

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

На правах рукопису

Барановський Денис Миколайович

УДК 629.424

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
ЗАЛІЗНИЦЬ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Науковий консультант:
Мямлін Сергій Віталійович
доктор технічних наук,
професор

Дніпропетровськ – 2012

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ...13	
1.1 Стан проблеми та фактори, які впливають на довговічність дизелів.....	13
1.2 Методи підвищення довговічності дизелів.....	40
1.2.1 Конструкторські методи.....	40
1.2.2 Технологічні методи.....	44
1.2.3 Експлуатаційні методи.....	58
1.3 Висновки. Мета та задачі досліджень.....	68
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ.....72	
2.1 Огляд основних положень.....	72
2.2 Еволюційні механізми в трибосистемах дизелів.....	87
2.3 Реалізації процесу самоорганізації в трибосистемах дизелів.....	99
2.4 Прогнозування залишкового ресурсу.....	107
2.4.1 Зв'язок з діагностичними параметрами дизелів.....	107
2.4.2 Синергетичний підхід.....	125
2.5 Довговічність дизелів.....	145
2.6 Висновки.....	151
РОЗДІЛ 3 ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ ПРИ МОДИФІКУВАННІ ЇХ ТРИБОСИСТЕМ.....153	
3.1 Обґрунтування лазерного модифікування трибосистем дизелів....	153
3.2 Моделювання процесів модифікування трибосистем дизелів.....	168
3.3 Експериментальні дослідження модифікованих трибосистем дизелів.....	174
3.4 Висновки.....	194

РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ПРИСКОРЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИПРАЦЮВАННЯ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ДИЗЕЛІВ.....	196
4.1 Обґрунтування підвищення довговічності дизелів при прискоренні процесу припрацювання.....	196
4.2 Експлуатаційні дослідження стану спрацювання відповідальних трибосистем дизелів.....	213
4.3 Технічні параметри дизелів при прискоренні процесу припрацювання трибосистем.....	215
4.3.1 Додавання природного графіту до моторного масла.....	215
4.3.2 Експлуатаційна модифікація гільз циліндрів.....	225
4.4 Вплив прискорення процесу припрацювання на довговічність дизелів.....	230
4.5 Висновки.....	232
РОЗДІЛ 5 ЗАЛЕЖНІСТЬ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ ВІД ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ.....	234
5.1 Теоретична оцінка термінів проведення технічного обслуговування та ремонту дизелів.....	234
5.2 Математичне обґрунтування оптимальних термінів проведення технічного обслуговування та ремонтів дизелів.....	237
5.3 Моніторинг технічного стану дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць.....	250
5.4 Визначення термінів проведення технічного обслуговування та ремонту дизелів у залежності від експлуатаційних параметрів.....	252
5.5 Висновки.....	261
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	263
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	266
ДОДАТКИ.....	295

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту України та збільшенні обсягів ремонтних робіт, що пов'язані із підвищенням швидкостей руху рухомого складу та пропускнуою здатністю залізниць, спеціальний самохідний рухомий склад (ССРС) залізниць повинен бути у постійній готовності для виконання невідкладних робіт колійного господарства та господарств енергопостачання. Тому постає проблема забезпечення високого рівня надійності та довговічності ССРС залізниць для підтримки їх працездатності та ефективності експлуатації.

Дизелі мають особливе місце в сукупності відмов ССРС залізниць. Дослідження надійності та довговічності агрегатів сучасного ССРС показує, що в середньому 34...47% відмов приходить на дизель, 7...19% – на трансмісію, 6...19% – на ходову частину, 5...18% – на електрообладнання, 8...19% – на гідрообладнання, 5...15% – на пневмосистеми, 7...24% – робоче (навісне) обладнання. Значний діапазон даних по відмовам пояснюється різним призначенням та областю використання ССРС залізниць.

Термін служби ССРС, згідно паспортних даних, становить 25 років, а експлуатацію дизелів припиняють за 30...40 % раніше від встановленого терміну служби з наступною заміною старого силового агрегату на новий. Тому, наряду з цим, постає проблема у підвищенні довговічності дизелів та забезпеченні їх працездатності та ефективності експлуатації.

Визначення довговічності, ресурсу та залишкового ресурсу дизелів є складним процесом, оскільки врахування багатьох експлуатаційних та технологічних факторів практично неможливе, особливо в умовах експлуатації залізниць.

У міру зростання напрацювання деталей дизелів ССРС залізниць, безперервно відбуваються зміни їх технічного стану, які пов'язані із процесами зношування, корозії, накопичення втоми, деформацій, забруднення та ін. Ці

процеси мають необоротний характер: знижується або втрачається працездатність ССРС у результаті зносу деталей дизелів.

