

Міністерство інфраструктури України  
Українська державна академія залізничного транспорту

ЖАЛКІН ДЕНИС СЕРГІЙОВИЧ

УДК 629.424.3:621

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДГОТОВКИ  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ  
ДО СЕЗОННОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту  
Міністерства інфраструктури України

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор  
**Тартаковський Едуард Давидович**,  
Українська державна академія залізничного транспорту,  
кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, завідувач  
кафедри

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Боднар Борис Євгенович**,  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту ім. академіка В.Лазаряна, перший проректор

доктор технічних наук, професор  
**Кельрих Мусій Борисович**,  
Державний економіко-технологічний університет транспорту,  
кафедра вагонів, завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор  
**Маслієв В'ячеслав Георгійович**,  
Національний технічний університет "ХПІ",  
кафедра електричного транспорту та тепловозобудування,  
професор кафедри

Захист відбудеться "26" січня 2011 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради Д64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту  
за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейербаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії  
залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейербаха, 7

Автореферат розісланий " \_\_\_\_ " грудня 2011 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А.В.Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Серед об'єктивних факторів, що впливають на якість роботи енергетичних установок (ЕУ) тепловозів, можна виділити умови експлуатації і в першу чергу кліматичні. ЕУ тепловозів будуються в єдиному конструктивному виконанні без урахування різноманітних сполучень кліматичних факторів і, отже, їхня конструкція не забезпечує достатнього пристосування до зміни умов експлуатації за сезонами. У той же час досвід експлуатації тепловозних дизелів показує, що на показники їхньої роботи впливають не тільки кліматичні умови, але і якість підготовки до сезонної експлуатації.

Підготовка до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів регламентується інструктивними вказівками. У цих інструкціях на відміну від інших видів транспорту, наприклад автомобільного, відсутні науково обґрунтовані терміни і нормативи трудовитрат проведення робіт, перелік необхідних операцій, час простою. У дисертаційній роботі виявлена наявність сезонних коливань показників ЕУ тепловозів, визначені критерії наявності сезонних коливань, розроблені моделі сезонної експлуатації ЕУ, моделі прогнозування показників ЕУ, надано наукове обґрунтування термінам, періодичності та трудомісткості робіт при підготовці до сезонної експлуатації.

**Актуальність теми дисертації.** Процес експлуатації енергетичних установок тепловозів супроводжується зниженням ефективності, що може привести до неможливості виконання ними потрібної роботи. Інтенсивність зниження ефективності залежить від умов експлуатації, стратегії проведення планово-попереджувальних ремонтів, кваліфікації персоналу, оснащеності ремонтних підприємств необхідним обладнанням і діагностичними пристроями. Існуюча система планово-попереджувальних ремонтів установлює міжремонтні періоди і перелік ремонтних операцій однаковими для всіх сезонів експлуатації з урахуванням тільки серії локомотива. У той же час, як показує досвід експлуатації тепловозів і їх енергетичних установок, багато в чому визначають надійність і економічність роботи тепловоза в цілому, умови експлуатації і у тому числі сезон експлуатації, викликають значну зміну ефективності експлуатації. При зміні сезону експлуатації змінюються витрати палива. Так, взимку витрати палива на поїзну роботу зростають на 4-7 %. Зміна інтенсивності надходження тепловозів на позапланові ремонти складає 7-25 %. Простій на ТО-3 та ПР-1 залежно від сезону експлуатації змінюється на 5-25 %. Значні зміни має трудомісткість планових ремонтів, до 50 % в залежності від сезону, та простій на позапланових ремонтах 2-13 %. Не урахування таких значних коливань викликає додаткове зниження надійності енергетичних установок тепловозів (коефіцієнт технічного використання змінюється в 0,97-1,03 рази), додаткову витрату матеріальних і енергетичних ресурсів.

Ситуація, що склалася, призводить до того, що незважаючи на значні нормативи простою на ремонтах, ефективність функціонування та економічність

ЕУ тепловозів має значні сезонні коливання, що виражається зокрема в збільшенні кількості позапланових ремонтів, збільшенні витрат палива та моторного мастила.

У нашій країні і за кордоном проведена значна кількість досліджень, спрямованих на вдосконалення системи ТО та ПР тепловозів та їх ЕУ, що дозволяють урахувати умови їх експлуатації з метою підвищення якості функціонування й технічного стану. У той же час у цих дослідженнях і практичних розробках питання сезонності найчастіше трактується вужче - як вплив кліматичних умов (температури, жорсткості клімату) на надійність і економічність.

Таким чином, упровадження у локомотивному господарстві нових технологій сезонного регулювання та сезонної підготовки, спрямованих на оптимізацію системи ТО та ПР ЕУ тепловозів, отриманих на основі теоретичних розробок цієї дисертації, дозволяє зробити висновок про її актуальність.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту у період з 1993 по 2010 р.р. у відповідності до «Концепції та програми реструктуризації на залізничному транспорті України», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 02.06.1998 р. № 769, «Концепції державної програми реформування залізничного транспорту України», затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 р. №651-р., «Програми енергозбереження та впровадження альтернативних видів палива на транспорті на 2006 - 2010 роки», затвердженої наказом Міністерства транспорту та зв'язку України 09.02.2006 р. №114, «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 - 2020 роки», яку введено в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14.10.2008 р. №1259.

Наукові результати отримані при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт у відповідності до планів академії, Мінтрансзв'язку та Укрзалізниці: «Підвищення паливної економічності і надійності дизелів в умовах сезонної експлуатації», №ДР0195U013341; «Розробка технологічних процесів та оснастки для регенерації дизельних масел в умовах депо», №ДР0193OO14274; «Розробка та дослідження нових перспективних методів і засобів регенерації та конденсації властивостей моторних мастил і робочих рідин», №ДР0193УО24269; «Дослідження впливу сезонних регулювань на економічність та надійність сімейства перспективних вітчизняних тепловозних дизелів типу Д-80»,

№ДР 0196U010129; «Вплив сезонних факторів на техніко-експлуатаційні показники тепловозних дизелів типу Д-80», №ДР0199U003100; «Розробка теоретичних основ комплексної оцінки ефективності використання тепловозних дизелів», №ДР0106U004124; «Теоретичні основи підвищення енергетичної ефективності використання тепловозів», №ДР0109U001184.

У виконанні вказаних науково-дослідних робіт автор брав безпосередню участь як керівник та відповідальний виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладної проблеми – розроблення концепції регулювання та підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації на основі нових динамічних моделей і методів удосконалення їх роботи.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені такі наукові задачі:

- виконати аналіз системи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації з оцінкою факторів, що впливають на процес зміни якості їх функціонування, процеси ремонту та експлуатації;
- розробити математичні моделі оцінювання рівня зміни параметрів ЕУ тепловозів для різних сезонів експлуатації з урахуванням динамічного характеру процесів;
- розробити математичну модель системи ремонту та підготовки до експлуатації ЕУ тепловозів, яка враховує сезонну зміну їх параметрів;
- розробити методи й моделі підвищення ефективності системи ТО та ПР ЕУ тепловозів для підтримання необхідної надійності й економічності на основі врахування сезонних змін початкових даних;
- розробити концепцію регулювання та підготовки ЕУ тепловозів на основі нових динамічних моделей і методів удосконалення їх роботи в умовах сезонної експлуатації;
- удосконалити математичні моделі прогнозування зміни показників надійності й економічності ЕУ тепловозів в умовах сезонних коливань їх параметрів;
- удосконалити математичні моделі розрахунку робочого процесу ЕУ тепловозів з урахуванням зміни температури оточуючого повітря та регулювань параметрів паливної апаратури та агрегатів наддування;
- удосконалити математичні моделі регулювання паливної апаратури ЕУ тепловозів для врахування сезонних змін умов їх роботи;
- розробити нові методи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації шляхом регулювання параметрів для зменшення витрат палива;
- розробити обладнання й процедури діагностування та регулювання параметрів ЕУ тепловозів для їх підготовки до сезонної експлуатації;
- визначити залежності зміни якості моторних мастил від сезону експлуатації ЕУ тепловозів;
- розробити нові методи відновлення властивостей та подовження терміну служби моторних мастил з урахуванням сезонних змін бракувальних показників;
- провести аналіз та оцінювання техніко-економічної ефективності розроблених методів підготовки й регулювання ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації.

*Об'єкт дослідження* – процеси ремонту та підготовки до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів.

*Предмет дослідження* – методи та моделі підвищення ефективності функціонування ЕУ тепловозів.

*Методи дослідження.* Методи теорії випадкових процесів використані для моделювання системи ремонту та підготовки до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів. Аналіз та моделювання процесів, що протікають у системі ремонту та підготовки ЕУ тепловозів, проведено на основі теорії динамічних систем з використанням методів статистичної та нечіткої кластеризації, спектрального та вейвлет-перетворення часових рядів. Методи теорії багатофакторної регресії, згладжування, сезонної декомпозиції, авторегресії часових рядів, гібридних нейромереж використані для моделювання та прогнозування зміни показників ЕУ тепловозів. Методологія збору та обробки початкових даних базується на теорії математичної статистики, бутстреп-розмноження та блокового бутстрепа часових рядів. Модель вибору раціональних міжремонтних пробігів між ТО та ПР ЕУ тепловозів базується на теорії оптимізації і математичного програмування.

Достовірність одержаних наукових результатів роботи підтверджується задовільною збіжністю розрахункових та експериментальних даних, що обумовлено відповідністю прийнятих припущень характеру задач, що вирішувалися, відповідним вибором методів та технічних засобів випробувань, апаратури для вимірювань, програмами проведення та методами обробки одержаних результатів, методами імітаційного моделювання та програмним забезпеченням для комп'ютерного моделювання і статистичної обробки результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вирішена науково-прикладна проблема підготовки енергетичних установок тепловозів до сезонної експлуатації з урахуванням статистичної та прогнозованої інформації про зміну їх параметрів, використанням методів сезонного регулювання, відновлення властивостей моторних мастил, засобів технічної діагностики, що дозволило підвищити надійність та зменшити витрати на паливо.

*Вперше:*

- розроблено моделі і методи оцінювання рівня зміни параметрів ЕУ тепловозів для різних сезонів експлуатації, які на відміну від істотних, ураховують динамічний характер процесів, що дозволяє брати до уваги сезонні коливання та прогнозувати зміну витрат палива й надійності;

- розроблено моделі, що дозволяють досліджувати та прогнозувати характер зміни надійності й економічності ЕУ тепловозів залежно від сезону їх експлуатації, визначати сезонні коефіцієнти показників системи експлуатації та ремонту;

- розроблено математично-інформаційну модель раціональної підготовки ЕУ тепловозів до експлуатації, що враховує зміну сезону експлуатації та граничні сезонні значення параметрів регулювання;

- розроблено методологію визначення ефективних систем підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації, яка базується на визначених коефіцієнтах

сезонності системи експлуатації та ремонту, дає можливість підтримувати показники надійності й економічності на заданому високому рівні.

*Вдосконалено:*

- метод дослідження характеру руху у динамічній системі підготовки до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів, для визначення умов і можливих причин виникнення у системі режимів динамічного хаосу;
- метод збору й обробки початкових даних про зміну показників ЕУ тепловозів, що подаються у вигляді часових рядів, із застосуванням блокового бутстрепа, який передбачає розмноження початкових часових рядів без втрати їх основних статистичних характеристик і внутрішньої структури;
- математичні моделі визначення ймовірності знаходження ЕУ тепловозів, у різних станах з урахуванням сезонних змін інтенсивності переходу із стану в стан, що дозволяє оцінювати сезонну зміну коефіцієнта технічного використання;

*Дістали подальшого розвитку:*

- математичні моделі визначення рівня сезонних змін показників ЕУ тепловозів, які дозволяють виконати їх прогнозування для визначення переліку сезонних регулювань та обсягу сезонної підготовки;
- математична модель нечіткого управління процесом підготовки до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів, яка враховує нечіткі обмеження на витрати ресурсів та можливості ремонтного виробництва, дає можливість управління технічним станом ЕУ тепловозів;
- методи сезонного регулювання допоміжних систем ЕУ тепловозів для адаптивної зміни впливу характеристик цих систем на параметри робочого процесу ЕУ;
- моделі, методи застосування та обладнання для діагностування й сезонного регулювання паливної апаратури ЕУ, обліку витрат палива та відновлення властивостей моторних мастил.

**Практичне значення одержаних результатів роботи** полягає в тому, що реалізація отриманих результатів теоретичних досліджень дозволила забезпечити підвищення надійності й енергоефективності ЕУ тепловозів під час сезонної експлуатації.

Результати досліджень за аналізом впливу зміни сезону експлуатації на показники використання дизелів тепловозів, модель вибіру раціональних міжремонтних пробігів та методологія підготовки до сезонної експлуатації використані Головним управлінням локомотивного господарства Укрзалізниці при розробленні наказу №196Ц від 04.04.2001 р. «Про вдосконалення системи технічного обслуговування, експлуатації, поточного та капітального ремонтів рухомого складу», при розробленні «Інструктивних вказівок по підготовці, експлуатації та обслуговуванню тепловозів і дизель-поїздів у зимових умовах». ЦТ-0070, наказ Укрзалізниці №275-Ц від 30.10.2003 р. ( акт впровадження ЦТ Укрзалізниці, діючи інструктивні вказівки);

Моделі розрахунку робочого процесу тепловозних двигунів, методологія безперервного контролю ефективності роботи ЕУ тепловозів, моделі прогнозу

показників тепловозів, методи обліку та контролю витрат палива, сезонного регулювання паливної апаратури використані державним підприємством «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» при проведенні дослідної експлуатації тепловозів 2TE116 з дизелями 1А-5Д49 із сезонно відрегульованою паливною апаратурою в депо Основа, яка показала можливість зниження середньоексплуатаційної витрати палива на 2,5-5 % (акти впровадження

ДП ДНДЦ залізничного транспорту, ДП Південна залізниця);

Моделі для визначення сезонних змін витрат палива та моторного мастила, моделі та обладнання для покращання властивостей мастил, методи підготовки ЕУ тепловозів до випробувань використані службою локомотивного господарства Південної залізниці при розробленні документації для виготовлення обладнання для регенерації моторних мастил у депо Основа Південної залізниці, розробленні пристроїв (ПИТУ-3,4; А2125) для діагностики паливної апаратури дизелів тепловозів (акт ДП Південна залізниця, акт та результати проведення дослідної експлуатації тепловозів у локомотивному депо Основа);

Методика техніко-економічного обґрунтування застосування паливомірів використані фірмою «Рекорд» при розробленні, випробуваннях та впровадженні в локомотивних депо на пунктах екологічного контролю тепловозів паливоміра АИРТ-2 ( акт впровадження фірми «Рекорд»);

Наукові результати використовуються у навчальному процесі Українською державною академією залізничного транспорту в навчальному процесі підготовки бакалаврів, спеціалістів та магістрів за фахом «Рухомий склад та спеціальна техніка залізниць»; у дипломному проектуванні та виконанні науково-дослідних робіт студентів; в Інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів при УкрДАЗТ за технічними спеціальностями ( акт впровадження УкрДАЗТ).

Результатів роботи можуть бути використані при створенні нового та модернізації існуючого парку тепловозів, розробці заходів за підвищенням надійності та енергоефективності роботи їх ЕУ. Теоретичні результати можуть бути використані в інших галузях, пов'язаних з сезонною експлуатацією ЕУ.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. Наукові праці [1-5, 7, 8, 11-17, 20-22, 24, 25, 28, 33, 38, 48, 49, 52-55] виконані автором одноосібно.

