. Ищенко В.Н. Прогнозирование энергетических характеристик холодильных компрессоров на основе искусственных нейронных сетей. / В.Н.Ищенко, И.Н.Красновский, А.А.Самсоненко [та ін.] // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технології транспорту – 2007. – Вип. 11. – С. 137-142.

4. Ищенко В.Н. . Энергетическая эффективность рефрижераторных вагонов для перевозки скоропортящихся грузов. / В.Н.Ищенко, Н.С. Брайковская. // Одеська державна академія холоду. Холодильна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. – 2007. №5 (109) – С. 40-46.

Окремі матеріали дисертації викладено у додаткових працях.

5. Ищенко В.Н. Анализ внешних характеристик холодильной установки рефрижераторных вагонов в условиях эксплуатации. / В.Н.Ищенко,

Н.С.Брайковская // Проблемы и перспективы развития вагоностроения. Тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГТУ, 2006. – С. 19-21

6. Ищенко В.Н. Нейросетевое прогнозирование характеристик холодильных компрессоров на основе калориметрических тестов. / В.Н.Ищенко, И.И.Красновский, А.А.Самсоненко [та ін.]. // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології. Збірник наукових праць IV науково-технічної конференції – Одеса: ОДАХ, 2007. – С. 62-63.

7. Ищенко В.Н. Конструктивные особенности установок кондиционирования воздуха пассажирских вагонов. / В.Н.Ищенко // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління. Тези доповідей першої науково-практичної конференції. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 24.

8. Ищенко В.Н. Железнодорожный рефрижераторный вагон для перевозки скоропортящихся грузов как энергетическая система / В.Н.Ищенко, Н.С.Брайковская. // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Материалы III Международной научно-технической конференции. - Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2007. – С. 173-178.

9. Ищенко В.Н. Оценка характеристик холодильной установки рефрижераторных вагонов при эксплуатации на альтернативном хладагенте / В.Н.Ищенко // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 66-68.

## АНОТАЦІЯ

Ищенко В.М. Підвищення ефективності функціонування рефрижераторного рухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2009.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності функціонування рефрижераторного рухомого складу за рахунок використання альтернативного холодоагента і засобів технічної діагностики.

В теперішній час, з визначенням хладона 12 (R12) озоноруйнуючою речовиною, яка використовувалась впродовж багатьох років як холодоагент в холодильних системах рефрижераторних вагонів, застосовується альтернативний холодоагент C10M1, який на відміну від моноречовини R12 є сумішною композицією холодоагентів.

Запропоновано та теоретично обґрунтовано математична модель для визначення холодопродуктивності компресора холодильних машин рефрижераторного рухомого складу при застосуванні альтернативної сумішної композиції холодоагентів. Використання отриманих значень холодопродуктивності компресора дозволило удосконалити процедуру

діагностування та регулювання холодильних машин рефрижераторних вагонів, що працюють на альтернативному холодоагенті.

Розроблена математична модель взаємодії елементів в системі «навколишнє середовище – рефрижераторний вагон – холодильне обладнання рефрижераторного вагону – вантаж», яка дозволяє дослідити вплив експлуатаційних факторів на процеси технологічної тривалості охолодження вантажів і енергоспоживання рефрижераторних вагонів.

Удосконалено метод моніторингу технологічної тривалості охолодження вантажів та енергоспоживання рефрижераторного вагону, при застосуванні альтернативного холодоагенту, що сприяє визначенню резервів економії паливно-мастильних матеріалів при транспортуванні вантажів в рефрижераторному рухомому складі.

Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Державному підприємстві Український державний центр залізничних рефрижераторних перевезень «Укррефтранс», в Державному економіко-технологічному університеті транспорту.

Ключові слова: рефрижераторний рухомий склад, азоноруйнуюча речовина, альтернативна сумішна композиція холодоагентів, холодильна машина, математична модель, технологічна тривалість охолодження, енергоспоживання, діагностика, моніторинг.

## АННОТАЦИЯ

Ищенко В.Н. Повышение эффективности функционирования рефрижераторного подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков, 2009.

Диссертация посвящена повышению эффективности функционирования рефрижераторного подвижного состава за счет использования альтернативного хладагента и средств технической диагностики.

Рефрижераторные вагоны являются одним из наиболее сложных в техническом отношении типов подвижного состава эксплуатируемых на железных дорогах, так как помимо ходовых частей и кузова они оснащены сложным холодильным, дизельным и электрическим оборудованием.

