

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Хоменко Ірина Юріївна

УДК 629.454.2.048.3/7

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА
ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПРИ
КАПІТАЛЬНИХ РЕМОНТАХ**

Спеціальність: 05.22.07 — рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2014

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор
Савчук Орест Макарович —
професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна.

Офіційні опоненти — доктор технічних наук, професор
Мартинів Ігор Ернстович,
Українська державна академія
залізничного транспорту, завідувач кафедри «Вагони»;

кандидат технічних наук, професор
Могила Валентин Іванович,
Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля,
інститут транспорту і логістики,
завідувач кафедри „Залізничний транспорт”.

Захист відбудеться «__» _____ 2014 р. о __ годині в ауд. 314 на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському
національному університеті залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна за адресою вул. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, 49010.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна.

Автореферат розісланий «__» _____ 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.820.02,
д.т.н., проф.

І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах поступової інтеграції України в міжнародну транспортну систему забезпечення високого рівня комфорту перевезення пасажирів набуває великого значення.

Більша частина пасажирських вагонів, що експлуатуються на українських залізницях, побудовано у 70-80рр. минулого століття і термін їх служби закінчується. Збереження чисельності пасажирського вагонного парку досягається шляхом проведення капітального ремонту старих вагонів з продовженням терміну їх служби чи закупівлею нових. Нові вагони є більш комфортабельними, але їх вартість значно вище ніж вартість відремонтованих. За умов обмеженого фінансування виконання відновлювальних ремонтів не лише вагоноремонтними заводами, але й залізницями залишається основним засобом підтримання парку вагонів у потрібній кількості. У цих умовах актуальною являється задача забезпечення вагонів після модернізації сучасними системами життєзабезпечення, в тому числі і системою кондиціонування повітря. Більше половини парку пасажирських вагонів Укрзалізниці не обладнано такими системами. Це переважно вагони некупейного типу, які і перевозять основну масу пасажирів. Ті ж вагони, які обладнані кондиціонерами (купейні, спальні), побудовані в НДР ще без застосування сучасних енергозберігаючих технологій. Ремонтпридатність та ресурс обладнання, встановленого на цих вагонах, достатньо високі. Але слід зазначити, що конструктивні рішення 40-річної давнини морально застаріли, а ремонт і експлуатація зношеного обладнання з кожним роком обходиться все дорожче.

Таким чином, значна частина вагонів пасажирського парку потребує модернізації із застосуванням сучасних систем життєзабезпечення і зокрема систем енергетичного та холодильного обладнання.

Перспективним напрямком для реалізації цієї задачі є обладнання пасажирських вагонів запропонованими системами життєзабезпечення з двогенераторною незалежною схемою електропостачання. Це дозволить значно покращити умови перевезення пасажирів. Водночас досягається зниження металоємності, значно спрощується процес модернізації, а сама модернізація має суттєво меншу вартість у порівнянні зі встановленням існуючих систем. Крім того, така модернізація може бути використана і для поступового переходу на живлення від високовольтної магістралі. Тому дисертаційна робота, що спрямована на удосконалення енергетичного і холодильного обладнання пасажирських вагонів з поліпшеними техніко-економічними характеристиками, є актуальною та своєчасною для залізничного транспорту України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до концепції та програми реструктуризації на залізничному транспорті України, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 651-р 2006 року, що діє до 2015 року та відповідає

транспортній стратегії України на період до 2020 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 2174-р 2010 року. Робота проводилася відповідно до держбюджетної науково-дослідної теми Міністерства освіти України «Удосконалення техніко-економічних показників пасажирського рухомого складу» (номер держреєстрації 0112U003561). Дисертація також пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи за договором №ПР/Л-08 823/НЮ від 4 серпня 2008р. на проведення випробувань пасажирського вагона відкритого типу № 046-20043, дообладнаного системою кондиціонування повітря при роботі кондиціонера в режимах теплового насоса та охолодження. Автор виступив одним з виконавців цієї науково-дослідної роботи.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертації є покращення умов комфортності пасажирів за рахунок удосконалення енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести аналіз існуючого стану систем життєзабезпечення пасажирських вагонів, в яких джерелом живлення є підвагонний генератор;
- проаналізувати публікації, присвячені дослідженням нестационарних теплових процесів;
- проаналізувати можливості забезпечення температурного режиму в вагоні при малих швидкостях руху з використанням альтернативних способів підтримки температурного режиму в вагоні;
- розробити математичну модель нестационарних теплових процесів у вагоні для дослідження різних конструктивних рішень системи життєзабезпечення;
- визначити ефективність різних способів підтримки температурного режиму в вагоні при нестационарних умовах;
- визначити оптимальну економічність кондиціонера при модернізації з використанням двогенераторної схеми енергозабезпечення;
- визначити та проаналізувати фактори, що впливають на стійкість системи електропостачання кондиціонера при запропонованій двогенераторній схемі;
- забезпечити стійку роботу системи електропостачання у ланцюгу додаткового генератора;
- дослідити можливість удосконалення системи управління генератором;
- вивчити можливість збільшення потужності генератора з приводом від торця осі колісної пари;
- забезпечити надійну роботу привода генератора від торця осі колісної пари;
- розробити математичну модель для розрахунку перепадів температур повітря по висоті купе вагона при подачі нагрітого повітря через

систему вентиляції для дослідження особливостей роботи кондиціонера на плацкартному вагоні в режимі теплового насоса;

- визначити умови, при яких доцільно використання режиму теплового насоса для опалення вагона, модернізованого із застосуванням двогенераторної системи енергозабезпечення;
- впровадити у виробництво результати дисертаційних досліджень.

Об'єктом дослідження є процеси нестационарного тепло- і масообміну та перехідні процеси при роботі електрообладнання пасажирських вагонів.

Предметом дослідження є ефективність роботи систем енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів.

Методи досліджень. Дослідження нестационарних теплових процесів в середині вагона при роботі кондиціонера на різних режимах виконані з побудовою математичної моделі процесу на основі методу елементарних балансів, що є поодиноким випадком метода скінчених елементів. Для визначення оптимальної економічності кондиціонера для системи життєзабезпечення на основі двогенераторної схеми застосовано метод векторної оптимізації. Для вивчення особливостей циркуляції повітря в приміщеннях вагона використано метод визначення параметрів роботи кондиціонера в режимі теплового насоса на основі математичного моделювання. Більшість інших нескладних досліджень прикладного характеру виконувалася з використаннями обкатних стендів, вимірювальної техніки та інструменту.

Наукова новизна результатів. У результаті виконання досліджень отримано наступні наукові результати:

- Вперше досліджені альтернативні способи підтримки температурного режиму в вагоні при малих швидкостях руху і їх ефективність; встановлено, що такі способи є конкурентоздатними. Це дозволило відмовитися від використання енерговитратного режиму роботи кондиціонера від акумуляторних батарей.
- Вперше теоретично обґрунтовано і експериментально перевірено роботу додаткового генератора двогенераторної незалежної системи енергозабезпечення зі змінною напругою, що дозволило повніше використовувати його потужність, у тому числі при швидкостях вагона менших 40 км/год.
- Удосконалено математичну модель теплових процесів у вагоні в динаміці шляхом використання методу елементарних балансів, що дозволило підвищити її точність та дало можливість легко вводити і виводити до неї додаткові елементи. Завдяки чому досліджено теплотехнічний стан у салоні за різних умов та порівняно роботу різних систем життєзабезпечення пасажирських вагонів.
- Набули подальшого розвитку визначення додаткових факторів, що впливають на стабільність роботи системи енергозабезпечення вагона. Встановлено, що значний вплив на стійкість системи здійснює режим роботи перетворювача. Доведено, що оптимальним при

використанні двогенераторної незалежної схеми енергозабезпечення є такий режим, коли вихідна частота перетворювача пропорційна його вхідній напрузі.

Практична цінність дисертації полягає у вирішенні актуального питання: покращення умов комфортності пасажирів за рахунок удосконалення енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів. Цього вдалося досягти завдяки комплексному дослідженню і вдосконаленню системи життєзабезпечення пасажирських вагонів на основі двогенераторної незалежної схеми електропостачання.

Розроблено блок регулювання напруги генератора, в якості регулюючого органа якого використано перетворювач частоти. Застосування такого блока забезпечує якісне регулювання напруги генератора у вагоні з двогенераторною незалежною системою енергопостачання.

Окремі результати дисертаційних досліджень були впроваджені у виробництво у Синельниківському пасажирському вагонному депо (акт впровадження від 30.09.2011р.), а також Інститутом силової електроніки (м. Київ) (акт впровадження від 08.02.2012р.).

Особистий внесок здобувача полягає в плануванні та проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі отриманих результатів, розробці нових конструктивних рішень. Результати виконаних досліджень містяться у роботах [1-16]. Роботи [2-6, 8, 11-16] виконано самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, здобувачеві належить наступне:

[1] – проведено порівняльний аналіз систем енергозабезпечення, що використовуються на пасажирських вагонах та двогенераторної системи енергозабезпечення. Участь у випробуваннях дослідного вагона з двогенераторною схемою енергопостачання;

[7] – участь у розробці стенда для випробування кондиціонерів з використанням розробленого автором регулятора напруги;

[9] – запропоновано в якості регулюючого органу блока регулювання напруги використати сучасний перетворювач частоти. Участь у випробуваннях дослідного зразка;

[10] – участь в обробці результатів випробувань.