У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок здобувача визначається таким: [6] запропоновано системний підхід до сезонної підготовки та регулювання ЕУ тепловозів з метою урахування комплексного впливу сезону експлуатації на показники їх роботи; [9, 39, 40, 42, 43, 50, 51] сформульовано теоретичні основи та запропоновано комплексний метод очищення (регенерації) дизельних мастил при наявності бракувальних показників за межами норм, з подовженням ресурсу його експлуатації з урахуванням типу ЕУ (дизеля) тепловоза; [18, 56] сформульовані теоретичні основи класифікації умов експлуатації ЕУ тепловозів за допомогою блокового бутстрепа та



нейромереж; [19] розроблена модель процесу експлуатації ЕУ тепловозів; [10, 26] зроблено аналіз сезонних коливань ефективності системи технічного обслуговування та ремонту ЕУ тепловозів; [23] запропонована математична модель та виконано аналіз сезонних коливань витрат мастила ЕУ тепловозів; [27] запропонована математична модель та виконано аналіз сезонних коливань показників надійності роботи ЕУ тепловозів; [29] запропонована модель техніко-економічного обґрунтування застосування паливомірів з метою підвищення енергетичної ефективності експлуатації ЕУ тепловозів; [30, 31, 37] розроблена модель підвищення енергетичної ефективності експлуатації тепловозів та аналіз змін енергетичної ефективності в залежності від умов експлуатації; [32] запропонована модель нечіткого регулювання кута випередження впорскування палива; [34, 35, 44] запропоновано метод та пристрій регенерації мастила безпосередньо на працюючому дизелі (бортовий варіант); [47] запропонована математична модель раціонального розміщення центрів регенерації моторних мастил на мережі залізниць; [36, 41] розроблена раціональна технологія підготовки ЕУ тепловозів до роботи взимку; [45, 46] розроблена модель сезонних змін енергетичної ефективності тепловозів та проведено аналіз змін енергетичної ефективності в залежності від умов експлуатації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на таких конференціях: 55-73 науково-технічних конференціях з міжнародною участю УкрДАЗТ (ХІПТ, ХарДАЗТ, 1995-2011 рр.); 13-18 міжнародних школах-семінарах «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті» (м. Алушта, 2000-2005 рр.); науково-практичній конференції «Актуальные проблемы Транссиба на современном этапе» (г. Новосибирск, СГУПС, 2001 г.); 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт Евразии: взгляд XXI век» (г. Алматы, КУПС, 2002 г.); 1-й науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи транспортних систем» (м. Київ, КУЕТТ, 2003 р.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економії енергії» (м. Львів, НУ «Львівська політехніка», 2003 р.); всеросійської науково-практичної конференції «Актуальные проблемы развития транспорта России» (г. Ростов-на-Дону, РГУПС, 2004г.); XI-XVI міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (м. Луганськ, республіка Крим, ВНУ, 2001-2006 рр.); 6,7 науково-практичних конференціях «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2005-2006 гг.); 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (м. Судак, КУЕТТ, 2007 р.); I міжнародної науково-технічної конференції "Инновационные технологии на железнодорожном транспорте" (м. Красний Лиман, 2010 р.); II міжнародної науково-технічної конференції "Инновационные технологии на железнодорожном транспорте" (г. Сочи, ВНУ, 2011 г.).

Результати, одержані при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися і отримали схвалення на засіданнях та наукових семінарах кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ у 1998, 2005, 2008, 2010 рр.

Повністю дисертаційна робота доповідалася:

- на розширеному засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» за участю членів спеціалізованої вченої ради, Українська державна академія залізничного транспорту (м. Харків, 2011 р.);
- на розширеному науковому семінарі кафедри «Залізничний транспорт», Східноукраїнський університет ім. В.Даля (м. Луганськ, 2011 р.);
- на розширеному науковому семінарі кафедри «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна, (м. Дніпропетровськ, 2011 р.);
- на науково-технічному семінарі ХФ Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України (м. Харків, 2011 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані в 35 основних наукових працях, серед них 33 праці у фахових виданнях ВАК України (21 праця виконана автором одноосібно), 2 патенти України, а також у 21 додаткових працях, серед яких 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг складає 381 сторінку, у тому числі 293 сторінки основного тексту, 32 таблиці, 123 рисунка. Розташовані на окремих сторінках таблиці та рисунки займають 48 сторінок. Список використаних джерел включає 396 найменувань на 37 сторінках, 8 додатків розташовано на 49 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок здобувача та публікації.

У **першому розділі** виконаний аналіз впливу сезону експлуатації на надійність роботи та економічність енергетичних установок тепловозів. Показано, що головною задачею при підготовці ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації є виконання необхідних регулювань та підтримка технічного стану й енергоефективності на рівні, достатньому для виконання ними заданих функцій. Існуюча зараз система утримання та підготовки ЕУ тепловозів не відповідає сучасним вимогам. Вона не враховує кліматичну та сезонну інтенсивність зміни параметрів роботи ЕУ тепловозів, конструктивні особливості тепловозів різних серій. Для вирішення задачі необхідна принципово нова концепція підготовки та регулювання ЕУ тепловозів при зміні сезону експлуатації.

Питанням визначення, прогнозування і поліпшення техніко-економічних показників функціонування тепловозів та їх ЕУ приділяється багато уваги.

Фундаментальні дослідження в цьому напрямку виконувались і виконуються як у наукових організаціях: Всеросійському науково-дослідному інституті залізничного транспорту, Державному підприємстві «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Московському, Омському, Петербурзькому, Ростовському державних університетах шляхів сполучення, Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна, Східноукраїнському національному університеті ім. В.Даля, Українській державній академії залізничного транспорту, Національному технічному університеті «НТУ ХПІ» та ін., так і на виробничих підприємствах: Відкритому акціонерному товаристві Холдингова компанія «Луганськтепловоз», Виробничому об'єднанні «Завод ім. Малишева», Державному підприємстві Науково-виробничої компанії «Електровозобудування», Промисловій групі «Трансмашхолдинг» (РФ) та ін.

Питання підвищення техніко-економічних показників роботи залізничного транспорту за рахунок упровадження ресурсозберігаючих технологій висвітлені в дослідженнях М.І.Данька, Д.В.Ломотька та ін. Підвищенню техніко-економічних показників функціонування рухомого складу та ЕУ тепловозів при зміні умов експлуатації присвятили дослідження такі вчені, як О.Б.Бабанін, Г.Г.Басов, А.Д.Беленький., Є.П.Блохін, Б.Є.Боднар, А.А.Босов, В.О.Браташ, Т.В. Бутько, Є.С.Венцель, О.І.Володін, Г.К.Гетьман, О.Л.Голубенко, С.Г.Грищенко, В.Х.Далека, С.Г.Жалкін, М.Б.Кельрих, І.К.Колесник, Є.Є.Коссов, А.П.Кудряш, С.М.Куценко, В.Г.Маслієв, К.П.Міщенко, В.І.Мороз, С.В.Мямлін, А.Т.Осяєв, А.Е.Симсон, Е.Д.Тартаковський, А.П.Фалендиш, В.А.Четвергов та ін.

Аналіз виконаних робіт та відомих методів визначення показників функціонування ЕУ тепловозів при зміні сезону експлуатації показав, що немає науково обґрунтованих моделей зміни їх надійності та економічності, однозначних визначень понять сезонних змін і сезонності, їх наявності та механізмів впливу.

На основі проведеного аналізу, у першому розділі сформульовано мету і задачі дисертації. На підставі зроблених висновків окреслені основні етапи вирішення завдань дисертації та коло методичних питань, що потребують вирішення, таких як проведення аналітичних досліджень, розроблення методик випробувань, модернізація наявного обладнання й апаратури, доопрацювання існуючого та створення нового програмного забезпечення.

**У другому розділі** розроблено теоретичні положення визначення наявності сезонних коливань показників використання ЕУ тепловозів та визначення їх впливу на зміну надійності роботи й енергоефективності використання.

Експлуатація енергетичних установок тепловозів у різні сезони (місяці року) супроводжується зміною показників їхнього використання і надійності. Визначення періодів експлуатації, що чинять однаковий (різний) вплив на надійність ЕУ тепловозів, необхідно для встановлення термінів проведення сезонних регулювань, а також проведення оптимізації системи підготовки до сезонної експлуатації. Подібний підхід дозволив розглянути поведження системи

як комбінацію детермінованих і стохастичних характеристик, відновити залежності, що описують її поведінку, дати прогноз їх зміни, розробити керуючі впливи для оптимізації.

Дані про зміну показників системи підготовки ЕУ до сезонної експлуатації збиралися та оброблялися у вигляді часових рядів. Характерним для часового ряду  $x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tn}$  є те, що порядок у послідовності  $t_1, t_2, \dots, t_n$  істотний для аналізу, тобто час виступає як один з визначальних факторів. Аналіз даних про зміну показників ЕУ показав, що цей процес характеризується двома законами розподілу: нормальним (чи близьким до нього) законом розподілу значень  $X_{ti}$  і невідомим законом розподілу часових інтервалів між змінами значень  $X_{ti}$  і  $X_{ti+1}$ . Моделювання такого, за своєю суттю випадкового, процесу проводилося з використанням моделей часового ряду

$$X_t = TC \cdot S \cdot \varepsilon_t \text{ або } X_t = TC + S + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де  $X_t$  – математичне чекання розподілу випадкової величини  $X$  у момент часу  $t$ ;

$TC$  – тренд-циклічна компонента (аналог функції математичного чекання випадкового процесу  $X$ );

$S$  – сезонна компонента (незмінна в різних реалізаціях випадкового процесу);

$\varepsilon_t$  – випадкова компонента, що має нульове математичне чекання і незмінну в різних перетинах випадкового процесу дисперсію.

Подібне подання процесу зміни показників ЕУ тепловозів викликає необхідність вирішення таких задач:

– опис цих сезонних змін кількісно (наприклад у вигляді коефіцієнтів сезонності);

– визначення наявності сезонних змін величини  $X_{ti}$ ;

Вирішення цих задач ускладнюється малою кількістю вихідних даних про процес експлуатації ЕУ тепловозів, викликане скороченням парку тепловозів, а також прийнятою системою звітності.

Періодичні коливання в часових рядах зміни показників використання ЕУ визначалися послідовним розрахунком середніх сезонних показників та сезонних індексів

$$\bar{X} = \frac{1}{k \cdot n} \sum_i \sum_j x_{ij} = \frac{1}{k} \sum_j x_j, \\ I_i = \frac{\bar{X}_j}{\bar{X}}, \quad (2)$$

де  $n$  - число інтервалів часу;

$i$  - індекс інтервала;

$j$  - індекс інтервала сезонності;

$k$  - кількість інтервалів сезонності.

Імовірність безвідмовної роботи ЕУ тепловозів при зміні сезону експлуатації

$$P_{\Delta\sigma} = \prod_{i=1}^{\tau} P_{\Delta\sigma i} P_{\Delta\sigma ci}, \quad (3)$$

де  $P_{\Delta\sigma i}$  - імовірність безвідмовної роботи, незалежна від сезону експлуатації;  
 $P_{\Delta\sigma ci}$  - імовірність безвідмовної роботи, залежна від сезону експлуатації.

Для уточнення оцінок характеристик розподілу випадкової величини  $X$  у моменти часу  $t$  застосовувалася бутстреп-процедура, що є альтернативою асимптотичному підходу при побудові статистичних висновків і має кращі властивості в кінцевих вибірках. Для вирішення поставленої задачі класифікації особливий інтерес має те, що застосування бутстреп-процедур, дозволило зменшити дисперсію вихідних даних, тобто перетворити їх у зручний для порівняння вигляд.

Класичне подання системи технічного обслуговування ЕУ припускає її опис або як детермінованої системи, з незмінними протягом тривалого часу характеристиками, або як стохастичної системи, характеристики якої можуть бути визначені після збору статистичної інформації з визначеною вірогідністю. У дисертаційній роботі система підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації розглядалася як нелінійна динамічна система з хаотичним поведінням, що має характеристики квазістабільності і квазіперіодичності. Для встановлення типу руху системи визначалися її характеристики – розмірність, ентропія, спектр показників Ляпунова.

Кореляційна розмірність  $D_2$  характеризує ступінь складності динаміки досліджуваної системи. Для хаотичних динамічних систем розмірність дробова

$$D_2 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{C(\varepsilon)}{\log \varepsilon} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{M(\varepsilon)} p_i^2}{\log \varepsilon}, \quad (4)$$

де  $p_i^2$  - імовірність того, що пари точок атратора належать  $i$ -му кубу розміру  $\varepsilon$ .

Розмірність  $D_2$  визначається значенням кореляційного інтеграла  $C(\varepsilon)$ , що характеризує відносне число пар точок  $x_i, x_j$ , вилучених на відстані  $r_{i,j} = \rho(x_i, x_j) \leq \varepsilon$

$$C(\varepsilon) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m^2} \sum_{i,j=1}^m \theta(\varepsilon - \rho(x_i, x_j)), \quad (5)$$

де  $\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0 \end{cases};$

$x_i$  - точки у фазовому просторі;

$\rho$  - відстань.

Характерний час, на який може бути спрогнозоване поведіння системи, обернено пропорційне ентропії Колмогорова. Для істинно випадкових процесів ентропія необмежено велика. Числове значення ентропії є кількісною характеристикою ступеня хаотичності системи. Набір характеристичних показників Ляпунова описує поведіння траєкторій у фазовому просторі. Значення максимального показника Ляпунова дозволяє ідентифікувати тип

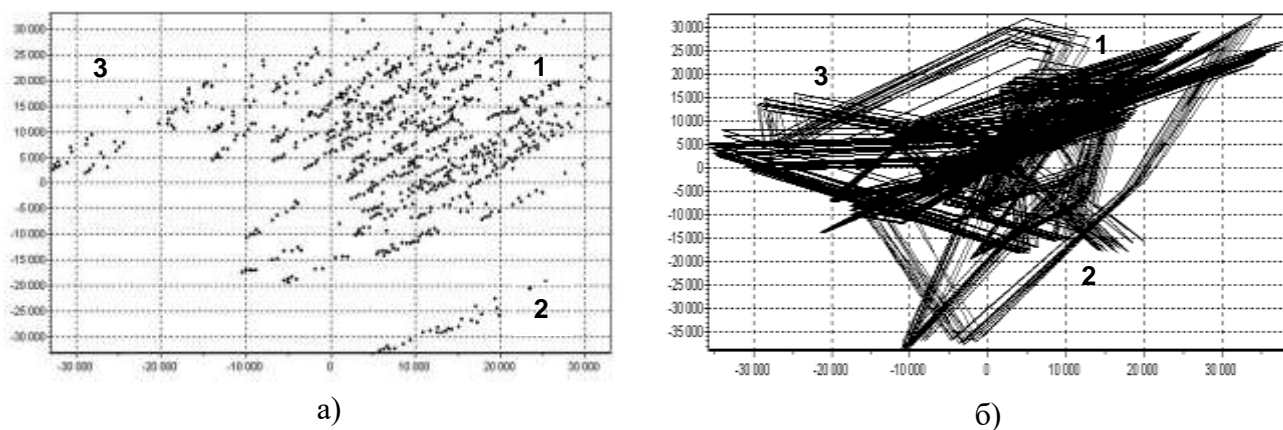
динаміки системи: коли  $\lambda_{\max} > 0$ , динаміка системи хаотична. Визначене значення кореляційної розмірності  $D_2 = 1,17 \pm 0,07$  указує на можливість появи у досліджуваній системі режимів динамічного хаосу. Значення кореляційної ентропії  $K_2 = 0,191$  показує можливість прогнозування значень ряду, а також близькість до періодичного процесу, що протікає у системі. Наявність позитивного ляпуновського показника,  $\lambda_{\max} = 0,22 \pm 0,03$ , відображає чутливу залежність динамічної системи від початкових умов. Максимальний характеристичний показник Ляпунова визначався за формулою

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{t_M - t_0} \sum_{k=1}^M \log_2 \frac{L'(t_k)}{L(t_{k-1})}, \quad (6)$$

де  $M$  - загальне число кроків.