Поточні та ресурсні відмови дизелів ССРС залізниць приводять до нездатності виконувати їм задані функції, з наступною зупинкою ССРС для ремонту і регулювання, що в умовах експлуатації залізниць є неприпустимим. Дослідження поточних та ресурсних відмов дизелів дозволять обґрунтувати та розробити ефективні заходи та засоби, які будуть сприяти підвищенню рівня довговічності та забезпеченню працездатності дизелів ССРС залізниць.

Для всіх періодів роботи дизелів, їх надійність та довговічність суттєво залежить від технічних характеристик та кількості відмов циліндро-поршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ), оскільки більше 85% ресурсних відмов припадає саме на ці системи.

Ресурсні відмови дизеля відбуваються через знос його трибосистем (ТС), особливістю яких при експлуатації є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції дизеля, технології виготовлення його деталей, якості вживаних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов тощо.

У сучасному машинобудуванні застосовується значна кількість методів підвищення зносостійкості поверхонь тертя для забезпечення високого рівня довговічності. До них можна віднести конструкторські, технологічні і систему технічного обслуговування під час експлуатації.

Серед відомих і ефективних способів підвищення зносостійкості поверхонь тертя багато з них не застосовуються для зміцнення сполучень ТС ЦПГ і КШМ з причини високої вартості та масштабного фактора. При виборі методу зміцнення робочих поверхонь деталей дизелів потрібно виходити з виробничого масштабу та враховувати техніко-економічну доцільність зміцнення чи модифікування. Тому, існуючі методи підвищення зносостійкості поверхонь тертя не можуть бути застосовані до дизелів у повному обсязі. Виникає необхідність розробки нових ефективних технологічних методів забезпечення належної зносостійкості ТС.

При введенні в експлуатацію залізниць нового ССРС, у ТС дизелів відбуваються процеси припрацювання, які здійснюють значний вплив на довговічність у цілому. Це питання теж потребує досліджень, розробок та заходів для забезпечення високої ефективності роботи дизелів ССРС у процесі експлуатації. А від тривалості припрацювання відповідальних ТС дизелів суттєво залежить період його нормальної роботи та настання моменту граничного зносу, що дає підстави для розробок технологій прискорення процесів припрацювання відповідальних ТС дизелів.

Закономірності зміни технічного стану дизелів ССРС залізниць, узагальнення методів їх діагностування і прогнозування ресурсу, які враховували б індивідуальні особливості й умови експлуатації у системі технічного обслуговування та ремонту (ТОР) є також актуальним напрямком досліджень, які дозволять забезпечити високий рівень працездатності та довговічності. Впровадження моніторингу технічного стану дизелів ССРС у процес експлуатації дозволить скоротити затрати, пов'язані з передчасним ремонтом, а раціональне використання їх ресурсу приведе до значної економії матеріалів, зменшення енергетичних і трудових витрат.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до головних напрямків розвитку науки і техніки, Закону України про наукову і науково-технічну діяльність, відповідно до щорічних координаційних планів НДДКР «Укрзалізниця», концепції і Програми реструктуризації на залізничному транспорті України, затвердженої рішенням Колегії Міністерства транспорту України (протокол №30 від 18.08.1998 р.); Концепції реформування транспортного сектора України; галузевої Програми підвищення безпеки руху на залізницях України, затвердженої наказом Укрзалізниця №547-ц від 15.10.2001 р.; проекту Державної програми розвитку рейкового рухомого складу залізниць України в 2002-2010 р., а також затвердженої програми наукової діяльності Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського в рамках тем: «Розробка системи технічного обслуговування та ремонту дизелів» (тема 200/10, номер держреєстрації 0110U006894, 2010 р.), «Використання ефектів струминно-

проміневого впливу для прецизійного формоутворення виробів із композитів з трансформацією властивостей поверхневих шарів» (держбюджетна тема № держреєстрації 0109U003098, 2009-2011 рр. відповідно до плану НДР Міністерства освіти і науки України).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток наукових основ підвищення довговічності дизелів ССРС залізниць.

Для реалізації поставленої мети необхідне розв'язання наступних задач:

1. Провести аналізи роботи дизелів ССРС залізниць, методів підвищення та підходів до визначення їх довговічності.

2. Здійснити теоретичну оцінку довговічності дизелів ССРС залізниць.

3. Отримати вираз для знаходження інтенсивності зносу ТС дизелів з урахуванням експлуатаційних факторів при використанні різних методів підвищення їх довговічності.

4. Розробити модель для прогнозування довговічності дизелів на основі синергетичного підходу та кінетичної концепції руйнування матеріалів ТС.

5. Теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити застосування лазерного модифікування ТС дизелів з введенням природного графіту та вуглекислого газу у зону опромінення для підвищення їх довговічності.