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (м. Дніпропетровськ 2009р.), 70-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ 2010р.), міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні наукові розробки» (м. Софія, Болгарія 2011р.); 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті» (м. Жденієво 2011р.); 72-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ 2012р.), 73-й міжнародній науково-

практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ 2013р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалася на засіданні міжкафедрального наукового семінару Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна за участю представників кафедр «Вагони та вагонне господарство», «Прикладна математика», «Комп'ютерні інформаційні технології», «Електротехніка та електромеханіка», а також членів вченої ради.

Публікації. За результатами проведених досліджень за темою дисертації опубліковано 16 робіт, у тому числі: 5 статей в спеціалізованих наукових виданнях, що входять у перелік ВАК України, 1 стаття у спеціалізованому виданні, яке зареєстроване у міжнародних наукометричних базах, 1 стаття у спеціалізованому іноземному виданні, 2 патенти на корисні моделі, 7 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів з висновками та загальних висновків. Основний текст дисертації викладено на 125 сторінках, в тому числі 8 таблиць, 32 рисунки, список використаних джерел – на 15 сторінках, додатки – на 8 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 148 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи та основні задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети, приведено основні наукові положення та результати, які винесено на захист та практичну цінність отриманих результатів, а також подано дані про апробацію і публікації матеріалів досліджень.

Перший розділ присвячений аналізу сучасного стану пасажирських вагонів Укрзалізниці, а особливо їх систем життєзабезпечення. Крім того, розглядається ефективність технічних рішень, направлених на вдосконалення конструкції вагонних систем енергетичного та холодильного обладнання як в Україні, так і в РФ. Було проведено аналіз існуючих систем електропостачання, що використовуються при обладнанні вагонів системами кондиціонування повітря. Розглянуто переваги, недоліки і перспективи кожної з них. Зроблено висновок зупинитися на дослідженні саме генераторних схем електропостачання, враховуючи масовість такої конструкції. Детально проаналізовано генераторні системи електропостачання вагонів без та з кондиціонуванням повітря. Крім того, розглянуто перетворювачі різних конструкцій, які використовуються для живлення сучасних систем кондиціонування. За результатами даного дослідження автором робиться висновок, що основним стримуючим фактором оснащення ненових вагонів системами кондиціонування є висока

ціна модернізації, що обумовлена використанням складного та дорогого привода генератора та системи енергозабезпечення.

Здешевити модернізацію в 4-5 разів можна використавши двогенераторну незалежну систему енергозабезпечення вагона. На найближчу перспективу така схема поза конкуренцією у співвідношенні ціна-якість. Модернізація з використанням високовольного перетворювача майже вдвічі дорожча, але, враховуючи тенденцію зменшення ціни на електроніку і можливість зниження енергоспоживання вагона, через деякий час може стати конкурентною. Тому розробку обладнання для модернізації за двогенераторною схемою бажано виконувати з урахуванням цих факторів. Здешевлення двогенераторної схеми стало можливим завдяки появі більш економічного вагонного обладнання. Випробування дослідних зразків вагонів, модернізованих з використанням двогенераторної схеми підтвердили достатньо високу її ефективність. Також вони показали, що окремі складові мають свої недоліки, дослідження і усунення яких може суттєво вплинути на якість роботи системи в цілому. У цій роботі досліджується двогенераторна незалежна схема, при якій додатковий генератор самостійно забезпечує живленням двигун компресора кондиціонера. Така схема у дослідному варіанті реалізована в Україні, має ряд переваг при модернізації і не порушує функціонування штатного вагонного обладнання.

У зв'язку з тим, що двогенераторна незалежна схема суттєво поступається тим, які зазвичай використовуються на вагонах з кондиціонуванням, за потужністю, виникла необхідність дослідити можливість як збільшення потужності додаткового генератора, так і можливість заміни неекономічних режимів менш енерговитратними. Потребує уваги також стабільність та надійність роботи електрообладнання додаткового генератора. Крім того, необхідно визначити сферу застосування теплонасосного опалення, стосовно вагонів, модернізованих із застосуванням двогенераторної системи енергозабезпечення.

У **другому розділі** дисертації викладені теоретичні та експериментальні дослідження системи життєзабезпечення на основі двогенераторної незалежної схеми енергопостачання для старотипних вагонів при обладнанні їх сучасними кондиціонерами.

Для порівняння і аналізу можливих варіантів виконання системи життєзабезпечення, як окремо кожного конструктивного рішення, так і їх поєднання виникла потреба у більш досконалих математичних інструментах.

Методи математичного моделювання широко застосовуються на сучасному етапі для оцінки ефективності різних конструктивних рішень. Таке моделювання дозволяє якісно відтворити реальну роботу обладнання та вплив на неї різних факторів. Сучасні методи розрахунку теплообмінних та масообмінних процесів базуються на диференціальних рівняннях руху, нерозривності, теплопровідності та дифузії, що були отримані для малих об'ємів середовища.

Згідно багатьох джерел з фізичної точки зору пасажирський вагон, обладнаний системою кондиціонування повітря, являє собою відкриту саморегулюючу термодинамічну систему. Параметри, що контролюються в такій системі, це: температура t , вологість ϕ і склад повітря у вагоні. Для управління ними використовується атмосферне повітря, що примусово прокачується крізь вагон та кондиціонер.

При побудові розрахункової моделі було зроблено ряд припущень:

- Температурне поле повітря в основній, центральній зоні купе, завдяки вільній та вимушеній конвекції, залишається близьким до рівномірного, не дивлячись на доволі низьку теплопровідність повітря.
- Процеси тепло- та масообміну розглядаються як такі, що проходять незалежно один від одного.
- Тепловий потік від сонячного випромінювання підводиться безпосередньо до внутрішнього об'єму купе (тобто моделюється як об'ємне джерело тепла).
- Потік холодного повітря G_x від кондиціонера або акумулятора холоду, що потрапляє до вагона з температурою t_x , відносною вологістю ϕ_x та питомою ентальпією i_x , моментально перемішуючись всередині вагона, здатний поглинати теплоту нагрітих внутрішніх стінок і перегородок, а також тепло- і вологовиділення пасажирів. Тобто, тепловий потік, що поглинається кондиціонером, розглядаємо як об'ємний витік теплоти.

Тепловий потік, що поглинається повітрям за час перебування всередині вагона, визначає зміну температури повітря та складається з наступних складових:

$$mc_p \frac{dt}{d\tau} = Q_{ст} + Q_{пром} + Q_{вн} + Q_{вип} - Q_{охол},$$

Де t , m і c_p – температура, маса та теплоємність повітря в купе;

τ – час;

$Q_{ст}$ – тепловий потік від стінок та інтер'єру купе;

$Q_{пром}$ – тепловий потік від сонячного випромінювання;

$Q_{вн}$ – тепловий потік від внутрішніх джерел теплоти;

$Q_{вип}$ – тепловий потік від випаровування вологи пасажирями;

$Q_{охол}$ – тепловий потік від кондиціонера, що іде безпосередньо на охолодження внутрішнього об'єму купе і визначається як різниця між $Q_{зп}$ – теплоприпливом від зовнішнього повітря, що подається до купе та $Q_{конд}$ – тепловий потік, що поглинається кондиціонером.

З іншого боку, розповсюдження тепла в елементах конструкції вагона зумовлене характерними для твердих тіл процесами теплопровідності і в загальному випадку описується рівнянням:

$$c_k \rho_k \frac{\partial t_k}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda_k \text{grad} t_k),$$

де c_k – теплоємність;

ρ_k – густина;

t_k – температура;

λ_k – теплопровідність. Індекс k відносить величини до k -го елемента.

Граничні умови, що визначають теплообмін між поверхнею елементів конструкції і повітрям у середині купе та зовні вагона, мають вигляд:

$$\left(\lambda_{cm} \frac{\partial t_{cm}}{\partial n} \right)_F + \alpha (t_{nos} - t_{cm}) = 0,$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, t_{nos} і t_{cm} – температура повітря та стінки відповідно, F – поверхня контакту, n – напрям вектора теплового потоку.

Секундний приплив тепла в елемент визначається умовами теплообміну на його границях або умовами на границі між елементами конструкції і та j .

$$\left(\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{i,F} = - \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{j,F},$$

де $t_{ij}=t_{ji}$ (умова неперервності температури);

індекс F відносить величини до поверхні контакту між елементами F_{ij} .