Побудований, за програмою Fraktan 4.4, фазовий простір (рис. 1) з лаговою затримкою  $\tau=2$  показує наявність двох аттракторів і нестійких перехідних режимів. Біфуркації між аттракторами викликають появу квазіперіодичних коливань.

Для виявлення наявності тенденції зміни показників ЕУ використано метод Херста, орієнтований на виявлення та оцінку нестационарних компонентів випадкового процесу. Ця модель узагальнює динамічні процеси у вигляді залежності відношення розмаху  $R$  накопиченого відхилення від середнього до середньоквадратичного відхилення  $S$ , від часу спостереження (або обсягу вибірки  $N$ )



1 – основна траєкторія; 2, 3 – біфуркації та сезонні траєкторії  
а) проекція на площину; б) траєкторії у просторі;

Рис. 1. Фазовий простір з розмірністю  $D_2=3$  системи зміни коефіцієнта використання ЕУ тепловозів

$$(R/S) = (A \cdot N)^H, \quad (7)$$

де  $A$  - постійна;

$H$  - показник Херста.

Чим більше  $H$ , тим сильніша тенденція розвитку. Показник Херста ряду зміни коефіцієнта використання ЕУ тепловозів  $H = 0,8033 \pm 0,1410$ , фрактальна розмірність  $D = 2 - H = 1,1967 \pm 0,141$ .

Проведений аналіз даних про зміну показників ЕУ тепловозів за допомогою перетворення Фур'є:

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j2\pi n k N}; \quad X_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k \cdot e^{-j2\pi n k N}, \quad (8)$$

дозволив визначити їх спектральну щільність  $S_x = R_x(\tau) e^{-j2\pi n k N} = \sum_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi n k N}$

залежно від періоду (частоти) зміни і виділити періодичності зміни з періодами 3, 6 і 12 місяців.

Для аналізу наявності сезонних коливань показників ЕУ тепловозів в дисертаційній роботі застосовувався вейвлет-аналіз. Для безупинного вейвлет-перетворення були використані два типи вейвлетів: вейвлет Морле, що дозволяє виявляти періодичні складові сигналу, і *МНАТ*-вейвлет, що використовують для вивчення перерозподілу сигналу на різних масштабах часу. На відміну від Фур'є - перетворення, де як базис використовуються гармонійні функції, базис вейвлет - розкладання становить локалізована у часі, хвилеподібна функція:

$$\psi_{a,b} = \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (9)$$

де  $t$  - час;

$a$  - являє собою масштабний коефіцієнт і визначає величину розтягання вейвлета;

$b$  - має розмірність часу і визначає величину зсуву вейвлет - функції.

Обчислення вейвлет-перетворення здійснюється шляхом згортання досліджуваної часової послідовності з вейвлет - функцією

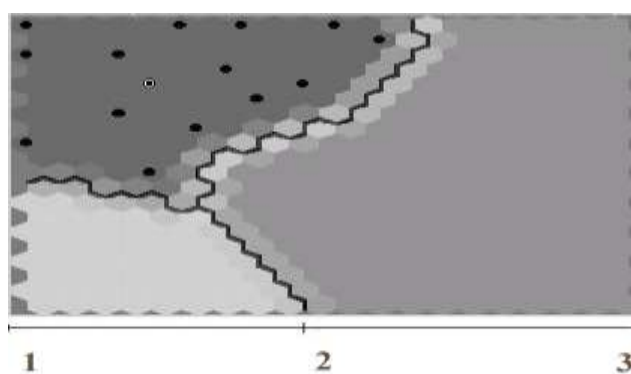
$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \psi_{a,b}(t) \cdot dt. \quad (10)$$

Результатом вейвлет - перетворення сигналу є двомірний набір коефіцієнтів  $W(a,b)$ .

Як досліджуваний сигнал використовувалися масиви даних про зміну коефіцієнтів готовності та витрат палива вантажних тепловозів локомотивних депо Південної залізниці, а також дані по Одеській і Донецькій залізницях. Дані збиралися протягом 5 років на підставі існуючої статистичної звітності і піддавалися безупинному вейвлет-перетворенню, за допомогою системи Matlab, з метою одержання вейвлет спектра.

Для урахування нечіткості зміни показників використання ЕУ тепловозів при різних сезонах, для різних років експлуатації, класифікація станів системи проводилася за допомогою нечітких алгоритмів кластеризації –  $k$  – нечітких середніх та гібридних нейронних мереж. Відповідно до системи підготовки до сезонної експлуатації ЕУ тепловозів об'єкти для нечіткої класифікації - показники за кожен місяць року. Кількість цих об'єктів визначається терміном спостережень. Розбиття множини  $X$  на нечіткі підмножини  $S_i$  може бути описано функцією належності  $\mu_{S_i}: \delta \rightarrow [0,1]$ . При нечіткій кластеризації об'єкт одночасно належить різним кластерам, але з неоднаковим ступенем.

Процедура нечіткої кластеризації, за допомогою системи аналізу Deductor 5.2, виявила три кластери та матрицю належності кожного стану до цього кластера. Виявлене число кластерів дозволило застосувати автоматичну класифікацію станів системи експлуатації тепловозних дизелів з використанням карт Кагонена, які мають структуру, що самоорганізується. Після навчання мережи одержуємо автоматичний класифікатор, який здатний виявити момент наявності переходу ЕУ тепловоза у стан, який супроводжується сезонною зміною надійності та економічності. Результати роботи нейронної мережі Кагонена, що самонавчається, наведені на рис.2.



Лівий верхній клас відповідає сезону – весна, лівий нижній – осені, правий – зимі та літу

Рис.2. Карта Кагонена з розподілом стану тепловозних ЕУ на три класи

**У третьому розділі** розглянута побудова моделей, що дозволяють провести аналіз змін та прогнозування показників системи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації. Розглянуто моделі обробки часових рядів за допомогою різних методів: лінійних (багатофакторної регресії, авторегресії, ковзного середнього та їхніх комбінацій), адаптивних лінійних моделей (методів згладжування), моделей у просторі станів; методів обчислювального інтелекту (нечіткі системи, штучні нейронні мережі та їхні комбінації).

Загальний вид регресійної моделі з фіктивними змінними для розглянутого випадку сезонної експлуатації:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^q b_i x_i + \sum_{q+1}^m \sum_{1}^{11} a_{ij} z_{ij} + \varepsilon_x. \quad (11)$$

Коефіцієнти регресії моделі характеризують:

$b_i$  - чистий ефект впливу зміни (фактора)  $x_i$ ;

$a_{ij}$  - вплив  $k$ -ї градації  $r$ -го фактора ( $k \neq r$ ) на змінну  $y$ .

Відсутність статистичного впливу змінних  $z_{ij}$ , уведених у модель з метою урахування ефекту сезонності, на функцію  $y$  означає відсутність сезонності у вихідних даних, і навпаки, значущість коефіцієнтів регресії при цих змінних дозволяє оцінити напрямок і величину цього впливу.

Розглянута методика регресійного аналізу застосована для аналізу даних про зміну  $K_{ТВ}$  ЕУ тепловозів, що наведені на рис. 3. Для урахування впливу зміни показників використання тепловозів та сезонної експлуатації на зміну



$K_{\text{ТВ}} \in [0,69 \dots 0,93]$  (цільова функція) у модель спочатку уведено шість факторів (керованих змінних) – простій на ТО-3, год; трудомісткість ТО-3, люд·год; простій на ПР-1, год; трудомісткість ПР-1, люд·год; інтенсивність надходження тепловозів на непланові ремонти од.; простій на позапланових ремонтах, год. Дані збиралися на основі існуючої статистичної звітності депо і усереднювалися у межах місяця року. Для урахування фактора сезонності у модель уведено 11 бінарних змінних  $M \in [0;1]$ . Загальна кількість змінних факторів і функції відгуку дорівнює 60. Результати застосування стандартної процедури множинної лінійної регресії у програмі Statistica 6 показані на рис. 3 і наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати регресії  $K_{\text{ТВ}}$ 

$R=,95522347$ $R^2=,91245188$ Уточнений $R^2=,90066656$ $F(7,52)=77,423$ $p<0,00000$ Std.Error of estimate: 0,01595						
	BETA	ST. ERR.	B	ST. ERR.	t_(52) _	p-level
Пост.			0,968208	0,017870	54,1804	0,000000
<i>PZT</i>	-0,747276	0,042240	-0,001290	0,000073	-17,6912	0,000000
<i>PR1</i>	-0,387480	0,047529	-0,000953	0,000117	-8,526	0 000000
<i>PZ</i>	0,165253	0,052703	0,000283	0,000090	3,356	0,02821
<i>M11</i>	-0,139924	0,041535	-0,025412	0,007543	-3,3688	0,01428
<i>M3</i>	-0,089314	0,044149	-0,016220	0,008018	-2,0230	0,048227

Значущими на підставі  $t$ -критерію визнані 3 фактори - простій на позапланових ремонтах ( $PZT \in [10 \dots 150]$ ), простій на ПР-1 ( $PR1 \in [141 \dots 129]$ ) та інтенсивність надходження на позапланові ремонти ( $PZ \in [77 \dots 197]$ ). Коефіцієнт детермінації  $R^2$  дорівнює 0,912, тобто включені в модель фактори пояснюють 91,2 % варіації  $K_{\text{ТВ}}$ . Значення  $F$ -критерію і рівень вірогідності  $p$ -level свідчать про адекватність моделі. Значущими також є коефіцієнти регресії при фіктивних змінних ( $M3$  та  $M11$ ), які відповідають березню і листопаду. Їхня величина і знак дозволяють зробити висновок про зниження  $K_{\text{ТВ}}$  у ці періоди експлуатації відповідно на 8,9 % та 13,9 %.

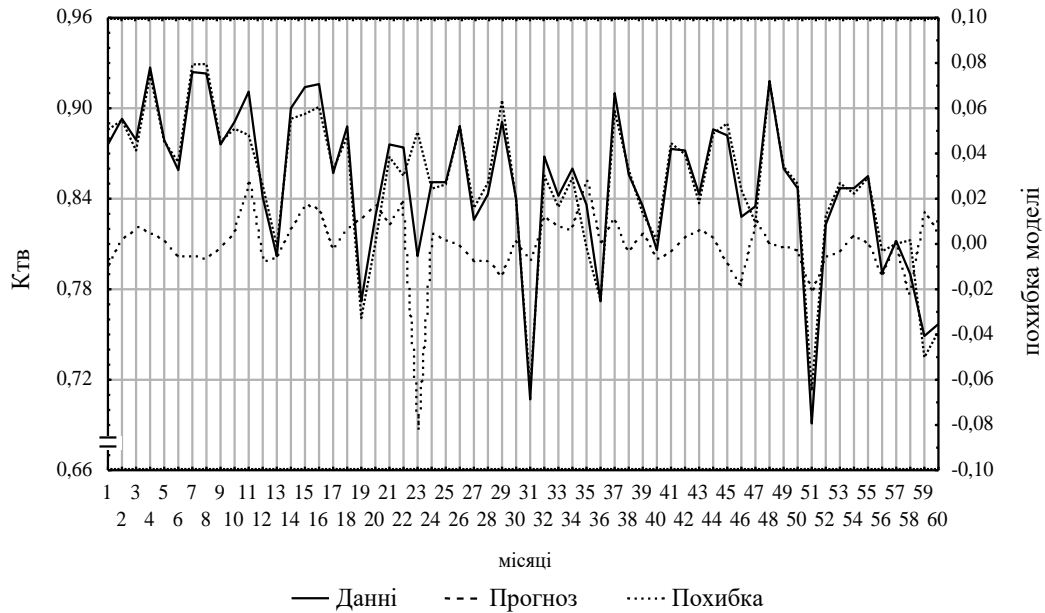


Рис. 3. Зміна коефіцієнта технічного використання ЕУ тепловозів

Аналіз робіт професорів О.Б.Бабаніна, М.Н.Бідняка, Т.В.Бутько, М.С.Захарова, Е.Д.Тартаковського та дослідження, виконані в дисертаційній роботі, показали, що вхідні потоки тепловозів на ТО-3, НР є близькими до пуассонівських з щільністю  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ , вхідний потік на ПР-1 також близький до найпростішого. Потоки поновлення можуть бути описані за допомогою розподілу Ерланга 2-го порядку з щільністю розподілу  $f(t) = (2\mu)^2 t e^{-2\mu t}$ . Розглядаючи експлуатацію і ремонт як нестационарний марковський процес з безупинним часом, складено систему диференціальних рівнянь Колмогорова, що описують поведінку системи. При цьому враховувалось те, що інтенсивності переходу між станами залежать від часу (сезону експлуатації):  $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(t)$ ,  $\mu_i = \mu_i(t)$ ,  $P_{ijk} = P_{ijk}(t)$ ,

$$\lambda_{13} = \frac{1}{\bar{T}_{\text{ТО-3}}}, \lambda_{31} = \frac{1}{\bar{D}_{i \rightarrow \text{ТО-3}}}, \lambda_{32} = \frac{1}{\bar{D}_{i \rightarrow \text{ПР-1}}}, \lambda_{12} = \frac{1}{\bar{D}_{i \text{Д}}} = \Omega(t), \mu_1 = \frac{1}{\bar{T}_{\text{НР/НР}}}, \mu_2 = \frac{1}{\bar{T}_{\text{НР/ТО-3}}}, \mu_3 = \frac{1}{\bar{D}_{i \rightarrow \text{ПР-1}}},$$

де  $\bar{T}_{\text{ТО-3}}$ ,  $\bar{D}_{i \rightarrow \text{ТО-3}}$ ,  $\bar{D}_{i \rightarrow \text{ПР-1}}$ ,  $\bar{D}_{i \text{Д}}$ ,  $\bar{T}_{i \rightarrow \text{ПР-1}}$ ,  $\bar{D}_{i \rightarrow \text{ТО-3}}$ ,  $\bar{D}_{i \rightarrow \text{ПР-1}}$  - відповідно математичні очікування розподілів часу роботи між ТО-3, часу очікування ТО-3 та ПР-1, часу між позаплановими ремонтами, простою на позапланових ремонтах, ТО-3, ПР-1;

$\Omega(t)$  - параметр потоку відмов.

Визначаючи інтенсивності переходу за даними депо для різних місяців року, одержано залежність зміни коефіцієнта технічного використання в залежності від сезону експлуатації. Дійсний процес експлуатації супроводжується відхиленнями законів розподілу інтенсивностей переходу із стану у стан, зміною кількості тепловозів, що приводить до необхідності визначення умов застосування розглянутої методики.

Порівняння даних, одержаних різними методами, виконано на основі імітаційного моделювання процесу експлуатації та ремонту ЕУ тепловозів. Відповідно до вимог та особливостей процесів сезонної експлуатації ЕУ,

розглянутих у попередніх розділах, розроблено імітаційну модель системи ремонту й технічного обслуговування. Для складання програми використано мову імітаційного моделювання GPSS, а для одержання результатів - систему моделювання GPSS Word. Система ремонту ЕУ тепловозів розглянута як багатоканальна замкнута система масового обслуговування. Розроблена програма дозволяє оперативно змінювати парк тепловозів і число позицій для ремонту, інтенсивності надходження тепловозів на ремонт і виходу з ремонту та функції їх розподілу. Розроблена модель та програма підтвердила можливість визначення характеристик системи ТО та ПР ЕУ тепловозів за методом динаміки середніх.

Для виявлення тренд-циклічної компоненти, сезонних коефіцієнтів та випадкової компоненти застосована сезонна декомпозиція статистичних даних. Тренд-циклічна компонента після апроксимації її поліномом дозволяє прогнозувати наступні значення ряду. Значення прогнозу визначається як  $X_{t+n} = TC_t + n \cdot S_t$ . Зразок прогнозу показав, що при відсутності тренда чи нахилу рівня метод дає хороші результати.

Для урахування ступеня старіння даних, використовуваних для прогнозу, використовувався різновид методу згладжування часових рядів - експонентне згладжування. Були розглянуті сезонні моделі, у яких прогнози обчислюються не тільки за попередніми спостереженнями (як у простому експонентному згладжуванні), але і з деякими затримками, що дозволяє незалежно оцінити тренд і сезонну складову.

