

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

ХОМЕНКО Ірина Юріївна

УДК 629.454.2.048.3/7

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ХОЛОДИЛЬНОГО
ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПРИ КАПІТАЛЬНИХ
РЕМОНТАХ

Спеціальність 05.22.07. – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник –
доктор технічних наук, професор
САВЧУК Орест Макарович

Дніпропетровськ – 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	12
1.1 Сучасний стан пасажирського вагонного парку	12
1.2 Аналіз існуючих систем електропостачання вагонів, що використовуються при обладнанні вагонів системами кондиціонування повітря	16
1.3 Аналіз роботи системи життєзабезпечення пасажирського вагона при непрацюючому генераторі	24
1.4 Дослідження нестационарних теплових процесів	25
1.5 Дослідження можливості та сфери застосування роботи вагонного кондиціонера в режимі теплового насоса.....	28
Висновки до розділу 1 та завдання досліджень	30
 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ НА НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	32
2.1 Аналіз ефективності роботи кондиціонера від акумуляторної батареї.....	32
2.2 Збільшення часу використання генераторного режиму роботи електрообладнання.....	33
2.3 Використання акумулятора холоду.....	40
2.4 Розробка математичної моделі нестационарного теплообміну в пасажирському вагоні	41
2.4.1 Постановка задачі для математичного моделювання	41
2.4.2 Опис фізичної картини процесів, що досліджуються	45
2.4.3 Обмеження часового кроку	50
2.4.4 Розрахункова методика та алгоритм	51
2.4.5 Апробація результатів моделювання	53

2.5 Результати моделювання.....	55
2.6 Вирішення задачі оптимізації устаткування кліматичного контролю вагона.....	59
Висновки до розділу 2	65

3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КЛІМАТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА І ПРИВОДА ВІД ТОРЦЯ ОСІ КОЛІСНОЇ ПАРИ.....

3.1 Стійкість роботи системи електропостачання з додатковим генератором...	68
3.2 Удосконалення системи управління генератором.....	80
3.3 Можливість збільшення потужності генератора.....	88
3.4 Удосконалення конструкції привода генератора від торця осі колісної пари.....	96
Висновки до розділу 3.....	103

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ КОНДИЦІОНЕРА НА ПЛАЦКАРТНОМУ ВАГОНІВ РЕЖИМІ ТЕПЛООВОГО НАСОСА.....

4.1 Переваги і недоліки роботи кондиціонера в режимі теплового насоса.....	106
4.2 Моделювання температурного стану вагона при роботі кондиціонера в режимі теплового насоса.....	112
4.3 Визначення діапазону можливого застосування кондиціонера при його роботі в режимі теплового насоса.....	116
Висновки до розділу 4.....	120

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ.....

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АБ –	аккумуляторна батарея
УЗ –	Укрзалізниця
СКП –	система кондиціонування повітря
ЕОМ –	електронна обчислювальна машина
БРН –	блок регулювання напруги
БРЧ –	блок регулювання частоти
БЗ –	блок захисту
е.р.с. –	електрорушійна сила
ККД –	коефіцієнт корисної дії
СОР –	опалювальний коефіцієнт

ВСТУП

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 70-80 рр. 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 ГДР ще без застосування сучасних енергозберігаючих технологій. Ремонтопридатність 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 Дисертація 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. В 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 з'явилася можливість досліджувати теплотехнічний стан у салоні за різних умов та порівнювати 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 [15, 36, 57-60, 81-84, 91, 112-114, 131]. Роботи [58-60, 81-84, 112-114, 131] виконано самостійно. В роботах, написаних у співавторстві, здобувачеві належить наступне:

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

[36] – участь в обробці результатів випробувань;

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

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

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.