Різницева апроксимація температури на кордоні базується на уявленні про лінійну зміну температури на відрізку δ_{ij} по нормалі між центром мас i -го елемента і поверхні контакту:

$$\frac{\partial t}{\partial n} = \frac{t_i - t_{ij}}{\delta_{ij}}.$$

З урахуванням граничних умов, рівняння теплового балансу для елемента конструкції приймає вигляд

$$m_i c_i \frac{dt}{d\tau} = \sum_{j=1}^{N_{nb,i}} b_{ij} (t_j - t_i),$$

де

$$b_{ij} = \frac{F_{ij}}{(r_{ij} + r_{ji})},$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \alpha^{-1}, & \text{коли } i - \text{тий елемент - внутрішній об'єм купе} \\ \frac{\delta_{ij}}{\lambda_{ij}}, & \text{коли } i - \text{тий елемент - елемент конструкції} \end{cases},$$

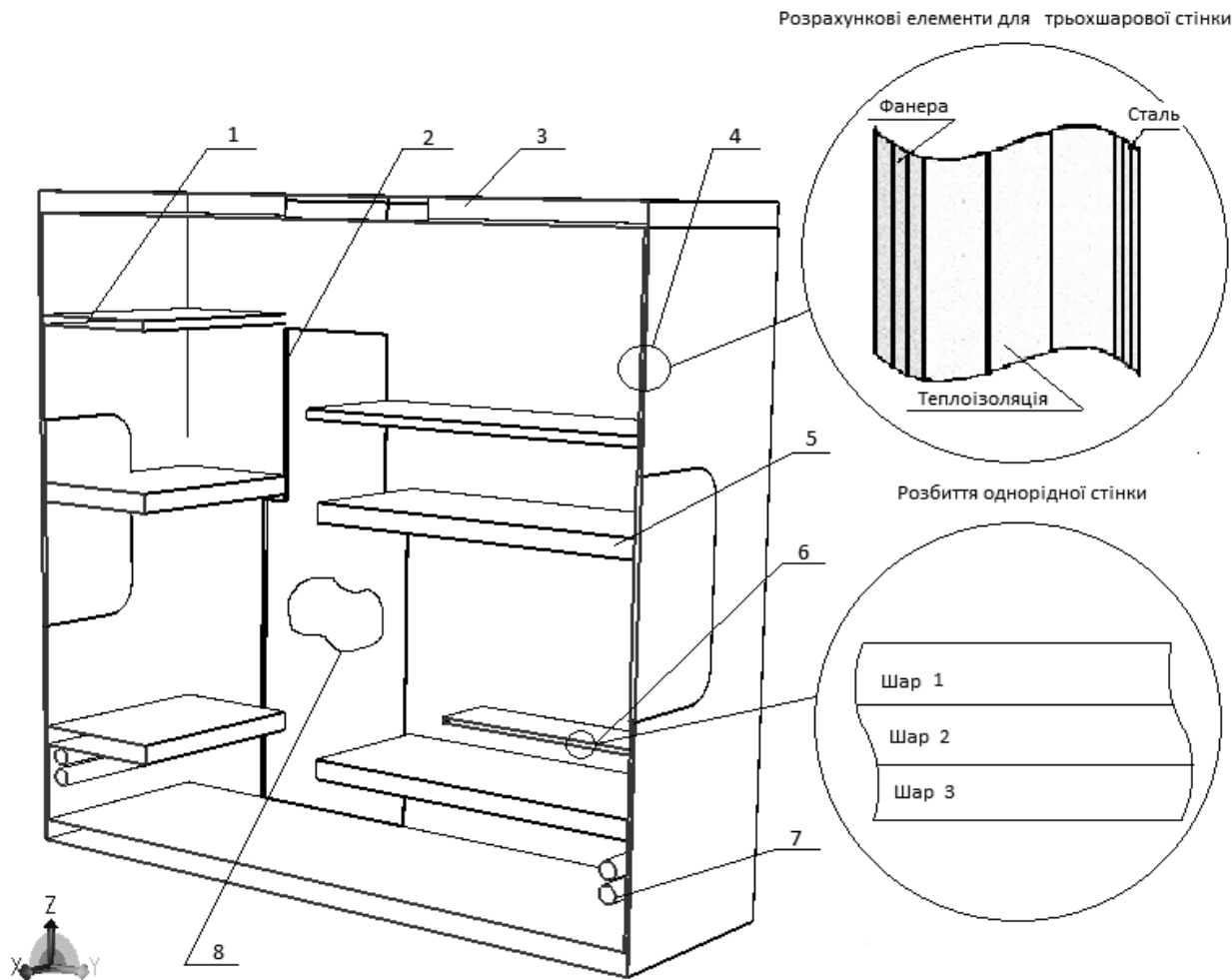
а в число сусідів $N_{nb,i}$ можуть входити як елементи конструкції, так і внутрішній об'єм купе.

Рівняння теплового балансу для внутрішнього об'єму повітря у вагоні в такому випадку приймає вигляд:

$$m c_p \frac{dt}{d\tau} = \sum_{j=1}^{N_{nb,i}} b_{ij} (t_j - t_i) + Q_{пром} + Q_{вн} + Q_{аит} - Q_{конд} + G_3 \rho (i_3 - i_6).$$

Наведені рівняння описують теплові процеси, що досліджуються. Для вирішення складеної системи диференціальних рівнянь обрано метод

елементарних балансів. Величина часового кроку розрахунку обиралася з умови квазірівноваги процесу. Було складено тривимірну модель пасажирського салону вагона, основний принцип побудови моделі пояснює рисунок 1.



1 – багажна полиця ($c = 0.435 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

2 – внутрішня перегородка ($c = 2.5 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

3 – стеля ($c_1 = 0.435 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], c_2 = 0.879 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], c_3 = 2.512 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

4 – зовнішня стіна ($c_1 = 0.435 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], c_2 = 0.879 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], c_3 = 2.512 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

5 – спальна полиця ($c = 1.256 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

6 – стіл ($c = 2.512 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

7 – труби системи опалення ($c = 0.435 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$);

8 – внутрішнє повітря ($c = 1.005 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$).

Рисунок 1 – Тривимірна модель відкритого купе плацкартного вагона

Купе вагона подається у вигляді набору скінчених елементів (елементарних об'ємів), з яких «зібрані» найбільш великі елементи конструкції купе вагона (зовнішні стінки), інтер'єру і внутрішні перегородки, а також елемента, що описує внутрішній об'єм повітря в купе, як систему з зосередженими параметрами. В якості граничних умов задані: об'ємний витік тепла від кондиціонера (величина якого може змінюватися відповідно до заданої циклограми роботи кондиціонера), теплоприплив від оточуючого середовища внаслідок конвективного і променевого теплообмінів і теплоприпливи від пасажирів і внутрішнього обладнання вагона.

Зовнішні стінки вагона моделювалися 3-х шаровими: зовнішній шар – металева оболонка, далі теплоізоляція на основі базальту та фанера. Кожен шар в свою чергу розбивався на 3 розрахункові елементи. Внутрішні перегородки моделювалися однорідними і також поділялися на три елементи. Складові інтер'єру вагона задаються спрощено у вигляді набору прямокутних елементів, що мають характерну товщину, масу та поверхню теплообміну.

За описаною моделлю було складено комп'ютерну програму.

Для оцінки точності отриманої моделі було використано дані санітарно-гігієнічних випробувань пасажирського вагона № 035-12936, проведених лабораторією «Вагони» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Результати моделювання та санітарно-гігієнічних випробувань погоджуються на 90%, що свідчить про достатню достовірність результатів моделювання.

Складена розрахункова модель дає змогу моделювати зміни температури у вагоні на нестационарних теплових режимах; досить легко вводити та виводити до розрахункової схеми додаткові елементи. Це дозволяє проводити оцінку різних схем та конструктивних рішень системи життєзабезпечення вагона шляхом математичного експерименту, що й було використано у подальших дослідженнях. За допомогою створеної комп'ютерної програми було обчислено зміну температури у вагоні протягом рейсу, спираючись на діючі графіки руху поїздів. Враховано залежність потужності кондиціонера від швидкості руху поїзда для різних конструктивних рішень системи життєзабезпечення.

На рисунку 2 надано порівняння динаміки набору температури під час одиничної зупинки потяга. Вертикальні лінії I і II на рисунку 2 відповідають зміні швидкості нижче або вище 30 км/год відповідно. Лінія 1 відповідає вагону з кондиціонером, що вимикається при швидкості нижче 40 км/год. Лінія 2 – вагону, обладнаному системою МАБ-II, яка забезпечує роботу кондиціонера на 30% потужності при швидкостях менших за 40 км/год. Лінія 3 – вагону, в якому використовується двогенераторна незалежна схема енергопостачання, що забезпечує роботу кондиціонера на 50% потужності у діапазоні швидкостей 30-40 км/год. Лінія 4 – аналогічно 3 з використанням системи опалення як акумулятора холоду. Лінія 5 – аналогічно 3 з додатковим акумулятором холоду ємністю 100 л. Лінія 6 відповідає вагону з двогенераторною незалежною схемою та акумулятором холоду об'ємом 10 л.

з використанням фазового переходу води в кригу. Аналіз графіків на рисунку 2 приводить до висновку, що у цьому разі ефективність акумуляторів холоду близька до ефективності кондиціонера, що працює на третину потужності.