Для аналізу та прогнозу сезонних змін показників ЕУ в роботі використано дві моделі - сезонного експоненціального середнього з лінійним трендом і сезонного експоненціального середнього з експоненціальним трендом.

$$\bar{X}_{1,t} = \alpha \frac{X_t}{\hat{f}_{t-1}} + (1 - \alpha)(\bar{X}a_{1,t-1} + \bar{X}a_{2,t-1}); \quad (12)$$

$$0 < \alpha, \delta, \gamma < 1.$$

Прогноз значення наступного члена ряду визначався:

$$X_\tau(t) = (\bar{X}_{1,t} + a_{2,t}^\tau) \hat{f}_{t-1+\tau}, \quad (13)$$

де  $\bar{X}_t$  - оцінка  $X_t$ .

Модель добре описує поведінку ряду, враховує зміни його рівня, але дає значні помилки прогнозу при зміні його тренду.

Для аналізу та прогнозування нестационарних рядів показників використання ЕУ тепловозів у роботі використана модель авторегресії та інтегрованого ковзного середнього (АРІКС). Модель у сезонному варіанті описується шістьма структурними цілочисловими параметрами  $p, d, q, ps, ds, qs$  (позначення - АРІКС( $p, d, q$ )( $ps, ds, qs$ ) $s$ ) і формально записується у вигляді  $\varphi^s(B^s) \rho(B) X_t^d = q^s(B^s) q(B) \varepsilon_t$ .

Задачею ідентифікації моделі є визначення порядків простої і сезонної різниць  $d$ . При явно вираженій сезонності спочатку беруть сезонну різницю, а потім, за необхідності, просту.

Для визначення параметрів моделі АРІКС необхідно, щоб ряд був

стаціонарним. Це означає, що його середнє значення постійне, а вибіркові дисперсія та автокореляція не змінюються у часі.  $M(X_t) = m_x \rightarrow const$ ,  $M(X_t - m_x)^2 = \sigma_x^2 \rightarrow const$ ,  $f(t_1; x) = f(t_2; x) = f(x)$ . Тому різницю ряду беруть доти, поки часовий ряд не стане стаціонарним. Число різниць, які були взяті, щоб досягти стаціонарності, визначає параметр  $d$ . Основними інструментами ідентифікації порядку моделі  $d$  є графіки автокореляційної функція (АКФ) та часткової автокореляційної функції (ЧАКФ). Для оцінювання параметрів моделі потрібно мати, як мінімум, 48-60 спостережень.

Виходячи з проведеного аналізу на основі критеріїв якості моделей, можна зробити висновок, що моделі АРІКС найбільш придатні для проведення досліджень за визначенням наявності сезонних коливань у часових рядах показників використання ЕУ тепловозів, оскільки дають можливість виразити поточні значення ряду в явній, числовій формі, перетворити нестаціонарні ряди взяттям різниці до стаціонарної форми (виключити тренд), дозволяють одержати прогнозні значення на порівняно тривалий період (6-12 місяців) з малою помилкою прогнозу, залишки якого не мають періодичних залежностей.

Застосування описаних вище моделей залежить від цілей і задач аналізу часових рядів. Для опису поведінки порівняно "коротких" рядів (12-24 вимірів) може застосовуватися метод експонентного згладжування. Для більш "довгих" рядів (24-96 вимірів) доцільне застосування методу АРІКС. Прогнозування на основі нейромереж вимагає значного (100-500) числа вимірювань і можливе лише при щоденному збиранні та обробці інформації щодо процесу експлуатації ЕУ. Для особливо тривалих прогнозів може застосовуватися метод багаторазового згладжування з наступною апроксимацією виділеного тренда поліномом.

Перевагою цих методів є слабка чутливість до пропущених даних, можливість аналізу нестаціонарних даних.

**У четвертому розділі** розглянуто моделі підвищення ефективності процесів підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації. Модель раціонального вибору та обсягів робіт при проведенні сезонної підготовки і регулювання побудовано за допомогою теорії нечітких множин. Як цільова функція приймається задача підтримки надійності роботи ЕУ тепловоза в різні сезони експлуатації на приблизно постійному рівні (у межах заданого рівня коефіцієнта технічного використання). Як обмеження задаються: обмеження на простій тепловоза при проведенні ремонту; обмеження за наявними ресурсами (трудомісткість ремонту, матеріали, устаткування). Завдання ухвалення рішення в загальному вигляді математично описує множину припустимих альтернатив, тобто множину циклових і понадциклових робіт, що виконують при підготовці ЕУ тепловоза. До понадциклових робіт відносяться як додаткові роботи (виконувані для усунення виявлених несправностей), не передбачені для виконання при відповідному виді ремонту, так і додаткові діагностичні та регулювальні операції (необхідність виконання яких зв'язана зі зміною сезону експлуатації).

Для аналізу та вирішення даного завдання нечіткого математичного програмування (н.м.п.) застосовано підхід Беллмана-Заде. Відповідно до цього

підходу, завдання н.м.п. формулюється як виконання нечітко визначеної мети, причому рішенням вважається перетинання нечітких множин мети та обмежень.

Нехай  $X$  - множина альтернатив, тобто сукупність варіантів проведення ремонтних операцій. Нечіткою метою в  $X$  є нечітка підмножина "максимально можливий коефіцієнт готовності ЕУ тепловоза", яка позначається  $G$ . Якщо  $X$  - множина альтернатив, то однозначне відображення  $\varphi: X \rightarrow I$  буде реакцією системи ремонту ЕУ тепловоза на вхідні впливи (ремонтні операції)  $x \in X$ . Нечітка мета при цьому буде задаватися у вигляді нечіткої підмножини  $G$  множини реакцій  $I$  та описуватися функцією приналежності  $\mu_G: I \rightarrow [0,1]$ . Значення цієї функції  $\mu_G(x)$  для конкретного  $x$  вважаємо ступенем приналежності цього елемента нечіткій підмножині  $G$ . Нечітка множина альтернатив  $\mu_G$ , що забезпечують досягнення заданої мети  $G$ , являє собою прообраз нечіткої множини  $\mu_G$  при відображенні  $\varphi$ , тобто

$$\mu_G(x) = \mu_G(\varphi(x)), x \in X \quad (14)$$

Чим більше ступінь приналежності альтернативи  $x$  нечіткій підмножині мети  $G$ , тобто чим більше значення  $\mu_G(x)$ , тим більший ступінь досягнення цієї мети при виборі альтернативи  $x$  як рішення. Після цього вихідне завдання розглядається як досягнення нечіткої мети  $\mu_G$  при заданих нечітких обмеженнях.

Перше нечітке обмеження "уникати перепростою на ремонті" є нечіткою підмножиною  $C_1$  множини реакцій  $I$ . Описується дане нечітке обмеження функцією приналежності

$$\mu_{C_1}(x) = \mu_{C_1}(\varphi(x)), x \in X. \quad (15)$$

Друге нечітке обмеження "використати мінімальне число ресурсів" є нечіткою підмножиною  $C_{2k}$  множини альтернатив  $X$ , що описується функцією приналежності  $\mu_{C_{2k}}(x)$ , де індекс  $k$  - указує на вид ресурсу (трудомісткість, матеріали, устаткування).

Нечітким рішенням завдання досягнення нечіткої мети буде перетинання нечітких множин мети та обмежень, тобто функція приналежності рішень  $\mu_D$  має вигляд

$$\mu_D(x) = \max \{ \mu_G(x) \wedge \mu_{C_1}(x) \wedge \mu_{C_{2k}}(x) \}. \quad (16)$$

Одержане таким способом рішення можна розглядати як нечітко сформульовану пораду, виконання якої забезпечує досягнення нечітко поставленої мети. При такому поданні рішення залишається невизначеність, пов'язана з тим, яку альтернативу вибрати.

ЕУ тепловоза є сукупність різних систем (шатунно-поршневої, паливної, змащення, наддування тощо), для кожної з яких необхідне рішення вищеописаного завдання. Крім того, рішення основного завдання, підтримка максимально можливого рівня надійності ЕУ тепловоза, визначає обов'язковість узгодження рішень на всіх рівнях, тобто рішення завдання стає багатоетапним. Стан системи та значення керування в момент часу  $t$ ,  $t=0,1,\dots,N-1$ , позначимо  $x_t$  та  $u_t$  відповідно. Функціонування системи, тобто її переходи зі стану в стан,

описується системою рівнянь стану

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t), t = 0, 1, \dots, N-1 \quad (17)$$

У будь-який момент часу  $t$  значення керування  $u_t$  підкоряється заданій нечіткій меті  $G$  при нечітких обмеженнях  $C_1, C_{2k}$ , які описуються нечіткими підмножинами множини  $U$  з функцією приналежності  $\mu_t(u_t)$ .

Завдання керування полягає в тому, щоб вибрати послідовність керувань  $u_0, u_1, \dots, u_{N-1}$ , що задовольняє нечітким обмеженням  $C_1, C_{2k}$ , і забезпечити досягнення нечіткої мети  $G_N$ .

Нечітке рішення даного завдання представлено у вигляді

$$\mu_D(u_0, \dots, u_{N-1}) = \max \{ \mu_0(u_0), \dots, \mu_{N-1}(u_{N-1}), \mu_{G_N}(x_N) \} \quad (18)$$

Максимізуючим рішенням є послідовність керувань  $u_0, u_1, \dots, u_{N-1}$ , що має максимальний ступінь приналежності до нечіткого рішення  $D$ ,

$$\mu_D(u_0, \dots, u_{N-1}) = \max_{u_0, \dots, u_{N-1}} \min \{ \mu_0(u_0), \dots, \mu_{N-1}(u_{N-1}), \mu_{G_N}(x_N) \} \quad (19)$$

Підвищення ефективності системи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації можлива також за рахунок зміни міжремонтного пробігу з урахуванням сезонних змін показників ЕУ тепловозів. У попередніх розділах на основі зібраного статистичного матеріалу по ряду депо і залізниць Укрзалізниці та обробки їх з використанням теорії часових рядів показано, що показники ЕУ тепловозів істотно змінюються в залежності від сезону експлуатації. Змінам піддаються значення питомої експлуатаційної витрати палива, виконуваної тепловозом роботи, дільничної швидкості, витрат на проведення планових ремонтів (через зміну трудомісткості виконуваних робіт), витрат на проведення позапланових ремонтів (через зміну їхньої кількості в залежності від сезону експлуатації).

Зазначена сезонна нерівномірність показників тепловозів може привести до зміни значення оптимального міжремонтного пробігу (у бік збільшення чи зменшення). Для урахування сезонних коливань складових в уточненій моделі вибору раціонального міжремонтного пробігу пропонується їх опис у мультиплікативному вигляді.

Для розглянутої моделі

$$\begin{aligned} g_{e0i}^{\hat{a}} &= g_{e0}^{\hat{a}} \cdot f_i, & \hat{A}_i(L_p)_i &= \hat{A}_i(L_p) \cdot f_j, \\ B_{iD}^j &= B_{iD} \cdot f_k, & A_i &= A \cdot f_n, & V_{\hat{A}^2 \hat{E}i} &= V_{\hat{A}^2 \hat{E}} \cdot f_m, \end{aligned} \quad (20)$$

де  $f_i, f_j, f_k, f_n, f_m$  - коефіцієнти сезонності, визначені методом сезонної декомпозиції на основі багаторічних (не менше 5 років) спостережень.

Цільова функція, що підлягає мінімізації, у цьому випадку записується як

$$B_O(L_p) = \frac{A_i \cdot f_n \cdot \ddot{O}_i [g_{e0i}^{\hat{a}} \cdot f_i + a \cdot l \cdot \Delta l]}{L_p V_{\hat{O}i} \cdot f_m} + \frac{B_i(L_p) \cdot f_j}{L_p} + \frac{B_{iD} \cdot f_k}{L_p} \Rightarrow \min, \quad (21)$$

де  $\Delta g_{ei}^e = a \cdot l$  - лінійне збільшення питомої експлуатаційної витрати палива в залежності від пробігу.

Додатковим обмеженням служить нерівність  $g_{e0i}^{\hat{a}} \leq g_{e0i}^{\hat{A}\hat{A}\hat{I}i}$ , тобто у випадку

перевищення значень питомої експлуатаційної витрати палива вище припустимих значень тепловоз повинен бути відставлений на позаплановий ремонт чи сезонне регулювання. Наведена модель дозволила визначити раціональні міжремонтні пробіги, що зводять до мінімуму витрати на експлуатацію і ремонт ЕУ тепловозів у різні сезони року.

У загальному вигляді раціональний міжремонтний пробіг визначався як

$$L_{\text{ДАÖ}}^{\text{N}} = L_P \cdot k_C \cdot k_{\text{NÄD}}, \quad (22)$$

де  $L_P$  - встановлений міжремонтний пробіг;

$k_C, k_{\text{NÄD}}$  - визначені коефіцієнти зміни міжремонтного пробігу в залежності від сезону експлуатації, проведення сезонного діагностування та регулювання систем ЕУ.

Для виявлення впливу сезонних факторів на показники робочого процесу ЕУ тепловозів удосконалена модель розрахунку робочого процесу дизеля, розроблена в ХарДАЗТ.

Параметри робочого тіла в циліндрі при стиску-згорянні-розширенні визначалися шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь, що включають у себе закони зберігання енергії, маси і рівняння стану ідеального газу:

$$\begin{aligned} dU &= dQ_x - dQ_t + \sum_{i=1}^m h_{\text{exi}} dG_{\text{exi}} - \sum_{j=1}^l h_{\text{exj}} dG_{\text{exj}} - pdV, \\ dG &= \sum_{i=1}^m dG_{\text{exi}} - \sum_{j=1}^l dG_{\text{exj}} + dq_u, \\ \frac{dT}{T} &= \frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} + \frac{dG}{G}. \end{aligned} \quad (23)$$

В усіх зонах система рівнянь (23) розв'язувалася щодо збільшення тиску. У загальному вигляді рівняння для визначення  $dp$  має вид

$$dp = \frac{k}{V} \left[ \sum_{i=1}^u RT_{\text{aö}} dG_{\text{aö}} - \sum_{j=1}^l RT dG_{\text{aöj}} + \frac{k-1}{k} (dQ_x - dQ_t) - pdV \right] \quad (24)$$

Математична модель розрахунку робочого процесу уточнена внесенням залежності, що враховує запізнювання дійсного початку впорскування палива від звичайно прийнятої в розрахунках суми геометричного кута випередження впорскування і розміру запізнювання підйому голки форсунки.

Тривалість затримки запалювання  $\varphi_i$  визначалася за формулою А.І.Толстова, що базується на законах хімічної кінетики

$$\tau_i = 10^{-2} B_1 \left( \frac{T_n}{P_n} \right) \exp(E_i / (RT_n)), \quad (25)$$

де  $B_1 = B_0(1 - k_n n_d)$ ;  $B_0 = 3,8 \times 10^{-4}$ ;  $k_n = 1,6 \times 10^{-4}$  – емпіричні коефіцієнти;  $P_n, T_n$  - тиск і температура в момент впорскування палива;

$E_i$  - умовна енергія активації передполум'яних реакцій  
( $20 \cdot 10^3 \dots 25 \cdot 10^3$  Дж/моль);

$R$  - універсальна газова стала (8,312 Дж/моль·К);

$m$  - 0,5 постійна.

Тоді період від геометричного початку впорскування палива до моменту початку його згоряння визначався як

$$\varphi_i = \varphi_i + \varphi_\zeta + \tau_i \times \omega_{\hat{x}}, \quad (26)$$

де  $\omega_d$  - кутова швидкість обертання колінчастого вала дизеля.