6. Підтвердити вплив прискорення процесу припрацювання з додаванням природного графіту до моторного масла та при експлуатаційній модифікації ТС ЦПГ на підвищення довговічності дизелів ССРС залізниць.

7. Запропонувати математичну модель для описання оптимальних термінів проведення ТОР дизелів ССРС залізниць у залежності від експлуатаційних параметрів з наступним визначенням їх довговічності.

Об'єкт дослідження – процеси експлуатації дизелів ССРС залізниць.

Предмет дослідження – методи підвищення довговічності дизелів ССРС залізниць.

Методи дослідження. Під час проведення теоретичних досліджень були використанні основні положення теорій термодинаміки, неврівноваженої термодинаміки, фізики твердого тіла, синергетики, теорії взаємодії лазерного

випромінювання з речовиною, теорії тертя та зношування, теорії надійності технічних систем. Також, методи дослідження передбачали застосування сучасних експериментальних приладів і засобів, різноманітних існуючих і вперше розроблених спеціальних методик, використання ЕОМ, даних математичної обробки статистичного матеріалу за наслідками досліджень, великого об'єму стендових і експлуатаційних випробувань дизелів ССРС залізниць.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, які захищаються. Достовірність та обґрунтованість приведених в дисертаційній роботі математичних моделей, підходів, наукових положень та отриманих результатів обумовлені коректними математичними постановками задач, використанням сучасного математичного апарата для їх вирішення. Результати теоретичних досліджень збігаються з експериментальними дослідженнями, дані яких отримані на діючому ССРС залізниць упродовж 8 років експлуатації в межах 5% похибки.

Положення та висновки, наведені в дисертації, в достатній мірі науково обґрунтовані. Основні припущення та спрощення, прийняті в роботі є коректними для вирішення задач, які розглядаються в роботі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному.

Вперше одержано:

- модель для прогнозування довговічності дизелів на основі синергетичного підходу та кінетичної концепції руйнування матеріалів трибосистем, яка враховує показники безвідмовності, систему технічного обслуговування та ремонту і умови роботи спеціального самохідного рухомого складу залізниць, застосування різних технологічних методів підвищення довговічності та процеси припрацювання в трибосистемах. Модель включає вираз для прогнозування залишкового ресурсу дизелів при наявності даних про їх технічний стан, проходження процесів самоорганізації в трибосистемах у залежності від розподілення часу їх роботи;

- математичні моделі термінів проведення технічного обслуговування та ремонту, міжремонтного ресурсу та довговічності дизелів спеціального

самохідного рухомого складу залізниць у залежності від експлуатаційних параметрів: годинної та питомої витрат палива з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи, фіксуючи які в процесі експлуатації та порівнюючи із значенням їх граничної величини можна визначити терміни проведення технічного обслуговування, а знаючи кількість номерних ТО та КР – надати оцінку міжремонтному ресурсу та довговічності дизелів;

- залежність інтенсивності зносу трибосистем дизелів з урахуванням експлуатаційних факторів при використанні різних методів підвищення їх довговічності, яка дозволяє обрати раціональний технологічний метод для відповідних умов експлуатації спеціального самохідного рухомого складу залізниць із забезпеченням найнижчого значення інтенсивності зносу трибосистем.

Одержали подальший розвиток:

- метод прогнозування залишкового ресурсу дизелів за діагностичними параметрами, який включає моніторинг їх технічного стану та дозволяє з високою ймовірністю визначати граничний, залишковий та використаний ресурс, найбільш обґрунтовано приймати конкретні технічні рішення щодо відновлення технічного стану дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць у конкретні моменти експлуатації;

- математична модель для опису оптимальних термінів проведення технічного обслуговування та ремонту дизелів на основі регенеруючих, марківських та напівмарківських процесів, яка включає залежності ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнту готовності та ймовірності виконання задач від часової функції для наступного вибору стратегії технічного обслуговування та ремонту і вказує на необхідність врахування повноти інформації, що належить до категорії відмов відповідальних трибосистем.