Розраховано динаміку зміни температурного режиму для кількох поїздів під час їх руху за графіком у літній період ($t_{\text{повітря}} = 30-35^\circ \text{C}$) по Придніпровській залізниці. Приклад одержаних графіків $\langle t_{\text{вн}} - \text{час} \rangle$ показаний на рисунку 3. Лінії 1-6 відповідають тим самим вагонам, що і на рисунку 2. Зміна швидкісного режиму потяга відповідає реальному графіку руху.

Згідно з проведеними розрахунками було зроблено висновок, що всі типи акумуляторів холоду позитивно впливають на зміну температури у вагоні при непрацюючому кондиціонері. Одним з найбільш ефективних є акумулятор холоду з фазовим переходом. При інтегруванні його безпосередньо у випарник він може виявитися і найдешевшим, навіть з урахуванням більш складного регулювання роботи системи кондиціонування.

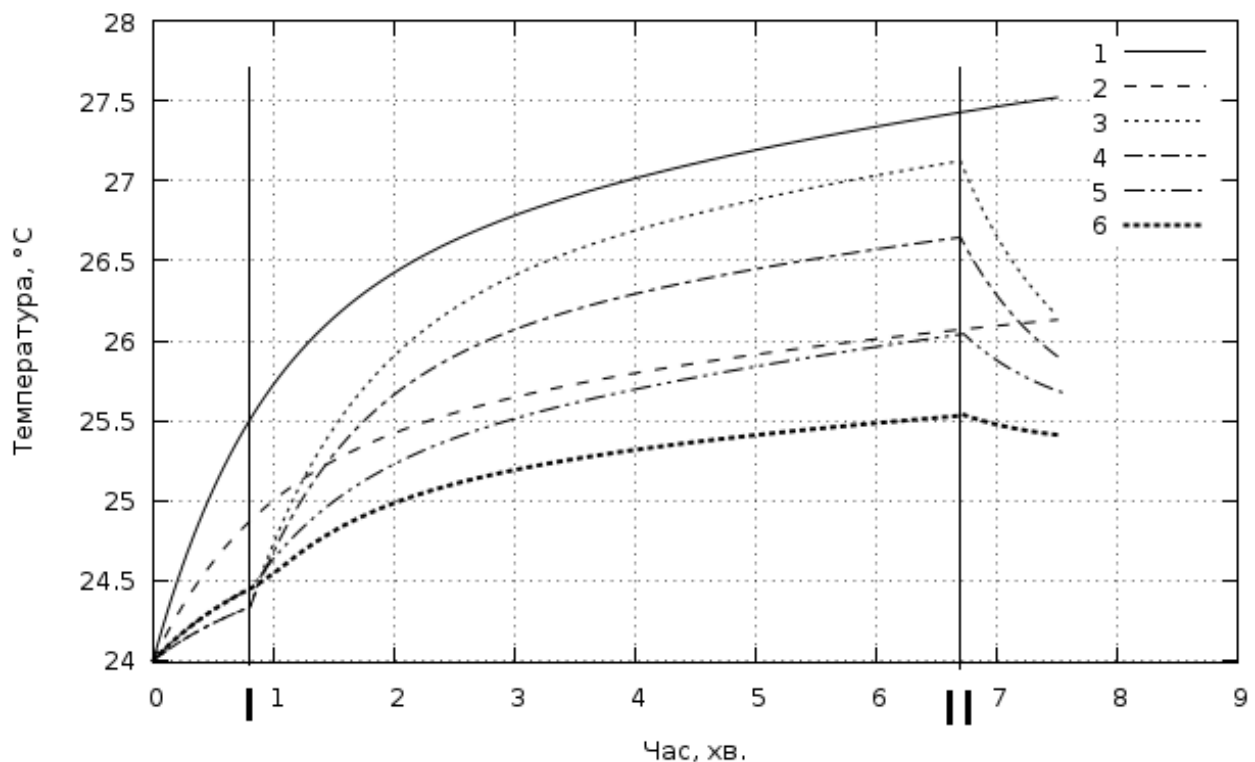


Рисунок 2 – Зміна внутрішньої температури у вагоні під час зупинки

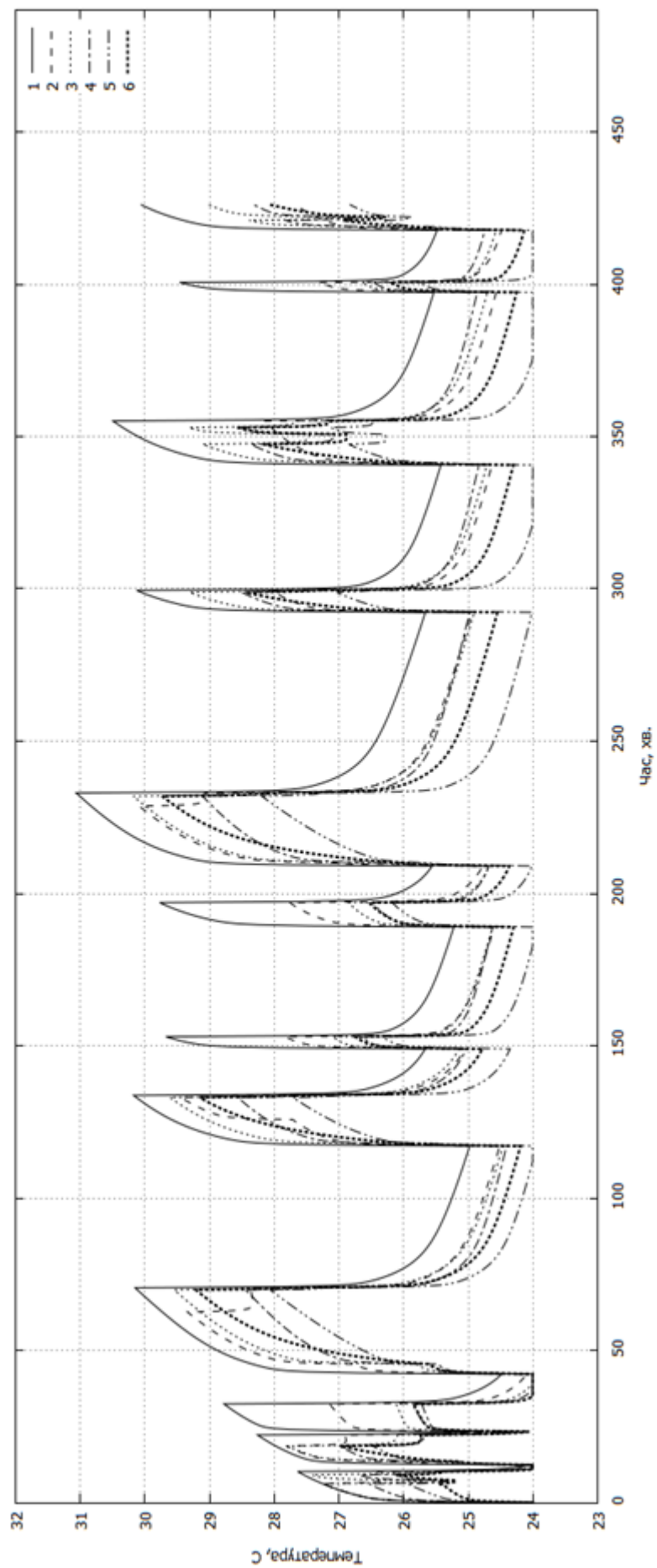


Рисунок 3 – Зміна внутрішньої температури в купе вагона протягом рейсу

Оскільки потужність генератора на малих швидкостях руху обмежується, буде обмежуватися і холодопродуктивність кондиціонера. Чим менш економічний кондиціонер, тим при більших швидкостях буде починатися зменшення обертів його компресора і тим триваліше воно буде. Продуктивність більш економічного кондиціонера буде обмежуватися значно менше, але і вартість його буде вищою.

Номінальна холодопродуктивність кондиціонера вагона повинна складати 30 ± 2 кВт. Потужність, що споживається компресором, визначається його холодильним коефіцієнтом (EER) та складе $\frac{30}{EER}$ кВт. У залежності від значення EER потужність кондиціонера почне обмежуватися при падінні швидкості нижче деякого значення і буде обмежуватися до досягнення швидкості 30 км/год, коли кондиціонер вимкнеться. Таким чином, ми можемо визначити величину «втрат» холодопродуктивності кондиціонера у порівнянні з ідеальним випадком, коли генератор на всьому діапазоні швидкостей від 55 до 30 км/год видає потужність, достатню для забезпечення номінальної холодопродуктивності кондиціонера.

Тобто, втрати холодопродуктивності можна обчислити за формулою:

$$L = \frac{N_H \cdot \tau - N_{\text{сер}} \cdot \tau'}{N_H \cdot \tau} \cdot 100\%,$$

де N_H – потужність генератора, що забезпечує номінальну холодопродуктивність кондиціонера;

$N_{\text{сер}}$ – середня потужність генератора в діапазоні швидкостей, коли його потужність падає нижче N_H ;

τ – час, протягом якого потяг рухається зі швидкістю меншою за 55 км/год;

τ' – час, коли потужність генератора падає нижче N_H .