Оцінка точності експлуатаційних випробувань показує, що при очікуваній різниці в економічності ЕУ тепловозів при порівнянні типового і пропонованого сезонного регулювання, довірчі інтервали оцінок будуть перетинатися при відносно високому рівні значимості. При поданні даних про питомі витрати палива у вигляді часового ряду порівняння питомих витрат палива можливе на основі моделі АРІКС із включеним до неї регресором. Сезонне регулювання ЕУ тепловозів викликає зміни в поведженні ряду питомої витрати палива.

Отримана і перевірена модель ряду витрат палива АРІКС (1,1,0)(0,1,0)<sup>12</sup>, тобто модель авторегресії першого порядку з узяттям простої і сезонної різниці першого порядку (рис.4) записується у вигляді

$$\hat{X}_t = (X_{t-1})(1-B)(1-B^{12}) + \varphi \times X_{t-1}(1-B)(1-B^{12}) + \beta \times dummy, \quad (27)$$

де  $\hat{X}_t$  - оцінка значення ряду витрат палива в момент  $t$ ;

$\mu_0$  - постійна моделі;

$B^{12}$  - оператор сезонного зсуву  $B^{12}X_t = X_{t-12}$ ;

$B$  - оператор зсуву  $BX_t = X_{t-1}$ ;

$\varphi$  - авторегресійний оператор;

$\varepsilon_t$  - білий шум з дисперсією  $\sigma_\varepsilon^2$ .

У модель поведження ряду включається компонента, що відображає інтервенцію – сезонне регулювання та набуває тільки двох значень 0 і 1. До регулювання ця змінна (індикатор) дорівнює 0. Тоді  $\beta \times dummy$  дорівнює 0 і питома витрата палива прогнозується за частиною моделі, що залишилася. Після сезонного регулювання  $dummy$  дорівнює 1 і прогнозовані моделлю значення будуть рівні  $X_t + \beta$ . Таким чином, індикатор дозволив увести в модель «сходінку» – незалежно від того, що містить у собі інша частина моделі. Коефіцієнт  $\beta$  оцінювався разом з іншими коефіцієнтами моделі. Коли значення  $\beta$  позитивне, сходінка веде нагору, коли ж воно негативне, сходінка веде вниз.

Проведене моделювання даних про питомі витрати палива тепловозами показало, що після сезонного регулювання тепловози мають меншу витрату палива на вимірювач під час експлуатації (рис. 4) приблизно на 5,2 %.

Сезонність зміни бракувальних показників мастил в основному розглядається як функція зміни температури навколишнього середовища без визначення періодичності їх зміни за декілька років. Аналіз часових рядів



моторних мастил виявив закономірності зміни якості під час експлуатації ЕУ тепловозів у різні сезони року.

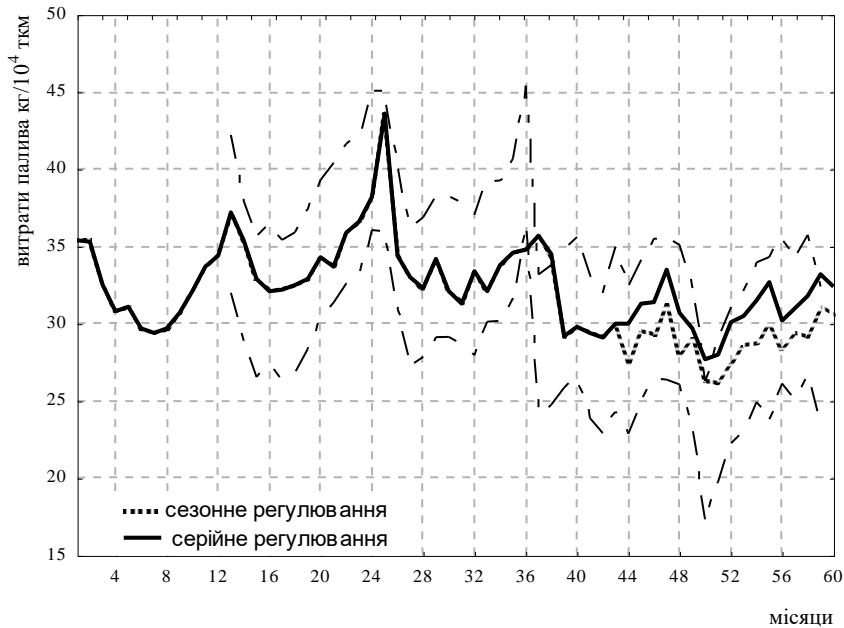


Рис.4. Зміна питомих витрат палива визначена за моделью АРІКС (1,1,0)(0,1,0)12 під час дослідної експлуатації ЕУ тепловозів

Визначені сезонні коефіцієнти зміни бракувальних показників (табл. 2) показують, що випадки загушення, підвищеного вмісту води, забруднення найширше зустрічаються в III кварталі року, випадки розрідження, зниження температури спалаху та лужного числа у II кварталі, випадки втрат мастилом мийное - диспергуючої здатності у IV кварталі, найменша кількість випадків зміни масел - I квартал.

Таблиця 2

Зміна сезонних коефіцієнтів бракувальних показників моторних мастил за кварталами року

Квартал року	Загушення	Розрідження	Температура спалаху	Забруднення	Вода у мастилі	Значення рН	Лужне число	Диспергуюча здатність	Кількість випадків	Заміна мастила	Усього аналізів
I	0,87	0,65	0,64	0,84	0,81	0,81	1,06	0,63	0,81	0,83	0,99
II	0,92	1,38	1,55	0,86	0,77	1,65	1,23	0,85	1,03	1,01	0,96
III	1,19	0,95	0,74	1,24	1,38	0,60	0,77	0,71	1,20	1,20	0,95
IV	1,01	1,02	1,07	1,06	1,04	0,93	0,94	1,81	0,96	0,96	1,10

Визначені закономірності зміни якості моторних мастил пояснені зміною умов експлуатації локомотивів та в першу чергу зміною температури навколишнього середовища, яка визначає температурний режим дизеля, моторного мастила та дизельного палива, умови розпилу та згоряння палива, умови охолодження вузлів дизеля. Аналіз зміни показників якості моторних мастил указує на необхідність розроблення спеціальних сезонних заходів спрямованих на зменшення випадків його бракування під час експлуатації.

Побудову системи нечіткого сезонного регулювання ЕУ тепловоза у роботі розглянуто на прикладі системи вибору значень кутів випередження впорскування палива  $\varphi_r$ , значення яких дозволяють одержати мінімальні витрати  $g_e$  при значеннях  $P_z$ , що не перевищують допустимих значень. Вибір значень  $\varphi_r$  проводився при змінних температурах  $t_0$  та частоті обертів колінчастого вала  $n$ . Побудову системи нечіткого вибору значень  $\varphi_r$  було проведено у два етапи.

На першому етапі побудовано нечіткий апроксиматор, який дав змогу визначити значення  $g_e$  та  $P_z$  при зміні  $t_0$  та  $n$ . Для вихідних змінних  $t_0$ ,  $n$  визначено такі нечіткі множини: *min*, *нсп*, *ср*, *всп*, *ввсп*, *max* – 5 рівнів; для  $\varphi_r$ : *min*, *ннсп*, *нсп*, *ср*, *всп*, *ввсп*, *max* – 7 рівнів. Для величин  $g_e$  та  $P_z$  також обрано нечіткі множини із 7 рівнів. Прийнято трикутні функції приналежності, метод дефазифікації "центр ваги".

На другому етапі побудовано нечіткий регулятор. Алгоритм фази керування складається з перетворення вхідних змінних фази регулятора в його вихідні змінні за допомогою таких взаємозалежних процедур:

- перетворення нечітких вхідних фізичних змінних фази регулятора, одержуваних від вимірювальних датчиків з об'єкта керування, в безрозмірні відносні змінні;
- обробка логічних висловлень щодо безрозмірних вхідних і вихідних змінних фази регулятора;
- перетворення вихідних безрозмірних відносних змінних фази регулятора у фізичні керуючі змінні.

У п'ятому розділі наведено результати розрахункових та експериментальних досліджень. Аналіз впливу сезонних факторів та сезонних регулювань на показники робочого процесу дизелів типу 1Д80, 1А-5Д49 виконувався з метою вивчення шляхів мінімізації витрат питомої витрати палива  $g_e$  дизелем при зберіганні в припустимих межах максимального тиску згоряння  $P_z$ . Як фактори, що впливають на показники дизеля, приймалися: температура навколишнього повітря  $t_0$ , кут початку впорскування палива у циліндр  $\varphi_n$ , переріз соплового апарата турбіни  $f_{СА}$ . Діапазон зміни температури приймався від  $-40$  до  $+30^\circ\text{C}$ .

Розрахунки показують, що зміна температури повітря значно впливає на показники робочого процесу дизелів. При зниженні температури повітря збільшується його густина, що викликає збільшення тиску наддування  $P_s$  від 0,28 МПа при  $t_0=0^\circ\text{C}$  до 0,32 МПа при  $t_0=-40^\circ\text{C}$ . Зниження температури наддувочного повітря  $T_s$  від 346 до 333 К викликає збільшення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  від 2,8 до 3,4 і, як наслідок, збільшення індикаторного ККД  $\eta_i$  від 0,486 до 0,497. Збільшення  $\eta_i$  пояснює зниження питомої витрати палива  $g_e$  від 208 до 203 г/кВт·год. Зниження температури повітря, що надходить до циліндра двигуна, викликає збільшення періоду затримки спалаху  $\tau_i$ , ступеня підвищення тиску при згорянні  $\lambda$  і, як наслідок, максимального тиску згоряння  $P_z$

від 12,1 до 13,7 МПа. При  $t_o = -15 \dots -17^\circ\text{C}$  значення  $P_Z$  досягає максимально припустимих значень і негативно впливає на надійність шатунно-поршневої групи дизеля.

На другому етапі проведено дослідження впливу на показники робочого процесу дизелів 1Д80 одночасної зміни кута початку впорскування палива у циліндр і температури повітря. Результати розрахунків наведені в табл. 3 і на рис. 5.

Таблиця 3

Показники дизеля 1Д80 при безперервному регулюванні кута випередження впорскування палива

$T_o, \text{K}$ ( $t_o, ^\circ\text{C}$ )	$\varphi_n$ , град о.к.в.	$N_e$ , кВт	$g_e$ , кг/ВТгод	$P_i$ , МПа	$P_e$ , МПа	$P_s$ , МПа	$P_r$ , МПа	$T_s$ , К	1
303(30)	-14	2203,9	0,210	1,379	1,153	0,252	0,232	354	2
293(20)	-12	2208,7	0,209	1,382	1,156	0,260	0,238	351	3
283(10)	-10	2208,3	0,209	1,381	1,155	0,271	2, 45	349	4
273(0)	-7	2215,4	0,210	1,385	1,160	0,292	2, 61	346	5
263(-10)	-5	2212,4	0,211	1,383	1,158	0,306	2, 71	343	6
253(-20)	-3	2225,6	0,217	1,390	1,164	0,325	2, 84	342	7
243(-30)	-2	2208,6	0,2181	1,379	1,155	0,332	2, 88	339	8
233(-40)	-1	2207,3	0,2123	1,378	1,155	0,339	2, 92	335	9

Продовження табл. 3

1	$T_r$ , К	$P_z$ , МПа	$\alpha$	$\gamma$	$\eta_{vs}$	$\eta_i$	$\eta_r$	$\eta_k$	$n_k$ , хв <sup>-1</sup>	$G_s$ , кг/с
2	779	11,7	2,44	0,03	0,96	0,482	0,74	0,81	18141	4,63
3	760	11,8	2,55	0,03	0,96	0,484	0,74	0,81	18185	4,84
4	742	11,7	2,67	0,03	0,96	0,483	0,74	0,81	18293	5,10
5	708	11,8	2,89	0,03	0,96	0,481	0,74	0,82	18714	5,51
6	694	11,7	3,04	0,03	0,96	0,478	0,74	0,82	18848	5,83
7	687	12,0	3,13	0,03	0,96	0,464	0,74	0,81	19127	6,24
8	679	11,9	3,24	0,03	0,96	0,464	0,74	0,81	18985	6,46
9	658	11,9	3,43	0,03	0,96	0,476	0,74	0,80	18788	6,66

Умовою вибору значень  $\varphi_n$  було забезпечення в припустимих межах у всьому діапазоні зміни температур  $t_o$  максимального тиску згоряння  $P_z$  (не більше 12 МПа). З наведених результатів випливає, що збільшення  $\varphi_n$  при підвищених температурах  $t_o$  сприяє поліпшенню паливної економічності дизеля - питома витрата палива  $g_e$  при  $t_o = +30^\circ\text{C}$  знижується до 210 г/кВт·год. Зазначене зниження  $g_e$  досягається при збільшенні  $\varphi_n$  на 4 град о.к.в.

При зниженні температури повітря для підтримки незмінного тиску згоряння  $P_z$  необхідно зменшувати кут впорскування палива. При  $t_o = -40^\circ\text{C}$  кут  $\varphi_n$  необхідно зменшувати на 9 град о.к.в. Зменшення  $\varphi_n$  призводить до зниження  $P_z$  до 11,9 МПа.

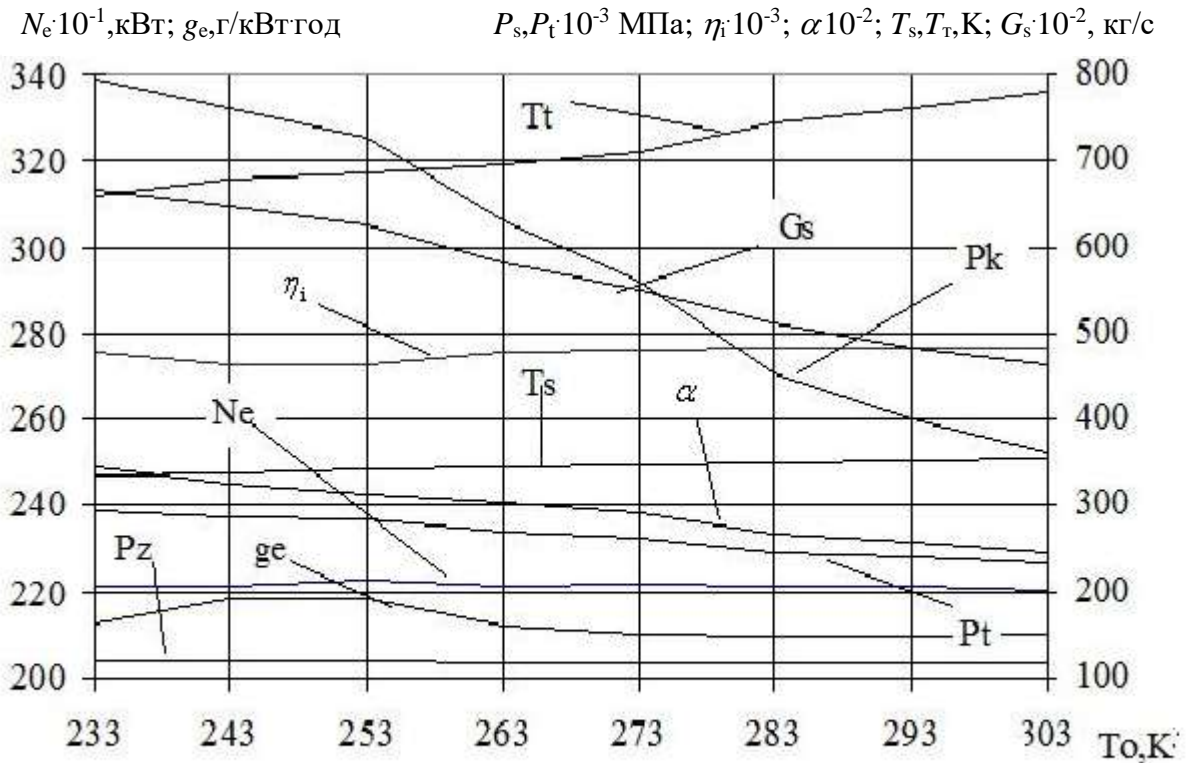


Рис.5. Параметри робочого циклу дизеля 1Д80 при зміні температури повітря і безперервному регулюванні кута подачі палива

Проведені розрахунки показують, що сезонне регулювання кута випередження впорскування палива доцільне в зоні підвищених температур і небажане при зниженні температури повітря. При зниженні  $t_o$  для регулювання максимального тиску згоряння необхідне використання регулювань агрегатів повітропостачання.