Удосконалено:

- спосіб лазерного модифікування трибосистем, в якому запропоновано, обґрунтовано та доведено доцільність у якості модифікатору використовувати природний графіт з ніобієм або вуглекислий газ для підвищення довговічності дизелів;

- модель для визначення інтенсивності зносу трибосистем дизелів у процесі припрацювання, яку отримано на основі теорій тертя та зношування з використанням основних положень теорії дислокаційно-вакансійного механізму;

- спосіб прискорення процесу припрацювання трибосистем дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць, в якому передбачено додавання природного графіту з ніобієм до моторного масла та його введення у камеру згоряння у відповідний такт роботи циліндрів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- на основі експлуатаційних випробувань дизелів на діючому ССРС залізниць у центрі механізації колійних робіт ст. Знам'янка та Знам'янській дистанції колії Одеської залізниці впроваджені результати досліджень модифікованих гільз циліндрів та колінчастих валів лазерним випромінюванням з подачею природного графіту з ніобієм та вуглекислим газом, експлуатаційної модифікації для прискорення процесу припрацювання відповідальних ТС з подачею природного графіту з ніобієм до камери згоряння та надані рекомендації щодо режимів технологічних процесів;

- на підставі отриманих наукових результатів, які складають єдиний комплекс досліджень, запропонована система методичних положень застосування розроблених моделей та методів прогнозування залишкового ресурсу дизелів ССРС залізниць за діагностичними детермінованими та випадковими параметрами, а також з урахуванням експлуатаційних факторів при наявності даних про їх технічний стан та проходження процесів самоорганізації в ТС;

- для вибору раціональної системи експлуатації дизелів ССРС залізниць у заданих умовах роботи впроваджено проведення ТОР у залежності від експлуатаційних параметрів та від їх технічного стану (під час моніторингу);

- вибір технологічного методу підвищення довговічності ТС дизелів пропонується здійснювати за показником інтенсивності їх зносу.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно зроблено наступне:

- планування та безпосереднє проведення теоретичних та експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, розробка наукових положень та висновків;

- розробка математичних моделей для визначення залишкового, міжремонтного ресурсів та довговічності дизелів ССРС залізниць на основі синергетичного підходу, позицій термодинаміки, кінетичної концепції руйнування матеріалів, теорії ймовірності;

- розробка наукових положень щодо підвищення довговічності дизелів ССРС залізниць, що являє собою комплексний підхід до вирішення цієї проблеми;

- удосконалення методу лазерного модифікування ТС дизелів з пропозицією використовувати природний графіт з ніобієм і вуглекислий газ при подачі їх під тиском у зону опромінення;

- удосконалення методу прискорення процесів припрацювання відповідальних ТС дизелів, що передбачає експлуатаційну модифікацію ТС ЦПП та полягає у введенні природного графіту з ніобієм до камери згоряння під час такту впуску;

- розробка наукових положень щодо проведення ТОР дизелів ССРС залізниць при моніторингу експлуатаційних параметрів: годинної, питомої витрати палива, ефективної потужності з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень доповідалися на: міжнародній наук.-практ. конференції “Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем”, (м. Кіровоград, 10 грудня 2008 р.), международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Д.Г. Вадивасова, (г. Саратов (Россия), 2-5 февраля 2009 г.), міжнародній наук.-практ. конференції “Проблеми транспорту” (м. Кременчук, 3-5 грудня 2009 р.), першій міжнародній словацько-українській конференції (м. Банська Бистрика (Словаччина), 14 квітня 2010 р.), 70-й міжнародній наук.-практ. конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного

транспорту" (м. Дніпропетровськ, 15-16 квітня 2010 р.), всеукраїнській міжвузівській наук.-техн. конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 19-23 квітня 2010 р.), I міжнародній наук.-практ. конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (м. Красний Лиман, 4-6 травня 2010 р.), міжнародній наук.-техн. конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної галузі» (м. Луцьк, 17-18 травня 2010 р.), XI міжнародній наук.-техн. конференції присвяченої 100-річчю від дня народження ак. НАН України Г.С. Писаренка (м. Київ, 18-21 травня 2010 р.), XV международном конгрессе двигателестроителей (Харьков – Рыбачье, 14-19 сентября 2010 г.), міжнародній наук.-техн. конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» присвяченої 50-річчю університету (м. Кременчук, 10-12 листопада 2010 р.), V міжнародній наук.-практ. конференції «Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління» (м. Київ, 24-25 березня 2011 р.), 71-й міжнародній наук.-практ. конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 9-10 квітня 2011 р.), XII міжнародній наук.-техн. конференції «Прогресивна техніка та технологія – 2011» (м. Київ – м. Севастополь, 21-24 червня 2011 р.), 6th International Conference «Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2011» (Panevezys, Lithuania, 5-6 мая 2011 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 1 монографію, 39 статей, у тому числі, 39 статей у наукових фахових виданнях (з них 16 – без співавторів), 9 публікацій тез у матеріалах міжнародних наукових конференцій, одержано 6 патентів України.

Структура та обсяг роботи. Загальний обсяг роботи становить 353 сторінки. Основний матеріал дисертації складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, викладених на 264 сторінках машинописного тексту та містить 97 рисунків, 13 таблиць. Додатки викладені на 59 сторінках, а перелік використаних джерел становить 307 найменувань, розміщених на 30 сторінках.