Автором було отримано апроксимаційні залежності від значення холодильного коефіцієнту для втрат холодопродуктивності

$$L = -3.019 + \frac{872.13}{EER^4},$$

та для вартості кондиціонерів

$$C = 81.01 + 1.16 \cdot EER^3.$$

Результат апроксимації показано на рисунках 4 – 5.

З математичної точки зору вирішується задача визначення такого холодильного коефіцієнту, щоб втрати холодопродуктивності $L(EER)$ і витрати $C(EER)$ були якомога меншими. Іншими словами, приходимо до задачі векторної оптимізації.

$$\begin{pmatrix} L(EER) \\ C(EER) \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

За умови $EER > EER_{min}$, де EER_{min} – мінімальне значення холодильного коефіцієнту, при якому потрібна холодопродуктивність кондиціонера забезпечується на швидкості 55 км/год.

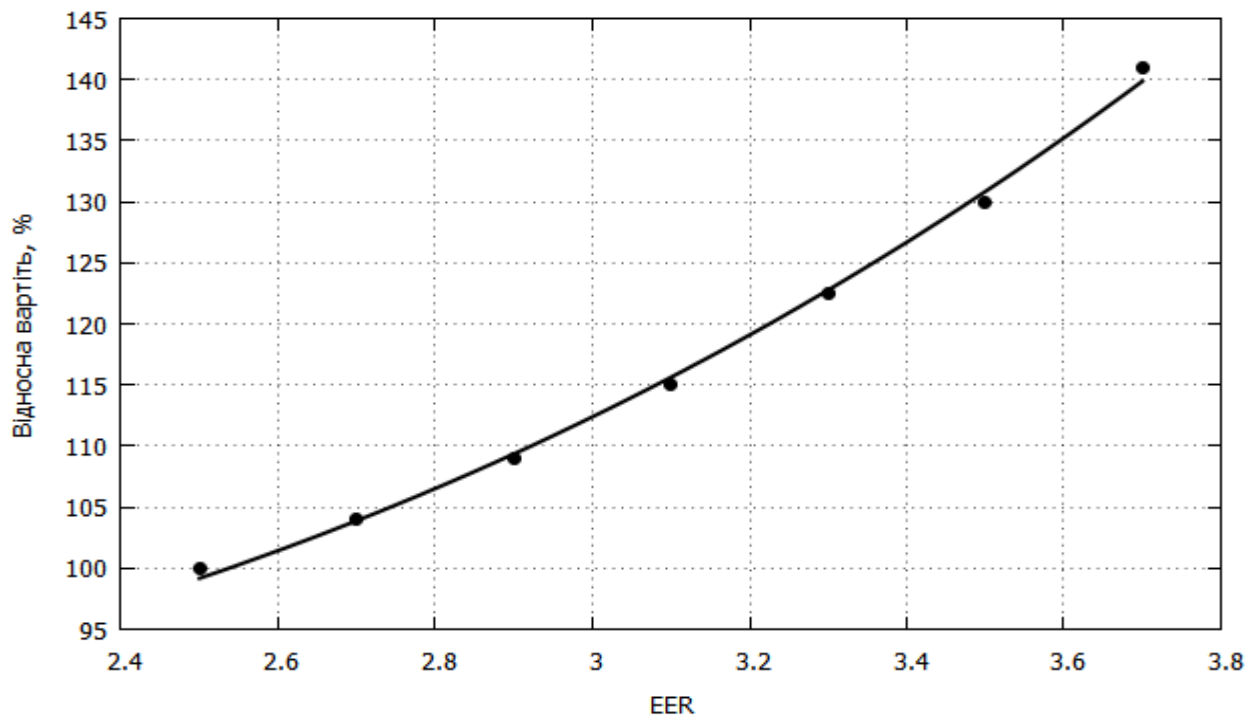


Рисунок 4 – Апроксимація залежності вартості кондиціонерів від холодильного коефіцієнту

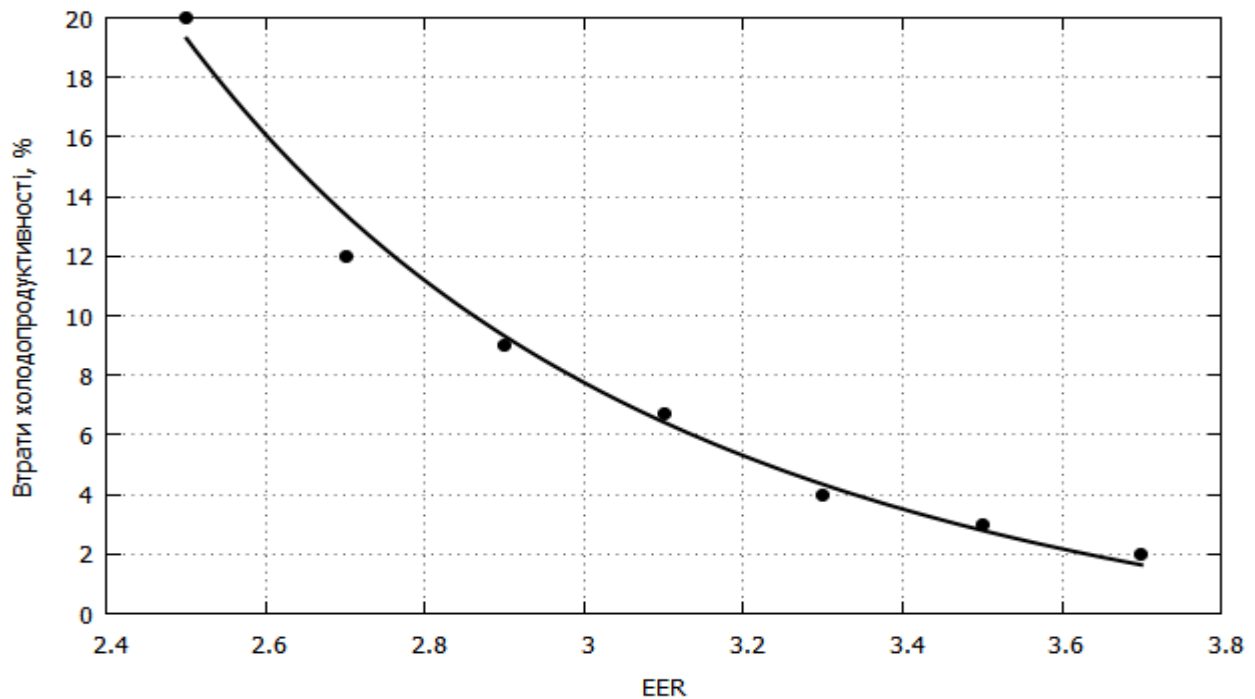


Рисунок 5 – Апроксимація втрат холодопродуктивності в залежності від холодильного коефіцієнту

Необхідна умова ефективності у нашому випадку приймас вигляд

$$\frac{dL(EER)}{dEER} + \lambda \frac{dC(EER)}{dEER} = 0, \lambda > 0.$$

Підставивши наведені вище залежності та виконавши усі необхідні математичні перетворення, одержуємо:

$$L = -3.019 + \frac{45191.86}{(16.62 \cdot C - 1346.55)^{4/3}}.$$

Дана формула встановлює зв'язок між вартістю кондиціонера та втратами холодопродуктивності при малих швидкостях руху (рисунок 6).