При відсутності на дизелі 1Д80 систем, що дозволяють плавно регулювати кут випередження впорскування палива в залежності від умов роботи, економічність дизеля можливо поліпшити на 1,5...3,2 % застосуванням сезонного ступінчастого регулювання кута випередження подачі палива - збільшенням кута  $\varphi_n$  на 2-3 град о.к.в. при роботі дизеля в діапазоні температур від 0 до  $+30^\circ\text{C}$  і зменшенням  $\varphi_n$  на 3-4 град о.к.в. з одночасним збільшенням прохідного перерізу соплового апарата турбіни турбокомпресора на 10 % від  $f_{CA}=76 \text{ см}^2$  до  $f_{CA}=84 \text{ см}^2$  при роботі дизеля в діапазоні температур від 0 до  $-40^\circ\text{C}$ .

Дизелі 4Д80 добре пристосовані до змін кліматичних факторів і немає потреби у проведенні спеціальних сезонних регулювань паливної апаратури, окрім штатних перевірок та регулювань.

Проведені розрахунки показали необхідність сезонного збільшення кута випередження впорскування палива дизеля 1А-5Д49 до  $30+1$  град о.к.в. при підвищених температурах навколишнього середовища. При вказаному збільшенні  $\varphi_n$  і температури  $t_o$ , рівної  $+40^\circ\text{C}$ , під час роботи дизеля на 15-й позиції

контролера машиніста, максимальний тиск згоряння зростає від 11,1 до 11,4 МПа, питома ефективна витрата палива зменшується з 212 до 210 г/кВтгод.

При зниженні  $t_o$  до  $+20^\circ\text{C}$   $g_a$  зменшується до 208 г/кВтгод,  $P_z$  збільшується до 11,5 МПа. При зниженні  $t_o$  до  $0^\circ\text{C}$  значення  $P_z$  досягає 11,65 МПа, питома ефективна витрата палива  $g_a$  зменшується до 206 г/кВтгод, тобто при подальшому зниженні  $t_o$  необхідне перерегулювання під серійний кут випередження подачі палива, рівний  $-25\pm 1$  град о.к.в. до ВМТ.

Дослідження і розрахунки, проведені за розробленою моделлю, дозволили одержати регресійні залежності основних параметрів роботи дизелів 1А-5Д49 від зміни  $t_o, \varphi_A$  та  $n_a$ . Коефіцієнт регресії для моделі  $g_e$   $R=0,989$ , для моделі  $P_z$   $R=0,967$ , що свідчить про щільність зв'язку між факторами, які уведено до моделі і функціями відгуку. Усі уведено до моделі фактори значущі на рівні  $p=0,05$ .

Визначені регресійні моделі  $g_e$  та  $P_z$  від зміни  $t_o, \varphi_A$  та  $n_a$  дали можливість побудувати графічні залежності (рис.б) зміни питомих ефективних витрат палива та максимального тиску. З наведених графіків видно, що  $g_e$  зменшується при зменшенні  $t_o$  та зростанні  $\varphi_A$ . Такий зв'язок між зміною  $g_e$  та  $P_z$  дозволяє запропонувати систему регулювання  $\varphi_A$  відповідно до сезону експлуатації.

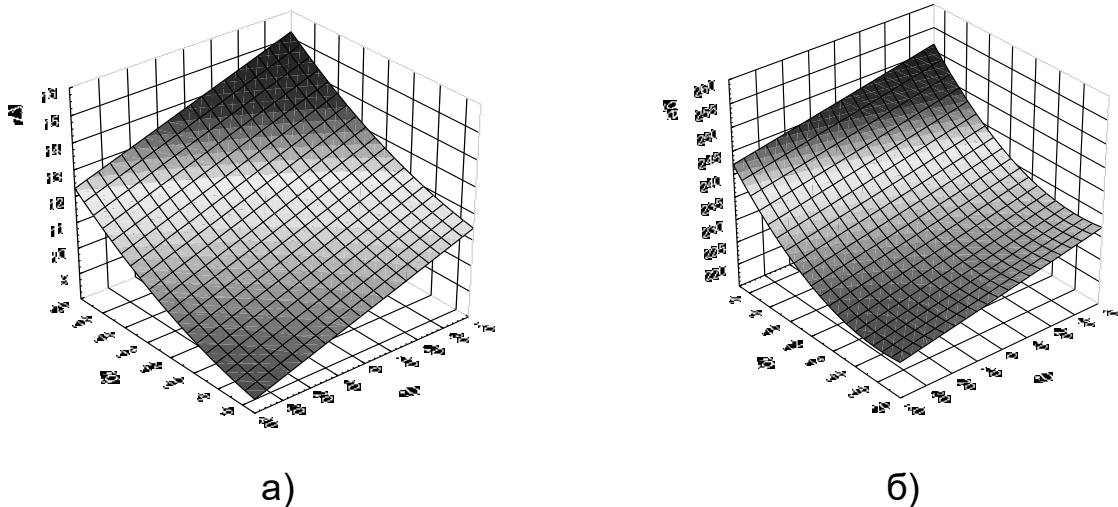


Рис.6. Зміна  $P_z$  (а) та  $g_e$  (б) дизеля 1А-5Д49 при зміні кута випередження впорскування палива й температури зовнішнього повітря при частоті обертання колінчастого вала  $n_d=1000$  хв $^{-1}$

Для визначення значень  $\varphi_r$ , при яких забезпечується мінімальна витрата палива при роботі дизеля з відповідною  $n_a$  при заданій  $t_o$  розв'язано нелінійне рівняння  $g_e = f(t_o, n_a, \varphi_A)$  при обмеженні  $P_z \leq P_{z\text{дв}}$ .

Існуюча система паливоподачі дизеля не в змозі забезпечити потрібне регулювання  $\varphi_r$ , яке можливе тільки при застосуванні електронних систем регулювання. Найбільш важливим питанням при цьому є складання програми для мікропроцесора регулятора. Вибір значень  $\varphi_r$  проводився для змінних температур  $t_o$  та частоти обертання колінчастого вала  $n_d$ .

Поводження  $g_e$  та  $P_z$  при зміні  $t_o$  та  $\varphi_r$  при фіксованому  $n_d$  описується за допомогою 25 нечітких правил. Одержані нечіткі залежності зміни  $g_e$  й  $P_z$  при зміні  $t_o$  та  $\varphi_r$  наведені на рис. 7.

Розроблена програма регулювання дизеля забезпечує мінімально можливі значення витрат палива  $g_e$  при значеннях  $P_z$ , що не перевищують допустимих значень ( $P_z \leq 12$  мПа), та заданих за тепловозною характеристикою значеннях  $N_e$ .

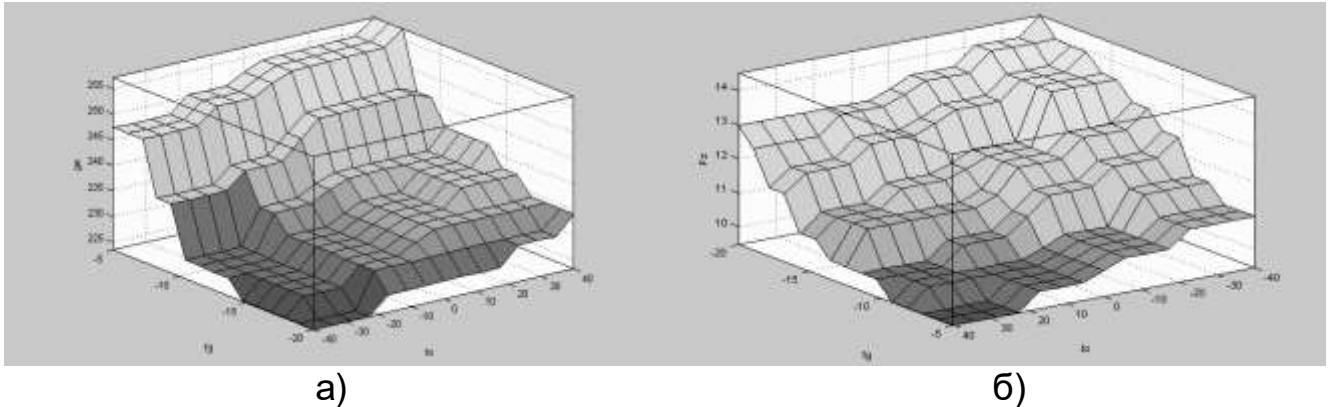


Рис.7. Залежність питомої витрати палива (а) та максимального тиску при згорянні (б) дизеля 1А-5Д49 від зміни температури повітря й кута випередження впорскування палива

У шостому розділі наведено результати практичного застосування заходів підготовки та сезонного регулювання ЕУ тепловозів. Розглянуто методики сезонного регулювання ЕУ тепловозів. Наведено опис конструкції створених приладів для діагностування та сезонного регулювання паливної апаратури, очищення моторного мастила.

Дані за такими показниками, як пробіг тепловозів між ТО-3, простій тепловозів на технічному обслуговуванні ТО-3 і поточному ремонті ПР-1, трудомісткість ТО-3 та ПР-1 ЕУ тепловозів, кількість позапланових ремонтів на  $10^6$  км пробігу, простій на позапланових ремонтах, були оброблені з метою виявлення в них сезонності в такому порядку:

- проведено сезонну декомпозицію вихідного ряду;
- виділено тренд-циклічну компоненту і сезонний фактор;
- побудовано діаграми автокореляційних функцій (АКФ);
- визначено параметри моделі АРІКС( $p, d, q$ )( $ps, ds, qs$ ) $s$ ;
- проведено діагностику моделі;
- побудовано автокореляційні діаграми похибок моделі.

На основі визначених моделей отримана зведена таблиця сезонних індексів зміни показників використання ЕУ тепловозів (табл. 4).

Таблиця 4

Сезонні коефіцієнти зміни показників ЕУ

Показники ЕУ	Простій ПР-1	Трудомісткість ПР-1	Простій на позапланових	Питомі витрати	$K_{ТВ}$
--------------	--------------	---------------------	-------------------------	----------------	----------

			ремонтах	палива	
1	2	3	4	5	6
Одиниці обліку	год	людгод	год	кг/10 <sup>4</sup> ткм	-
Січень	1,1	0,81	0,76	1,13	1,01
Лютий	0,9	1,04	0,84	1,03	1,01
Березень	0,76	0,97	1,19	0,93	0,98
Квітень	1,05	1,09	0,93	0,95	0,99
Травень	0,87	0,91	0,8	0,97	1,02
Червень	1,04	1,18	0,74	0,95	1,02
Липень	1,12	1,00	1,35	0,95	0,97
Серпень	1,07	1,06	0,76	0,98	1,03
Вересень	1,2	0,91	0,97	0,97	1,01
Жовтень	1,24	1,03	0,91	1,03	1,01
Листопад	0,9	0,89	1,33	1,05	0,99
Грудень	0,75	1,10	1,41	1,07	0,97
Вид моделі	(0,1,0)	(1,0,0)	(0,0,0)	(1,1,0)	(0,0,0)
АРИКС	(1,1,0)	(0,1,0)	(1,1,0)	(1,0,0)	(1,1,0)
	12	12	12	12	12

Одержані закономірності зміни показників використання ЕУ вказують на необхідність коректування існуючої системи ТО і ПР, тобто більш поглибленого застосування засобів діагностики саме в періоди зміни сезону експлуатації. В дисертаційній роботі запропоновано введення технічного огляду ТО-3С, тобто сезонного (наказ № 275Ц від 30.10.2003 р.).

Експлуатаційна перевірка запропонованого способу сезонного регулювання паливної апаратури дизелів 1А-5Д49 проводилася в депо ст. Основа Південної залізниці. Дизелі дослідних тепловозів регулювалися під збільшений до 29+1 град о.к.в. до ВМТ кут випередження впорскування палива (замість серійного, рівного 24+1 град о.к.в.). Дійсний кут випередження подачі палива склав 20-21 град о.к.в. до ВМТ на відміну від серійного, рівного 16-17 град о.к.в. до ВМТ.

Результат за кожний місяць експлуатації визначався як середнє значення вибірки даних щодо економічності. Після сезонного регулювання середньоексплуатаційні витрати палива скоротилися на 2,5-3,5 %, з надійністю ствердження  $\alpha = 0,964$ . Виходячи з одержаних результатів, у роботі пропонується введення сезонного регулювання паливної апаратури (шляхом зміни величини кута випередження впорскування палива) стосовно існуючої системи оглядів і технічних обслуговувань, а саме: при проведенні весняних оглядів і підготовки тепловозів до літніх перевезень, за стійкої температури навколишнього середовища  $t_0$  до 10°C і вище, встановлювати підвищені кути випередження впорскування палива -

29+1 град о.к.в. до ВМТ. Встановлення кутів (перерегулювання) суміщати з проведенням чергового ТО-3. Ураховуючи неминуче збільшення трудових витрат і деяке збільшення простою, такому технічному обслуговуванню надають індекс «С» - ТО-3С, тобто сезонне технічне обслуговування. Таке обслуговування для

середньої смуги (наприклад для Південної залізниці) виконується у травні на початку червня.

За стійкого зниження температури до  $t_0=10^{\circ}\text{C}$  і нижче проводиться таке ж обслуговування ТО-3С, але вже з іншою метою – регулювання паливної апаратури на штатний кут випередження впорскування палива ( $25+1^{\circ}$  град о.к.в. до ВМТ). За часом це збігається з періодом підготовки тепловозів до зимових умов роботи і повинно виконуватися у терміни, встановлені у залежності від категорії залізниці (І категорія – до 20 жовтня, ІІ – до 15 листопада). Таким чином, тепловози з модернізованими дизелями експлуатуються літнього періоду, а середня тривалість роботи складає 5-6 місяців. Підготовка паливної апаратури до сезонної експлуатації здійснюється за допомогою розробленої діагностичної апаратури ПИТУ-4.

Розроблені пропозиції внесені до інструктивних вказівок з підготовки, експлуатації та обслуговування тепловозів і дизель-поїздів у зимових умовах № ЦТ-0070 та затверджені наказом Укрзалізниці № 275Ц від 30.10.2003 р. Пристрій для діагностування дизелів по куту випередження впорскування палива ПИТУ-3 УкрДАЗТ (ХІПТ) захищено авторським свідоцтвом № 1173055 СРСР, його тим же наказом рекомендовано для впровадження в локомотивних депо залізниць. Дозволено також за узгодженням з керівництвом локомотивної служби вводити окремий вид обслуговування ТО-3С, тобто сезонний техогляд з проведенням регулювання ПА.

Подовження терміну служби моторного мастила під час сезонної експлуатації запропоновано проводити шляхом часткової регенерації на стаціонарних установках типу УРМ 1-4, схеми яких розроблені за участю автора, або відновленням властивостей мастил безпосередньо на дизелі. Стаціонарні установки дозволяють видалити з мастила воду та паливо, підвищити диспергуючу здатність, але при цьому потрібне зливання його з картера, що підвищує час простою на ремонті. Схема бортових установок передбачає включення до системи змащення ЕУ тепловоза додаткового мастильного насоса та диспергатора, у якому відбувається модифікація мастила з одночасним видаленням води та палива. З метою зниження енерговитрат ЕУ тепловозів у електричний ланцюг електродвигуна привода додаткового насоса вбудовано два датчики, що контролюють вміст у мастиллі води та його оптичну густину. Таким чином, мастило подається на диспергування тільки у тому випадку, коли вміст води або забрудненість перевищують допустимі значення. Системи змащення ЕУ тепловозів, які дозволяють подовжити термін служби та відновити властивості моторних мастил, захищено патентами України (патенти №63625, 96252, патент на корисну модель № 63595).