В настоящее время с признанием хладагента хладона-12 (R12) азоноразрушающим веществом, который на протяжении многих лет применялся в качестве рабочего тела в холодильных системах рефрижераторного подвижного состава, согласно существующих критериев выбору альтернативных хладагентов наиболее приемлемым решением по замене R12 предоставляется использование смесевых композиций хладагентов на основе гидрохлорфторуглеродов. В отличие от R12 смесевые композиции хладагентов имеют характерные для них особенности, несколько отличающиеся по поведению от моновеществ. В этой ситуации актуальным является не только

решение научной задачи по обеспечению работоспособности, а также повышение эффективности функционирования рефрижераторного подвижного состава при их эксплуатации на альтернативной смесевой композиции хладагентов.

Это вызывает необходимость проведения исследований характеристик холодильных установок, энергетических показателей рефрижераторного подвижного состава с учетом теплотехнического состояния ограждения кузова рефрижераторных вагонов и свойств альтернативной смесевой композиции хладагентов.

Предложена и теоретически обоснована математическая модель для определения холодопроизводительности компрессора, которая является основной внешней характеристикой холодильной установки рефрижераторного вагона при использовании в качестве альтернативного рабочего тела смесевой композиции хладагентов. Полученные характеристики позволили усовершенствовать процедуру диагностирования и регулирования холодильных машин рефрижераторного подвижного состава работающего на альтернативном хладагенте

Для оценки общей эффективности холодильной машины, ее привода, ограждения кузова вагона и рефрижераторного вагона в целом разработана математическая модель системы «окружающая среда –рефрижераторный вагон–холодильное оборудование рефрижераторного вагона– груз».Предложенная математическая модель позволяет определить технологическую продолжительность охлаждения скоропортящихся грузов и оценить энергопотребление рефрижераторного вагона.

Усовершенствован метод мониторинга технологической продолжительности охлаждения груза и энергопотребления рефрижераторного вагона. При эксплуатации холодильного оборудования на альтернативной смесевой композиции хладагентов, усовершенствованный метод мониторинга, способствует рациональному расходу горючесмазочных материалов рефрижераторными секциями при транспортировке скоропортящихся грузов.

Результаты диссертационной работы приняты к использованию в Государственном предприятии Украинский государственный центр железнодорожных рефрижераторных перевозок «Укррефтранс», в Государственном экономико-технологическом университете транспорта.

Ключевые слова: рефрижераторный подвижной состав, азоноразрушающее вещество, альтернативная смесевая композиция хладагентов, холодильная машина, математическая модель, технологическая продолжительность охлаждения, энергопотребление, диагностика, мониторинг.

## THE SUMMARY

Ischenko V.N. Increase of efficiency of functioning of refrigerator mobile composition. It is Manuscript.

Dissertation on competition of scientific candidate degree of technical sciences on a speciality 05.22.07 - a rolling stock of railways and train tractions; Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkov, 2009.

Dissertation is devoted to the increase of efficiency of functioning of refrigerator mobile composition due to the use of alternative refrigerant and facilities of technical diagnostics.

The criteria of estimation of alternative are set ozonesaving refrigerant for the refrigeration systems of refrigerator carriages taking into account strategy and technical norms of choice of working bodies for refrigerator mobile composition. The methods of replacement of working bodies in the refrigeration systems of refrigerator mobile composition, which do not foresee what or structural changes of aggregates and replacement of compressor butter, are adapted.

A mathematical model for construction of descriptions of refrigeration machine is specified, allowing to perfect procedure of diagnosing and adjusting of refrigeration equipment during his exploitation on the alternative mixture of refrigerant..

A mathematical model allowing is developed to expect duration of processes of cooling of loads and energy consumption of refrigerator carriages .The method of monitoring of rate of cooling of energy consumption of refrigerator carriage is improved allowing to set backlogs of economy of power mediums of refrigerator mobile composition.

Dissertation job performances are accepted to the use in the State enterprise the Ukrainian state center of the railway refrigerator transportations «Ukrreftrans», in the State Economy-technological University of Transport.

Keywords: refrigerator rolling stock, refrigeration machine, refrigerant, description, energy consumption, diagnostics, monitoring.

Іщенко Вадим Миколайович

УДК 629.463.125

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
РЕФРИЖЕРАТОРНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

Стецько А.А.

---

Підписано до друку «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р.  
Формат паперу А5, папір для тиражувальних апаратів, друк на різнографі.  
Замовлення № \_\_\_\_\_. Тираж 100.

Надруковано Редакційно-видавничим центром  
Державного економіко-технологічного університету транспорту,  
03049, м. Київ – 49, вул. Миколи Лукашевича, 19.