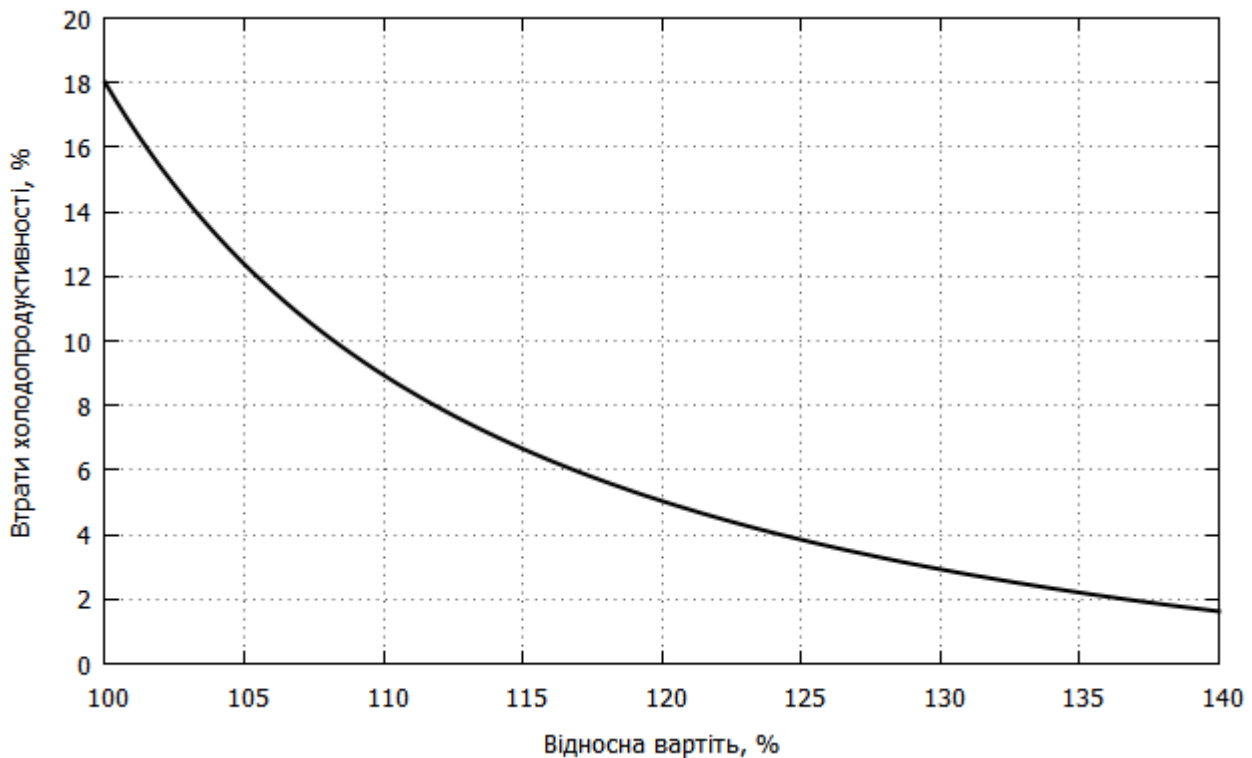


Рисунок 6 – Залежність втрат холодопродуктивності від вартості кондиціонера

Моделювання та розрахунки виконані в пакеті програм Maple-7.

Таким чином, як це впливає з одержаної залежності (рисунок 6), зі збільшенням EER втрати холодопродуктивності зменшуються спочатку суттєво, а потім незначною мірою, але при цьому значно зростає ціна. Тому оптимальними для роботи від генераторів з приводом від торця осі колісної пари є холодильні машини, холодильний коефіцієнт яких знаходиться у межах 2,9...3,2.

У **третьому розділі** дисертації досліджуються особливості роботи електрообладнання з двогенераторною незалежною схемою енергозабезпечення.

Зазвичай у вагонах з власним енергопостачанням кондиціонер споживає не більше 50% потужності, що здатен забезпечити вагонний генератор, тому це навантаження не впливає критично на його роботу, а

акумуляторна батарея (АБ) є стабілізуючим фактором, що зменшує комутаційні відхилення напруги. У двогенераторній незалежній схемі додатковий генератор не має запасу потужності. З цієї причини бажано не підзаряджати батарею від цього генератора. Такі умови роботи спочатку призвели до виникнення в ланцюгах додаткового генератора дослідного вагона гармонійних незатухаючих коливань напруги, уникнути яких не вдавалося зміною налаштувань штатного регулятора. Це робило систему непрацездатною і призводило до пошкодження обладнання. Автором був проведений комплекс випробувань з метою вивчення впливу різних факторів і налаштувань обладнання на стійкість системи, в результаті яких з'ясувалося, що основним дестабілізуючим фактором є режим роботи перетворювача. Більшість перетворювачів, які живлять компресор вагонного кондиціонера, підтримують на виході стабільні параметри частоти і напруги (за виключенням перехідних режимів). Якщо є запас потужності генератора, то це цілком виправдано. Перетворювач, що працює за таким принципом, навіть при незначному зменшенні напруги генератора, зменшує вхідний опір, компенсуючи зниження напруги збільшенням струму. Збільшення струму в основній обмотці генератора додатково розмагнічує магнітну систему генератора, провокуючи подальше падіння напруги. При збільшенні напруги відбувається зворотній процес. Інерційність магнітної системи генератора не дозволяє недосконалому регулятору, що працює за пропорційним принципом, адекватно реагувати на зміну параметрів і, постійно працюючи в ролі «доганяючого», він сприяє дестабілізації системи.

У дисертації представлено теоретичний аналіз причин нестійкої роботи системи енергозабезпечення та запропоновано інший режим роботи перетворювача, який до цього не застосовувався в схемах живлення вагонних кондиціонерів. Він полягає в тому, що вихідна напруга і частота перетворювача пропорційні вхідній напрузі, тобто вихідні параметри перетворювача керуються напругою генератора. Керуючий сигнал 0-10 В формується завдяки трьохфазному трансформатору та випрямлячу. Двигун компресора при зміні частоти струму пропорційно змінює потужність, що споживається. У наслідок чого при зміні режимів роботи як двигун так і генератор працюють при незмінному струмові. При такому режимі роботи перетворювача керованість системи значно покращилась і навіть штатний регулятор напруги забезпечив нормальну роботу обладнання, що і було підтверджено лабораторією «Вагони» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при проведенні випробувань дослідного зразка вагона.

Крім того, досліджувалася можливість збільшення потужності додаткового генератора і його привода. Слід зазначити, що потужність модернізованого вагонного генератора, виготовленого на базі штатного, була дещо збільшена. Автором запропонований режим роботи генератора при змінній напрузі. Зазвичай вагонні генератори досягають номінальної напруги при швидкостях вагона близьких до 40 км/год і за цих умов уже здатні нести

навантаження. Подальше збільшення швидкості призвело б до збільшення напруги генератора і виходу з ладу споживачів енергії, оскільки обладнання вагона не розраховане на роботу при різних напругах. Тому напруга і потужність генератора обмежуються при збільшенні його обертів регулятором напруги.

Перетворювач частоти може працювати в широкому діапазоні вхідних напруг, у зв'язку з цим автором запропонований режим роботи генератора, при якому його напруга і зв'язно потужність, при збільшенні обертів будуть зростати доти, доки не досягнуть заданої величини і тільки тоді почнуть обмежуватися. У роботі були наведені приклади практичної реалізації такого режиму, при якому задана потужність генератора досягається при швидкостях 52-55 км/год, а тільки тоді обмежується. Запропонований режим роботи дозволяє обладнанню працювати і при швидкостях менших за 40 км/год зі зниженням потужності.

Режими обладнання, потужність якого фактично керується напругою генератора, неможливо реалізувати за допомогою недосконалого штатного регулятора напруги. Автором запропонована і випробувана конструкція регулятора напруги генератора, виготовленого на базі сучасного перетворювача частоти. Такий вибір пояснюється як можливостями даного виробу, який має досконалу систему регулювання з диференціальною та інтегральною складовими, так і умовами уніфікації. Оскільки в системах живлення кондиціонерів крім потужних перетворювачів для живлення двигунів компресорів можуть використовуватися і малопотужні для живлення двигунів вентиляторів.

Механічний привод генератора типу ТРК (ТК) від торця осі виявився придатним для двогенераторної незалежної системи. Автором проведені випробування привода із збільшенням потужності і надійності за рахунок використання пасів ХРС і підтверджена надійна робота привода.

Таким чином, проведені дослідження дозволили адаптувати до вимог двогенераторної незалежної схеми все додаткове електрообладнання, що, крім наукового, має і суттєве прикладне значення.

Четвертий розділ дисертації присвячений дослідженню роботи кондиціонера в режимі теплового насоса, який приваблює високою економічністю, достатньо хорошими гігієнічними характеристиками, невисокою різницею вартості кондиціонера, обладнаного такою функцією, порівняно з кондиціонером, що працює тільки на охолодження.

Робота кондиціонера в режимі теплового насоса стала нормою для більшості побутових та напівпромислових кондиціонерів. У той же час використання такого режиму на вагонних кондиціонерах обмежене. Випробування дослідного зразка вагона з двогенераторною незалежною схемою енергозабезпечення, кондиціонер якого працював у режимі теплового насоса, показали, що при такому режимі порушуються санітарні норми через недопустимі перепади температур у салоні. Причина полягає у тому, що вентиляційна система вагона розрахована на верхню подачу холодного

повітря. Коли ж подається тепле (більш легке) повітря, то в нижній зоні купе циркуляція недостатня. Складена математична модель встановлює залежність перепаду температур в салоні від температури повітря, що подається через систему вентиляції. Чим повітря тепліше, тим перепад більше. Перепад нормується санітарними нормами, це дозволяє визначити граничні показники температури припливного повітря, при яких норми порушуватися не будуть. Знаючи температуру припливного повітря, визначається потужність опалення, необхідна для її забезпечення, а також гранична температура зовнішнього повітря, при якій кліматична установка може видати цю потужність. Для плацкартного вагона вона складає 10-12° С. Зі зниженням температури зовнішнього повітря енергоефективність роботи кондиціонера в режимі теплового насоса зменшується. Крім того, кондиціонер не може конкурувати з електричним котлом опалення, який використовує суттєво дешевшу електроенергію з контактної мережі. Виходячи з цих факторів, автор робить висновок, що використання кондиціонера в режимі теплового насоса економічно доцільне в перехідний період, коли не працює електричне опалення вагона. Причому для цього не потрібно модернізувати систему вентиляції. Використання ж кондиціонера в зимовий період економічно не вигідне.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених експериментальних та теоретичних досліджень у дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-практичне завдання покращення умов комфортності пасажирів за рахунок удосконалення енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів, а саме: застосування економічних кондиціонерів і двогенераторної незалежної системи енергозабезпечення з поліпшеними характеристиками та раціональними режимами роботи обладнання. Основні наукові результати та висновки дисертації полягають в наступному:

1. За результатами аналізу існуючого стану систем життєзабезпечення пасажирських вагонів та конструктивних рішень, направлених на їх удосконалення, обґрунтована доцільність використання для модернізації вагонів двогенераторної схеми енергопостачання. При цьому досягається висока якість життєзабезпечення пасажирів з одночасною економією енергоресурсів і витрат на модернізацію вагонів. На перехідний період (до створення універсальної системи поїзного електропостачання вагонів) рекомендовано використовувати двогенераторну систему електропостачання з торцевим приводом, яка комплексно досліджена у дисертації з експериментальним підтвердженням.