**У сьомому розділі** наведено моделі оцінки результатів упровадження підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації.

Річний економічний ефект від упровадження сезонного регулювання ЕУ тепловозів визначиться як



$$E_p = \frac{D_D - B_\delta}{\rho_D + \dot{A}_f}, \quad (28)$$

де  $P_p$  - незмінна за роками розрахункового періоду вартісна оцінка результатів впровадження запропонованого сезонного регулювання;

$\dot{A}_f$  - незмінні за роками розрахункового періоду витрати на реалізацію сезонного регулювання.

$$B_p = U_p + (\rho_p + E_H)K, \quad (29)$$

де  $U_\delta$  - річні поточні витрати;

$\rho_\delta$  - коефіцієнт реновації основних фондів, який визначається з урахуванням фактора часу ( $\rho_\delta = 0,063$ );

$K$  - одночасні витрати;

$E_f$  - норматив приведення різночасових витрат і результатів,  $E_f = 0,1$ .

Вартісна оцінка результатів запровадження сезонного регулювання може бути визначена як

$$P_p = C_{II} + C_M, \quad (30)$$

де  $C_{II}$  - економічний ефект, одержуваний за рахунок скорочення витрат палива в експлуатації;

$C_M$  - економічний ефект, одержуваний за рахунок скорочення витрат мастила в експлуатації.

Як показали розрахунки запровадження сезонного регулювання паливної апаратури дозволяє одержати економію коштів у розмірі 1,1 млн грн за рік на один тепловоз 2TE116 з дизелем 1А-5Д49 та окупити первинні витрати приблизно за 1 рік. Застосування систем обліку палива дозволяє одержати економічний ефект 2,09 млн грн за рік на один тепловоз ( або 184,02 грн на 1 кВт потужності ЕУ). Впровадження обладнання для подовження терміну служби моторного мастила дозволяє одержати економічний ефект 2,82 млн грн за рік на одній залізниці.

## ВИСНОВКИ

Результати виконаних у дисертаційній роботі досліджень дають можливість вирішити проблему підвищення економічності й надійності роботи ЕУ тепловозів на основі сезонної підготовки та регулювання їх систем, використання статистичної й прогнозованої інформації про сезонні зміни показників та параметрів, засобів технічної діагностики й обладнання для підвищення якості моторного мастила.

Підготовка ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації дозволить знизити витрати палива й мастила, приведе до збільшення часу корисної роботи

локомотивів та зниження витрат на експлуатацію й ремонт, економії трудових та грошових ресурсів за рахунок зниження позапланових ремонтів.

За результатами проведеної роботи можна зробити такі висновки:

1. Аналіз систем підготовки транспортних ЕУ до сезонної експлуатації на інших видах транспорту та залізничному транспорті за кордоном показав, що вони спрямовані на зниження витрат палива, підвищення експлуатаційної надійності та ефективності використання. Сучасні транспортні ЕУ мають системи керування параметрами систем паливopодачі та повітропостачання для урахування сезонних впливів. Системи сервісного обслуговування сучасних ЕУ передбачають корегування норм витрат палива, трудомісткості та обсягів ремонту для врахування сезонних впливів з метою підтримання експлуатаційної надійності й економічності на високому рівні.

2. Конструкція ЕУ тепловозів, які експлуатуються на залізницях України, і діюча система технічних обслуговувань та ремонтів не відповідають сучасним вимогам і не враховують сезонну зміну умов експлуатації. Відсутність підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації призводить до значних перевитрат матеріальних та грошових ресурсів, зростання часу простою на позапланових ремонтах.

3. Удосконалений метод збору й обробки початкових даних про зміну параметрів ЕУ тепловозів відрізняється від існуючих можливістю обробки даних у вигляді часових рядів та зниженням загальної чисельності даних за рахунок блокового бутстреп-розмноження.

4. Удосконалені моделі оцінки рівня сезонних змін параметрів ЕУ тепловозів відрізняються від існуючих можливістю проводити оцінювання структури досліджуваних часових рядів, аналізувати сигнал у вигляді його складових, локалізованих у часі елементарних процесів, що зручно для виявлення сезонних змін. Запропонована комплексна обробка даних (на прикладах депо Південної, Донецької та Одеської залізниць) з використанням сезонної декомпозиції, вейвлет-аналізу, нечіткої кластеризації методом  $k$  – середніх, гібридної нейронної мережі на базі карт Кагонена дозволяє виявити наявність та рівень сезонних коливань параметрів ЕУ незалежно від довжини часового ряду, наявності "шуму" чи відсутніх значень.

5. Запропоновані моделі процесів ремонту та експлуатації дозволяють розглядати систему сезонної експлуатації ЕУ тепловозів як динамічну систему, однією з причин виникнення нестационарних режимів у якій є дія зовнішніх сезонних впливів, що мають періодичну структуру.

6. Запропонована математична модель знаходження ЕУ тепловозів у різних станах, заснована на диференційних рівняннях Колмогорова теорії масового обслуговування, на відміну від існуючих, урахує сезонну зміну інтенсивності переходу із стану в стан, яка визначається на основі статистичних даних локомотивних депо, та надає можливість прогнозувати технічний стан ЕУ для різних місяців року. Перевірка моделі виконувалася шляхом імітаційного моделювання процесу експлуатації та ремонту ЕУ тепловозів (на прикладах депо

Південної, Донецької та Одеської залізниць) з урахуванням сезонних змін показників. Проведені імітаційні розрахунки виявили значну залежність характеристик системи від початкових умов моделювання та необхідність значного часу для виходу системи на стаціонарний режим роботи, результати моделювання показують збіжність результатів, одержаних при застосуванні імітаційної моделі та методу динаміки середніх.

8. Удосконалені математичні моделі оцінювання рівня зміни показників використання ЕУ тепловозів, на відміну від існуючих, ураховують у часових рядах показників ЕУ наявність авторегресії з лагом, рівним 1, та сезонної авторегресії з лагом, рівним 12. Використання запропонованих моделей АРІКС (на прикладах депо Південної, Донецької та Одеської залізниць) показало можливість прогнозування простоїв на ТО і ПР, трудомісткості ремонту, інтенсивності надходження ЕУ на позапланові ремонти і простою на них, витрат палива та моторного мастила. Залежності зміни цих показників від сезону експлуатації нечіткі і визначальний вплив на коефіцієнт готовності ЕУ тепловоза чинить їхнє сполучення.

9. Розроблена математична модель підвищення ефективності системи ТО та ПР, на відміну від існуючих, ураховує сезонні зміни питомих витрат палива ЕУ тепловозів та дозволяє запропонувати сезонне корегування міжремонтних пробігів, що знайшло своє відображення у наказі Укрзалізниці № 196-Ц від 4.04.2001 р.

10. Розроблена математично-інформаційна модель раціональної підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації, на відміну від існуючих, базується на нечітких обмеженнях матеріальних і трудових ресурсів та дозволяє ухвалити рішення про необхідність проведення сезонного регулювання, контрольних чи діагностичних операцій при забезпеченні заданої надійності й мінімальних витратах коштів і часу на підготовчі роботи.

11. Удосконалена модель робочого процесу ЕУ тепловозів ( на прикладі дизелів типу 1А-5Д49 та 1Д80Б) дозволяє одержати залежність змін параметрів робочого процесу, у першу чергу питомої ефективної витрати палива, максимального тиску при згорянні, тиску надувального повітря, від сезонної зміни температури навколишнього повітря, зміни дійсного кута випередження впорскування палива, перерізу соплового апарата турбокомпресора. Одержані залежності дають можливість розробити програму безперервного та сезонного регулювання кута випередження впорскування палива, що дозволяє зменшити середньоексплуатаційну витрату палива дизелями різних типів на 3-5 %.

12. Метод, технологія та розроблене обладнання для виконання сезонного регулювання паливної апаратури (на прикладі дизелів типу 1А-5Д49 депо Південної залізниці) з метою зниження витрат палива ЕУ тепловозів пройшли перевірку під час дослідної експлуатації тепловозів 2ТЕ116. Обробка результатів дослідної експлуатації з використанням класичних методів статистики показала зниження середньоексплуатаційної витрати палива на  $3 \pm 0,5$  %.

13. Удосконалений метод обробки даних про витрату палива ЕУ тепловозів

дослідної та контрольної групи, який базується на методології АРІКС з "інтервенцією" у часові ряди, на відміну від істотних, не потребує групування та попередньої обробки вихідних даних. Обробка даних о витратах палива показала зниження питомих витрат палива на вимірювач  $10^4$  ткм бруто на 5,2 %.

14. Запропонована методологія підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації, яка включає методику проведення сезонного регулювання паливної системи ЕУ тепловозів, методику контролю енергоефективності, технологію застосування розробленого діагностичного, контролюючого та відновлюючого обладнання (захищених авторським свідоцтвом та патентами), схему модернізації системи змащення для подовження терміну служби моторних мастил знайшла своє відображення у наказі Укрзалізниці № 275-Ц від 30.10.2003 р. шляхом уведення технічного огляду ТО-3С, тобто сезонного.

15. Упровадження системи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації на основі теоретичних та експериментальних досліджень цієї роботи дає можливість збільшити час корисного використання парку тепловозів і підвищити енергоефективність їх використання. Сумарний економічний ефект від упровадження системи підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації за рахунок зниження витрат палива, подовження терміну служби моторного мастила, підвищення експлуатаційної надійності та зниження часу простою на позапланових ремонтах за результатами розрахунків складає 4,91 млн грн за рік.

У додатках містяться приклади використання розроблених методів і моделей, деталізація окремих теоретичних положень дисертації та акти впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці

1. Жалкін Д.С. Сезонне регулювання паливної апаратури тепловозів 2ТЕ116 / Д.С. Жалкін // Міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 1997. - Вип.31. - С.37-39.

2. Жалкін Д.С. Сезонне регулювання паливної апаратури дизелів типу 1Д80 / Д.С. Жалкін // Міжвуз.зб.наук.праць. - Харків: ХарДАЗТ, 1999. - Вип.34. - С.46-50.

3. Жалкін Д.С. Результати експлуатаційних випробувань сезонного регулювання паливної апаратури дизелів типу 1А-5Д49 / Д.С. Жалкін // Міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 1997. - Вип.29. - С.12-15.

4. Жалкин Д.С. Влияние сезонных факторов на показатели надежности локомотивных энергетических установок / Д.С. Жалкин // Інфор. керуючі системи на залізн. трансп. - 2000. - №4. - С.76-79.

5. Жалкін Д.С. Аналіз сезонних змін та прогнозування показників використання ЛЕУ / Д.С. Жалкін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля – Луганськ: СНУ, 2001. - №7. - С.167-172.

6. Тартаковський Е.Д. Системний підхід до сезонного регулювання локомотивних енергетичних установок / Е.Д.Тартаковський, Д.С.Жалкін // Зб.наук.праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип.44. - С.48-55.

7. Жалкин Д.С. Определение сроков и периодичности проведения сезонного регулирования локомотивных энергетических установок / Д.С.Жалкин// Інфор. керуючі системи на залізн. трансп. - 2001. - №4. - С.108-110.

8. Жалкин Д.С. Влияние угла опережения впрыска топлива на показатели работы дизелей 1А-5Д49 / Д.С.Жалкин // Межвуз. сб. науч. тр. - Харьков: ХИИТ, 1993. - Вып.22. - С.61-64.

9. Венцель Є.С. Комплексний метод та обладнання для очищення моторних масел в умовах локомотивного депо / Є.С.Венцель, С.Г.Жалкін, Д.С.Жалкін [та інш.] // Межвуз.сб.науч.тр. - Днепропетровск: ДДТУЗТ, 1996. - С.47-51.

10. Жалкін Д.С. Обґрунтування неоднорідності дії експлуатаційних факторів на систему технічного обслуговування та ремонту локомотивів в межах України / Д.С.Жалкін, В.І. Коваленко // Зб.наук. праць. - К: КУЕТТ, 2006. - Вип.10. - С.81-84.

11. Жалкін Д.С. Прогнозування витрат палива тепловозами / Д.С.Жалкін // Підвищення експлуатаційної ефективності тягового рухомого складу залізниць: міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип.41. - С.32-41.

12. Жалкін Д.С. Прогнозування витрат палива промисловими тепловозами на основі моделі АРІКС / Д.С.Жалкін //Зб.наук.праць.-Харків:ХарДАЗТ, 2000.- Вип.42. - С.30-36.

13. Жалкин Д.С. Модель оптимизации межремонтных пробегов локомотивных энергетических установок / Д.С.Жалкин // Інфор.керуючі системи на залізн.трансп. - 2001. - №5. - С.58-60.

14. Жалкін Д.С. Визначення нелінійних характеристик системи ТО та ПР ЛЕУ методами нейроаналізу / Д.С.Жалкін // Зб.наук.праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2001. - Вип.45. - С.36-42.

15. Жалкін Д.С. Особливості застосування методу бутстрепа при знаходженні складних статистик для малих вибірок за результатами спостережень за надійністю локомотивів / Д.С.Жалкін // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту: міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2001. - Вип.46. - С.37-42.

16. Жалкін Д.С. Методика порівняння експлуатаційних витрат палива тепловозами на основі моделі АРІКС / Д.С.Жалкін // Інфор.керуючі системи на залізн.трансп. - 2002. - №1. - С.52-54.

17. Жалкин Д.С. Определение динамических характеристик системы технического обслуживания локомотивных дизель-генераторных установок / Д.С.Жалкин // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля – Луганськ: СНУ, 2002. - №6. - С.163-168.

18. Тартаковський Е.Д. Класифікація умов експлуатації локомотивних енергетичних установок за допомогою блокового бутстрепа / Е.Д.Тартаковський, Д.С.Жалкін // Зб.наук.праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2002. - Вип.49. - С.65-70.

19. Тартаковський Е.Д. Модель процесу експлуатації локомотивних енергетичних установок / Е.Д. Тартаковський, Д.С.Жалкін // Системні методи керування, технологія та організація виробництва ремонту і експлуатації автомобілів: Зб.наук.праць. Національн. транспорт. університету. – К.: НТУ, 2002. - Вип.15. - С.219-223.

20. Жалкин Д.С. Применение методов вейвлет - анализа для обработки данных о изменении расхода топлива тепловозами / Д.С.Жалкин // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля – Луганськ: СНУ, 2003. - №9(67). - С.204-208.

21. Жалкін Д.С. Застосування методів вейвлет-аналізу для аналізу якості функціонування тепловозів / Д.С.Жалкін // Інфор.керуючі системи на залізн. трансп. - 2003. - №4. - С.74 - 76.

22. Жалкін Д.С. Класифікація станів системи експлуатації та ремонту тепловозних дизелів під час їх роботи у різні сезони року / Д.С.Жалкін // Зб.наук.праць. Київськ. універ. економіки та технології транспорту - К: КУЕТТ, 2003. - Вип.4. - С.153-156.

23. Жалкін Д.С. Моделювання та аналіз сезонних змін якості моторних масел / Д.С.Жалкін, С.Ю.Корепанов //Зб.наук.праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2003. - Вип.56. - С.26-35.

24. Жалкин Д.С. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта тепловозов на базе теории нечетких множеств / Д.С.Жалкин // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля : науковий журнал. – Луганськ: СНУ, 2004. - №8(78), Ч.2 - С.235-239.

25. Жалкін Д.С. Імітаційне моделювання системи технічного обслуговування та ремонту тепловозів у різні сезони року / Д.С.Жалкін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля : науковий журнал. – Луганськ: СНУ, 2005. - №8(90), Ч.2 - С.141-145.

26. Жалкін Д.С. Аналіз сезонних коливань ефективності системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів / Д.С.Жалкін, В.І.Коваленко // Інфор. керуючі системи на залізн. трансп. - 2005. - №5. - С.43-47.