2. Виконано огляд досліджень нестационарних теплових процесів та математичних моделей, які для цього використовувалися. Обґрунтована необхідність створення математичної моделі нестационарних теплових процесів у пасажирському вагоні, яка б дозволила оцінювати ефективність

різних конструктивних рішень системи життєзабезпечення та порівнювати їх між собою.

3. За результатами аналізу роботи системи кондиціонування пасажирського вагона при непрацюючому генераторі встановлено, що режим роботи кондиціонера від АБ є занадто енерговитратним, а тому його використання небажане для системи життєзабезпечення на основі двогенераторної схеми. Досліджена можливість заміни неекономічного режиму роботи системи кондиціонування від АБ при малих швидкостях руху на більш економічні, а саме: подовження роботи кондиціонера від генератора до швидкості 30 км/год та використання акумуляторів холоду. Дослідження показали, що альтернативні способи підтримки температурного режиму в вагоні на малих швидкостях руху є конкурентоздатними.

4. Розроблено математичну модель, що характеризує нестаціонарні теплообмінні процеси у пасажирському вагоні, для дослідження різних конструктивних рішень системи життєзабезпечення. Створена та апробована комп'ютерна програма для моделювання перехідних теплових процесів у вагоні, яка може бути використана при проведенні досліджень щодо удосконалення системи життєзабезпечення вагона.

5. Порівняно ефективність різних способів підтримки температурного режиму в вагоні при малих швидкостях руху на реальних маршрутах. Встановлено, що запропоновані акумулятори холоду дозволяють поліпшити температурний режим у вагоні при непрацюючому кондиціонері.

6. За допомогою метода векторної оптимізації знайдено залежність втрат холодопродуктивності від вартості кондиціонера при роботі від додаткового генератора у двогенераторній незалежній схемі. Враховуючи співвідношення цих параметрів, встановлено, що оптимальними для роботи від генераторів з приводом від торця осі колісної пари є холодильні машини, холодильний коефіцієнт яких знаходиться у межах 2,9...3,2. Проведені дослідження дозволяють вибрати холодильну машину для системи життєзабезпечення на основі двогенераторної незалежної системи енергопостачання з урахуванням співвідношення показників ціна/якість.

7. За результатами аналізу факторів, що впливають на стійкість системи енергозабезпечення встановлено, що значний вплив на стійкість системи енергопостачання у ланцюгу додаткового генератора здійснює режим роботи перетворювача.

8. Забезпечено стійку роботу системи енергопостачання у ланцюгу додаткового генератора двогенераторної незалежної схеми енергозабезпечення. Це стало можливим за рахунок використання режиму роботи перетворювача, коли його вихідна частота і напруга пропорційні його вхідній напрузі. Проведені дослідження дозволили покращити стабільність роботи системи енергозабезпечення додаткового генератора, від якого здійснюється живлення електродвигуна компресора кондиціонера. Також у результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що завдяки зміні коефіцієнту зв'язку між вхідною напругою

перетворювача та його вихідною частотою і напругою можна впливати на стабільність роботи системи енергозабезпечення.

9. Підвищено точність регулювання напруги додаткового генератора за рахунок використання розробленого регулятора напруги на базі перетворювача частоти, який дозволяє здійснювати ефективне управління генератором як із постійною вихідною напругою, так і зі змінною і має у своєму складі як пропорційну, так і диференціальну та інтегральну складові. Підвищення точності регулювання є дуже важливим для двогенераторної системи життєзабезпечення, бо сприяє забезпеченню надійної роботи ланцюга додаткового генератора. Результати проведених електротехнічних випробувань дослідного зразка пасажирського вагона, обладнаного системою життєзабезпечення на основі двогенераторної схеми, показали, що усі показники знаходяться у межах норм, при цьому гармонійні коливання у ланцюгу додаткового генератора відсутні.

10. Збільшено потужність додаткового генератора за рахунок його роботи зі змінною напругою. Це дозволяє підвищити потужність генератора при збільшенні його обертів до досягнення заданої потужності.

11. Збільшено потужність привода від торця осі колісної пари за рахунок використання пасів ХРС. Проведені дослідження дозволили підвищити надійність роботи привода додаткового генератора.

12. Розроблено математичну модель для розрахунку перепадів температур повітря по висоті купе вагона при подачі нагрітого повітря через систему вентиляції, яка дозволила, знаючи максимально допустимі перепади згідно санітарних норм, визначити граничну потужність джерела тепла, при якій ці норми виконуються. Виконано порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень нерівномірності розподілу температур по висоті вагона. Отримані розбіжності у межах допустимого діапазону, що не перевищує 18%, що дозволяє зробити висновок про хорошу збіжність результатів.

13. Визначено умови, при яких доцільно використання режиму теплового насоса для опалення вагона, модернізованого із застосуванням двогенераторної системи енергозабезпечення. Встановлено, що для вагонів невисокого класу з урахуванням санітарних норм та економічних показників застосування режиму теплового насоса найбільш ефективно при температурах зовнішнього повітря вище 10-12° С. При вказаних зовнішніх температурах вентиляційна система вагона не потребує ніяких конструктивних змін. Проведені дослідження дозволили подовжити період експлуатації протягом року холодильного обладнання, що сприяє зменшенню терміну окупності системи в цілому.

14. Окремі результати дисертаційних досліджень були впроваджені у виробництво у Синельниківському пасажирському вагонному депо (акт впровадження від 30.09.2011р.), а також Інститутом силової електроніки (м. Київ) (акт впровадження від 08.02.2012р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати дисертації опубліковані у наступних роботах:

- 1 Кукса Ю. Я. Перспективы модернизации пассажирских вагонов при проведении капитально-восстановительного ремонта / Ю. Я. Кукса, П. М. Мустафа, И. Ю. Хоменко // Железнодорожный транспорт Украины. – 2010. – № 2. – С. 28-30.
- 2 Хоменко І. Ю. Удосконалення конструкції привода генератора від торця осі колісної пари / І. Ю. Хоменко // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – № 41. – С. 43-46.
- 3 Хоменко І. Ю. Альтернатива режиму роботи кондиціонера від акумуляторної батареї / І. Ю. Хоменко // Вагонний парк. – 2012. – № 7 (64). – С. 4-6.
- 4 Khomenko I. Yu. Mathematical modeling of unsteady heat exchange in a passenger car / I. Yu. Khomenko // Наука і прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 6 (48). – С. 147-155.
- 5 Khomenko I. Yu. Specifics of the inverter usage for the supplying of the air conditioners of passenger cars with the double-generator independent system / I. Yu. Khomenko // Transbaltica 2013. – С. 96-99.
- 6 Хоменко І. Ю. Використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів, після їх модернізації зі встановленням кондиціонера / І. Ю. Хоменко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 2 (191). – С. 121-124.
- 7 Брежний Є. О. Модернізація пасажирських вагонів з використанням двогенераторної схеми енергозабезпечення / Є. О. Брежний, Ю. Я. Кукса, І. Ю. Хоменко // Вагонний парк. – 2013. – № 7 (76). – С. 14-15.
- 8 Пат. 61021 Україна, МПК (2011.01) B61D 27/00. Застосування системи опалення пасажирського вагона з водоповітряним калорифером, розташованим у напірному повітропроводі, як акумулятора холоду (тепла) / Хоменко І. Ю. (Україна); заявник та патентовласник: Хоменко І. Ю. — № u201013475; заявл. 15.11.10; опубл. 11.07.2011 Бюл. № 13. – 2 с.

Окремі матеріали дисертації викладено у додаткових роботах:

- 9 Пат. 62899 Україна, МПК B61D 49/00. Регулятор напруги вагонного генератора змінного струму / Кукса Ю. Я., Хоменко І. Ю. (Україна); заявники та патентовласники: Кукса Ю. Я., Хоменко І. Ю. — № u201100393; заявл. 13.01.11; опубл. 26.09.2011 Бюл. № 18. – 2 с.
- 10 Дуганов О. Г. Попередні випробування систем життєзабезпечення пасажирського плацкартного вагона, дообладнаного системою кондиціонування / О. Г. Дуганов, В. Т. Вислогузов, Ю. В. Кебал, А. В. Фурманова, І. Ю. Хоменко, А. В. Шаповал, В. Р. Распопін,

- С. Д. Речкалов // Интеграция Украины в международную транспортную систему (21.05-22.05.2009): тез. I междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во транспорта и связи Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2009. – С. 22-23.
- 11 Хоменко И. Ю. Экономичный кондиционер в сочетании с двухгенераторной схемой электроснабжения – реальное решение для быстрого оснащения существующего парка пассажирских вагонов климатическими установками / И. Ю. Хоменко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта (15.04-16.04.2010): тез. 70 междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во транспорта и связи Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2010. – С. 83-84.
 - 12 Хоменко І. Ю. Двогенераторна система енергозабезпечення як альтернатива потужному вагонному генератору / І. Ю. Хоменко // Наявнi дослідження і розвиток (Актуальні наукові розробки) (17.01-25.01.2011): тез. VII междунар. науч.-практ. конф. – Софія, Болгарія:Бял ГРАД-БГ, 2011. – С. 43-44.
 - 13 Хоменко І. Ю. Застосування перетворювачів частоти у системі електропостачання пасажирських вагонів з кондиціонуванням повітря / І. Ю. Хоменко // Енергосбереження на залізничному транспорті (31.05-03.06.2011): тез. I междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во образования и науки Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2011. – С. 57-58.
 - 14 Khomenko I. U. Influence of train movement on air conditioner operation and analysis of various methods of supporting comfortable conditions inside passenger cars at slow speeds / I. U. Khomenko // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта (19.04-20.04.2012): тез. 72 междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во образования и науки, молодежи и спорта Украины, Мин-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2012. – С. 64-65.
 - 15 Хоменко І. Ю. Дослідження можливості використання пасів ХРС для покращення конструкції привода генератора / І. Ю. Хоменко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта (19.04-20.04.2012): тез. 72 междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во образования и науки, молодежи и спорта Украины, Мин-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2012. – С. 53-54.
 - 16 Хоменко І. Ю. Розробка розрахункової тривимірної моделі пасажирського вагона для дослідження нестационарних теплових процесів / І. Ю. Хоменко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта (23.05-24.05.2013): тез. 73 междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во образования и науки Украины, Мин-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д: ДНУЖТ, 2013. – С. 75-77.

АНОТАЦІЯ

Хоменко І. Ю. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПРИ КАПІТАЛЬНИХ РЕМОНТАХ — рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 — рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2014.

Дисертація присвячена вивченню можливості покращення умов комфортності пасажирів за рахунок удосконалення енергетичного та холодинного обладнання пасажирських вагонів. Удосконалення пропонується проводити з використанням економічного кондиціонера та двогенераторної незалежної схеми енергопостачання з покращеними характеристиками.

Досліджено нестационарні теплові процеси при різних можливих варіантах виконання системи життєзабезпечення на реальних графіках руху пасажирських потягів. Методом векторної оптимізації знайдено залежність втрат холодопродуктивності від вартості кондиціонера. Досліджено фактори, що впливають на стійкість системи енергопостачання вагона. Вирішене питання стійкої роботи ланцюга додаткового генератора. Вивчена можливість збільшення потужності генератора з приводом від торця осі колісної пари. Визначено сферу застосування теплонасосного режиму роботи кондиціонера для вагона з двогенераторною системою енергозабезпечення.

Ключові слова: пасажирський вагон, енергетичне і холодинне обладнання, система життєзабезпечення, система енергопостачання, кондиціонер, тепловий насос.

АННОТАЦИЯ

Хоменко И. Ю. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПРИ КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТАХ — рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 — подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2014.

Диссертация посвящена изучению возможности улучшения условий комфортности пассажиров за счет усовершенствования систем энергетического и холодинного оборудования пассажирских вагонов.

Модернизация проводится за счет использования двухгенераторной схемы энергоснабжения с улучшенными характеристиками. Схема предназначена в первую очередь для модернизации вагонов невысокого класса, преимущественно плацкартных, которые не имеют систем

кондиционирования. При такой модернизации на вагон устанавливается дополнительный генератор с приводом от торца оси колесной пары, от которого и осуществляется питание двигателя компрессора кондиционера. Мощность двухгенераторной независимой системы энергоснабжения существенно меньше той, что обычно применяется на вагонах с кондиционированием, поэтому в работе исследуется вопрос увеличения мощности дополнительного генератора. Так как в качестве дополнительного используется генератор, изготовленный на базе типового, не имеющего существенного резерва увеличения мощности, то исследуется возможность работы электрооборудования двухгенераторной схемы энергоснабжения при изменяемом напряжении генератора. Это позволяет с увеличением скорости вращения генератора не ограничивать его выходное напряжение до тех пор, пока не будет достигнута требуемая мощность. Режим работы генератора с изменяемым выходным напряжением требует более качественного его регулирования. Поэтому, был разработан регулятор напряжения, предназначенный для работы совместно с дополнительным генератором. Большое внимание уделено изучению особенностей работы двигателя компрессора кондиционера с использованием преобразователя частоты. Исследуется режим, при котором мощность генератора близка к мощности двигателя компрессора. В результате исследований рекомендуется такой режим работы преобразователя, при котором гарантируется устойчивая работа системы энергоснабжения.

Особое внимание уделено также использованию экономичных режимов работы оборудования. Так рассматривается возможность замены режима работы кондиционера от аккумуляторных батарей при малых скоростях движения другими более экономичными способами. Разработана математическая модель, которая характеризует нестационарные процессы теплообмена в пассажирском вагоне, для исследования различных конструктивных решений системы жизнеобеспечения. Для решения сложной системы уравнений было создано и апробировано компьютерную программу, которая может быть использована для проведения исследований относительно усовершенствования системы жизнеобеспечения вагона. С использованием разработанной математической модели смоделированы переходные процессы теплообмена в пассажирском вагоне, что позволило провести сравнение эффективности разных способов поддержания температурного режима в вагоне при малых скоростях движения. В качестве альтернативы работы кондиционера от аккумуляторов рассматривалась возможность использования генераторного режима энергоснабжения до скорости 30 км/час, а также применение аккумуляторов холода разных конструкций. С целью объективного сравнения моделирование производилось на реальных маршрутах движения пассажирских поездов после соответствующей обработки значительного количества скоростемерных лент. Полученные результаты показали, что альтернативные

способы поддержки температурного режима в вагоне при малых скоростях движения являются конкурентоспособными.

С помощью метода векторной оптимизации найдена зависимость потерь хладопродуктивности от стоимости кондиционера при работе от дополнительного генератора в двухгенераторной независимой схеме. Учитывая соотношение этих параметров, установлено, что оптимальными для работы от генераторов с приводом от торца оси колесной пары являются холодильные машины, холодильный коэффициент которых находится в пределах 2,9...3,2.

Кроме этого, исследована работа кондиционера в режиме теплового насоса для вагона с двухгенераторной системой энергоснабжения. Такой режим привлекает своей экономичностью, простотой реализации и высоким уровнем комфорта. Вместе с тем, применительно к вагонам невысокого класса, модернизированных с применением двухгенераторной схемы энергоснабжения, использование теплонасосного режима не должно сопровождаться значительным изменением конструкции и удорожением модернизации. Исследования, проведенные с применением математической модели процесса циркуляции воздуха в вагоне, позволили установить оптимальные параметры, при которых использование теплонасосного режима наиболее эффективно. Определены пределы температур наружного воздуха, при которых его использование экономически целесообразно.

Ключевые слова: пассажирский вагон, энергетическое и холодильное оборудование, система жизнеобеспечения, система энергоснабжения, кондиционер, тепловой насос.

ABSTRACT

Khomenko I. Yu. POWER SUPPLY AND AIR CONDITIONER SYSTEMS OF PASSENGER CARS IMPROVEMENT DURING THE THOROUGH OVERHAUL is a manuscript.

The dissertation for the candidate degree in technical sciences on the speciality 05.22.07 – railway rolling stock and trains traction. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2014.

Dissertation is devoted to the study of the possibility to satisfy the requirements of the higher standards of the passengers comfort on account of the improvement of the power supply and air conditioner systems equipment of passenger cars. The improvement is suggested to be done with the economy air conditioner and double-generator power supply system use.

Unsteady heat exchange processes with the different possible variants of the life support system construction on the real train movement diagrams of passenger cars were studied. The dependence of the cold-productivity losses from the air conditioner cost by the vector optimization method was found. Factors that influence power system stability of passenger car were studied. The problem of the

stable operation of the additional generator path was solved. The possibility of the power increasing of generator with the drive belt from the axle end was studied. The sphere of the heat pump mode of the air conditioner use for the passenger car with the double-generator power supply system was determined.

Key words: passenger car, power supply and air conditioner equipment, life support system, power supply system, air conditioner, heat pump.

ХОМЕНКО Ірина Юріївна

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ХОЛОДИЛЬНОГО
ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПРИ
КАПІТАЛЬНИХ РЕМОНТАХ**

Автореферат

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 23.04.14

Формат паперу 60x84 1/16.

Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. 1,0. Тираж 100 пр.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.03

Адреса університету і дільниці оперативної поліграфії:

49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

www.diitrvv.dp.ua