27. Жалкін Д.С. Моделювання та аналіз сезонних коливань показників надійності локомотивів / Д.С.Жалкін, В.І.Коваленко, С.Ф.Квасов // Зб. наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2005. - Вип.68. - С.131-143.

28. Жалкін Д.С. Комплексний критерій ефективності використання тепловозних дизелів / Д.С.Жалкін // Зб.наук.праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2007. - Вип.80. - С.29-37.

29. Жалкін Д.С. Паливомір АИРТ-2 – інструмент для визначення критерію ефективності використання тепловозних дизелів / Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін, С.О.Ібрагімов, Р.В.Одноконь // Зб. наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2007. - Вип.80. - С.54-63.

30. Жалкін Д.С. Підвищення енергетичної ефективності експлуатації тепловозів / Д.С.Жалкін, С.Г. Жалкін // Зб. наук. праць. / УкрДАЗТ, 2009. - Вип.114. - С.131-142.

31. Жалкін Д.С. Аналіз змін енергетичної ефективності тепловозів / Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін, Г.Є.Молотов // Зб. наук. праць. / УкрДАЗТ, 2010.- Вип.113.- С.148-152.

32. Жалкін Д.С. Програма сезонного регулювання кута випередження подачі палива тепловозних двигунів 6ТД / Д.С.Жалкін, А.І.Минко // Зб. наук. пр. - Харків: УкрДАЗТ, 2004. - Вип.59. - С.5-9.

33. Жалкін Д.С. Подовження терміну служби моторних мастил / Д.С.Жалкін // Зб. наук. праць. / УкрДАЗТ, 2011. –Вип.122. – С.113-120 .

34. Пат. №63625 Україна, МПК<sup>7</sup> F01M9/02. Система змащення двигуна внутрішнього згоряння / Венцель Є.С., Жалкін С.Г., Кравець А.М., Жалкін Д.С., Корепанов С.Ю.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. - №2003054369; заявл.15.05.2003; опубл. 15.12.05, Бюл.№12.

35. Пат. №96252 Україна, МПК<sup>7</sup> F01M9/00. Система змащення двигуна внутрішнього згоряння / Кравець А.М., Жалкін Д.С., Пузир В.Г., Бабенко А.О., Жалкін С.Г., Кравець В.Г., Жалкін О.Д., Крамчанин І.Г., Коваленко В.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. - №а201103111; заявл.16.03.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл.№19.

#### Додаткові праці

36. Інструктивні вказівки по підготовці, експлуатації та обслуговуванню тепловозів і дизель-поїздів у зимових умовах. ЦТ – 0070, наказ Укрзалізниці №275-Ц від 30.10.2003р. / Д.Жалкін, М.Каленік, С.Пилипенко, М.Сергієнко, М.Снітко –К: ПП«Алькор», 2003.- 34с. – ( нормативний документ Мінтрансв'язку України. Інструкція ).

37. Жалкін Д.С. Вплив сезонного регулювання паливної апаратури на економічність дизелів 1А-5Д49/ Д.С.Жалкін, О.Г.Крушедольский // Міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 1997. - Вип.29. - С.53-56.

38. Жалкін Д.С. Вплив сезонних факторів на показники дизелів 4Д80 / Д.С.Жалкін // Міжвуз. зб. наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 1999. - Вип.34. - С.35-37.

39. Анализ причин и разработка мероприятий по предупреждению досрочной смены моторного масла в тепловозных дизелях типа 10Д100. Методические указания по проведению деловой игры / Д.С.Жалкин , С.Г.Жалкин, Э.Д.Тартаковский, А.А.Цыганок - Харьков: ХарГАЗТ, 1995. - 57с.

40. Економія моторного масла при експлуатації тепловозних дизелів. Методичні вказівки за проведенням ділової гри / Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін, Е.Д.Тартаковський - Харків: ХарДАЗТ; ІППКК, 1996. - 40с.

41. Жалкин Д.С. Технология подготовки тепловозов 2ТЭ121 к сезонной эксплуатации / Д.С.Жалкин, А.Г.Теслик, Ю.В.Черняк, А.А.Цыганок // Межвуз. сб. науч. тр. - Харьков: ХИИТ, 1992. - Вып.20. - С.46-50.

42. Жалкін Д.С. Відновлення в'язкості та зневоднення моторного масла / Є.С.Венцель, С.Г.Жалкін, Д.С.Жалкін, В.О.Ніконова, О.А.Циганок // Межвуз. сб. науч. тр. - Харьков: ХарГАЗТ, 1997. - Вып.29. - С.12-16.

43. Венцель Є.С. Вибір методів і розробка обладнання для очищення моторних масел при їх частковій регенерації в умовах локомотивного депо / Є.С. Венцель, С.Г.Жалкін, Д.С.Жалкін, В.О.Ніконова, О.А.Циганок // Межвуз. сб. науч. тр. - Харьков: ХарГАЗТ, 1997. - Вып.30. - С.12-15.

44. Пат. на корисну модель №63595 Україна, МПК<sup>7</sup> F01M9/00. Система змащення двигуна внутрішнього згорання / Кравець А.М., Жалкін Д.С., Пузир В.Г., Бабенко А.О., Жалкін С.Г., Кравець В.Г., Жалкін О.Д., Крамчанін І.Г., Коваленко В.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. - №u201103851; заявл. 30.03.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл.№19.

45. Ерощенков С.А. Выбор рациональной системы прогрева тепловозных дизелів / С.А.Ерощенков, В.Г.Пузирь, Д.С.Жалкін, В.М.Бочаров, С.Г.Жалкін // Сб. науч. тр. - Харьков: УкрГАЗТ, 2008. - Вып.96. - С.174-185.

46. Жалкін Д.С. Технології підвищення енергетичної ефективності тепловозів / Д.С.Жалкін, А.Ю.Біда, О.Д.Жалкін // Зб. наук. праць. / УкрДАЗТ, 2011.

-Вип.126. - С.152-157.

47. Жалкін Д.С. Модель оптимального розміщення центрів регенерації дизельних мастил на мережі залізниць / Д.С.Жалкін, А.І. Трухан, О.Д.Жалкін // Зб. наук. праць. / УкрДАЗТ, 2011. -Вип.126. - С.152-157.

48. Жалкин Д.С. Влияние угла опережения впрыска топлива на экологические показатели дизелей типа 10Д100 / Д.С.Жалкин // Проблемы механики жел.-дор.тр-та. Динамика, прочность и надежность подвижного состава. тез. докладов конференции (Днепропетровск, май 1992). - Днепропетровск, 1992. - С.96.

49. Жалкін Д.С. Вплив кута випередження подачі палива на параметри паливної апаратури дизелів / Д.С.Жалкін // 55-та науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів зал. тр-ту, 23-25 листопада 1993 р.: тез. доп. - Харків, 1993. - С.5.

50. Жалкін Д.С. Регенерація дизельних масел в умовах локомотивного депо / Д.С.Жалкін, В.О.Ніконова, О.А.Циганок // 55-та науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів зал. тр-ту, 23-25 листопада 1993 р.: тез. доп. - Харків, 1993. - С.5.

51. Жалкін Д.С. Розробка обладнання для очищення дизельних масел в умовах депо / Д.С.Жалкін, О.А.Циганок // 57-та науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів зал. тр-ту за міжнародною участю, 21-23 листопада 1995 р. : тез.доп. - Харків, 1995. - С.5.

52. Жалкін Д.С. Результати експлуатаційних випробувань тепловозів типу 2ТЕ116 з сезонно відрегульованою паливною апаратурою / Д.С.Жалкін // 57-а науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів зал. тр-ту за міжнародною участю, 21-23 листопада 1995 р.: тез. доп. - Харків, 1995. - С.5.



53. Жалкін Д.С. Результати розрахунків параметрів тепловозних двигунів при підготовці до сезонної експлуатації / Д.С.Жалкін // 58-а науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів зал. тр-ту за міжнародною участю, 19-21 листопада 1996 р.: тез. доп. - Харків, 1997. - С.12.

54. Жалкин Д.С. Моделирование и оптимизация системы ТО и ТР локомотивных энергетических установок с учётом сезонных колебаний показателей их использования / Д.С.Жалкин // научно-практическая конференция «Актуальные проблемы Транссиба на современном этапе» (Новосибирск 21-23 октября 2001г.): тез. док. - Новосибирск, 2001. - С.18-20.

55. Жалкін Д.С. Зменшення витрат палива тепловозними двигунами під час сезонної експлуатації / Д.С.Жалкін // IV міжнародна науково-практична конференція «Проблеми економії енергії» ( Львів 8-12 жовтня 2003р.): зб. матеріалів. - Львів, 2003. - С.97.

56. Жалкін Д.С. Застосування нейро-сітьових методів для прогнозу показників роботи тепловозів / Д.С.Жалкін, В.І.Коваленко // 17-а міжнародна науково-технічна конференція «Перспективные информационно-управляющие системы на железнодорожном, промышленном и городском транспорте» (м. Алушта 20-25 вересня 2004 р.): Материалы выступлений. - Харків, 2004. - С.78.

## АНОТАЦІЯ

Жалкін Д.С. Розвиток наукових основ підготовки енергетичних установок тепловозів до сезонної експлуатації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. - Українська державна академія залізничного транспорту Мінінфраструктури України, Харків, 2011.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми розвитку наукових основ підготовки енергетичних установок тепловозів до сезонної експлуатації. Проведений аналіз та моделювання процесів, що протікають у системі ремонту й підготовки ЕУ тепловозів до сезонної експлуатації дозволив, запропонувати методологію її оптимізації, з метою зменшення сезонних коливань надійності й економічності ЕУ тепловозів. Сезонне регулювання ЕУ тепловозів перевірене дослідною експлуатацією. Рішення про необхідність проведення сезонного регулювання, контрольних чи діагностичних операцій приймається на основі комплексного критерію оцінки ефективності сезонної експлуатації ЕУ тепловозів.

Ключові слова: тепловоз, енергетична установка, ефективність експлуатації, надійність, моделювання, бутстреп, система ремонту, оптимізація, сезонне регулювання, сезонні фактори, витрати палива.

## АННОТАЦИЯ

Жалкин Д.С. Развитие научных основ подготовки энергетических установок тепловозов к сезонной эксплуатации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта Мининфраструктуры Украины, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы развитию научных основ подготовки энергетических установок тепловозов к сезонной эксплуатации. Выявлены факторы, влияющие на изменение надёжности и экономичности ЭУ тепловозов во время сезонной эксплуатации. Разработаны математические модели системы ремонта и подготовки к сезонной эксплуатации ЭУ тепловозов. Проведён анализ и моделирование процессов, протекающих в системе ремонта и подготовки ЭУ тепловозов к сезонной эксплуатации. Разработаны методология и модели оптимизации системы ТО и ТР ЭУ тепловозов, что позволяет уменьшить сезонные колебания надёжности и экономичности ЭУ тепловозов, повысить техническое состояние ЭУ в разные сезоны года.

Моделирование процесса изменения параметров ЭУ тепловозов, по сути своей случайного, проводилось с использованием моделей временных рядов. Для уточнения оценки характеристик распределения случайной величины в моменты времени применялась процедура блочного бутстрепа. Рассмотрены с оценкой параметров модели обработки временных рядов с помощью различных методов: линейных (многофакторной регрессии, авторегрессии, скользящего среднего и их комбинаций), адаптивных линейных моделей (методов сглаживания), моделей в пространстве состояний; методов вычислительного интеллекта (нечёткие системы, искусственные нейронные сети и их комбинации). Модель выбора и оптимизации объёмов работ при проведении сезонной подготовки и регулирования построена с помощью теории нечётких множеств. Как целевая функция принималась задача поддержания надёжности работы ЭУ тепловоза в разные сезоны эксплуатации на примерно постоянном уровне (в заданных пределах изменения коэффициента технического использования). Как ограничение задавались: ограничение на простой тепловоза при проведении ремонта; ограничения по имеющимся ресурсам (трудоемкость ремонта, материалы, оборудование). Оптимизация системы подготовки ЭУ тепловозов к сезонной эксплуатации рассмотрена также за счёт изменения межремонтного пробега с учётом сезонных изменений показателей ЭУ тепловозов.

Проведённое исследование по влиянию на параметры рабочего процесса ЭУ тепловозов изменения температуры воздуха, угла опережения подачи топлива и параметров системы наддува позволило предложить сезонное регулирование топливной аппаратуры. Выбор значений углов опережения подачи топлива, при сезонном регулировании, проведён с помощью модели нечёткого регулятора. Разработанная программа регулирования дизеля обеспечивает минимально

возможные значения удельных расходов топлива при значениях максимального давления при сгорании, не превышающих допустимых значений.

Проведённые исследования и разработанные модели позволили сформулировать основные положения концепции подготовки ЭУ тепловозов к сезонной эксплуатации. Для подтверждения теоретических положений выполнены расчёты для ЭУ тепловозов разных серий, определены пути минимизации удельного расхода топлива. Проведение сезонного регулирования ЭУ предложено совмещать с весенним и осенним комиссионными осмотрами тепловозов. Подготовка топливной аппаратуры к сезонной эксплуатации осуществляется с помощью разработанной диагностической аппаратуры. Разработанные предложения внесены в «Инструктивные указания по подготовке, эксплуатации и обслуживанию тепловозов и дизель-поездов в зимних условиях», № ЦТ-0070 и утверждены приказом Укрзалізнице № 275Ц от 30.10.2003 г.

Выявленные закономерности изменения показателей качества моторного масла тепловозов при эксплуатации в разные сезоны года указывают на необходимость разработки устройств, направленных на уменьшение смены масла из-за достижения браковочными показателями недопустимых значений.

Практическая ценность модели оценки качества сезонного функционирования ЭУ тепловозов состоит в снижении суммарных расходов на их эксплуатацию за счет повышения надёжности их работы и снижения расхода топлива. Созданная система управления процессом подготовки ЭУ тепловоза к сезонной эксплуатации позволяет формировать перечень диагностических, ремонтных и регулировочных операций с учётом текущего технического состояния ЭУ тепловоза и сезона его эксплуатации. Решение о необходимости проведения сезонного регулирования, контрольных или диагностических операций принимается на основе разработанного комплексного критерия оценки эффективности сезонной эксплуатации ЭУ тепловозов.

Ключевые слова: тепловоз, энергетическая установка, эффективность эксплуатации, надёжность, моделирование, бутстреп, система ремонта, оптимизация, сезонное регулирование, сезонные факторы, расход топлива.

## SUMMARY

D.Zalkin. The development of scientific bases of energetic infrared imager facilities for seasonal operation. – Manuscript.

Thesis for the scientific degree of Doctor of Engineering Sciences. Speciality 05.22.07 – Railway Rolling Stock and Rail Traction. – Ukrainian State Academy of Railway Transport Mininfrastructure Ukraine, Kharkiv, 2011.

The dissertation is devoted to solving scientific and applied problem of scientific bases development of energetic infrared imager facilities for seasonal operation. The analysis and simulation processes occurring in the maintenance and preparing system of energetic infrared imager facilities for seasonal operation gave the opportunity to offer methodology of its optimization for the reduction of seasonal vibration of reliability and

energetic infrared imager facilities efficiency. Seasonal adjustment of energetic infrared imager facilities has been tested by experimental operation. Solution of necessity for seasonal regulation, control or diagnostic operations is made on a basis of seasonal adjustment of energetic infrared imager facilities.

Keywords: locomotive, power plant, operating efficiency, reliability, simulation, bootstrap, system maintenance, optimization, and seasonal adjustment, seasonal factors, fuel consumption.

Жалкін Денис Сергійович

УДК 629.424.3:621

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДГОТОВКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ ДО СЕЗОННОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доцент О.С. Крашенінін

---

Підписано до друку 16.12.2011 р.

Формат паперу 60x84. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,9. Тираж 100. Замовлення № 603.

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №2874 від 12.06.2007 р.

