

Українська державна академія залізничного транспорту

Калабухін Юрій Євгенович

УДК 629.4.016

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-
ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, кафедра «Експлуатація та ремонт
рухомого складу», завідувач кафедри

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Боднар Борис Євгенович, Дніпропетровський
національний університет залізничного транспорту ім.
академіка В. Лазаряна, перший проректор, завідувач
кафедри «Локомотиви»

доктор технічних наук, професор

Кельрих Мусій Борисович, Державний економіко-
технологічний університет транспорту, завідувач кафедри
«Вагони»

доктор технічних наук, професор

Далека Василь Хомич, Харківська національна академія
міського господарства, завідувач кафедри «Електричний
транспорт»

Захист відбудеться “ 22 ” _____ квітня _____ 2010 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий “ 20 ” _____ березня _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Прохорченко А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ

Однією зі складових в роботі залізниць України є локомотивне господарство, головним завданням якого є забезпечення процесу перевезень технічно справним тяговим рухомим складом. Звісно, що на локомотивне господарство припадає значна частина експлуатаційних витрат. Тому від рівня технічного стану та оновлення тягового рухомого складу, умов його використання, системи ремонту та обслуговування залежать результати діяльності транспорту в цілому.

Актуальність теми дисертації

На теперішній час тяговий рухомий склад залізниць України, що обслуговує вантажний, пасажирський, приміський та маневровий рух, знаходиться у критичному стані – його знос складає від 70 % до 80 %, а фактичний термін експлуатації – від 25 до 40 років. Такий моральний та фізичний знос активної частини основних фондів залізниць може призвести до негативних технічних, економічних та соціально-екологічних наслідків.

Таким чином, у найближчій перспективі однією з першочергових проблем Укрзалізниці стає оновлення тягового рухомого складу. Без урахування таких прогресивних напрямків в роботі транспорту, як організація швидкісного пасажирського руху, створення міжнародних транспортних коридорів – неможливо підвищити конкурентоспроможність українських залізниць на ринку транспортних послуг. Отже, ця проблема є досить актуальною.

Оновлення тягового рухомого складу може відбуватися як за рахунок придбання нової техніки, так і за рахунок модернізації існуючої. В обох випадках це потребує значних капітальних вкладень, особливо коли розглядаються можливості придбання локомотивів за кордоном (наприклад, в Росії, Чехії і т. ін.). При цьому необхідно відзначити, що Україна має власний науково-виробничий потенціал, який дозволяє організувати і освоїти, з урахуванням світового досвіду, виробництво тягового рухомого складу, у тому числі локомотивів.

Розробка та освоєння виробництва сучасного тягового рухомого складу, а також модернізація існуючого потребує проведення техніко-економічного аналізу та наукового обґрунтування вибору можливих варіантів оновлення нової техніки. При цьому техніко-економічні розрахунки повинні враховувати етапи: виробництва прогресивних видів техніки, її експлуатації та утилізації. Ці етапи являють собою тривалий період часу, протягом якого можливі зміни: в національній економіці; обсягів перевезень; різноманітних вартісних показників та нормативної бази; показників технічного стану (надійності, економічності, продуктивності, екологічності технічних засобів і т. ін.). Однак у теперішній час в залізничній галузі України відсутній науковий напрямок щодо єдиної сучасної методології по визначенню техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням його життєвого циклу. Це викликає безліч методів, на основі яких здійснюються відповідні висновки та

визначаються техніко-економічні показники, які в окремих випадках не відповідають одне одному. У деяких випадках ці методи є недостатньо обґрунтованими. Крім того, ці методи у своїй більшості не враховують динаміку технічних, технологічних та економічних процесів, які значно впливають на результати роботи транспорту.

Тому, на сучасному етапі розвитку тягового рухомого складу, в умовах ринкових відносин, необхідно вирішити науково-прикладну проблему – створення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням усіх можливих змін протягом життєвого циклу, яка б давала змогу робити прогнози доцільності та вигідності проектів по створенню та втіленню в експлуатацію нової техніки і модернізації тієї, що існує.

Це визначає актуальність теми дисертації.

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

Роботу виконано згідно з науково-технічною програмою «Розвиток відомчого залізничного транспорту для забезпечення вантажних перевезень на підприємствах України», яку введено в дію наказом Міністерства промислової політики від 13 грудня 2004 р. №667, «Концепцією та програмою реструктуризації на залізничному транспорті України» та розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. №651-р. «Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України», «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», яку введено в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку від 14 жовтня 2008 р. №1259.

Наукові результати дисертаційної роботи отримані при виконанні таких науково-дослідних робіт: «Модернізація та удосконалення технології ремонту дизелів 11Д45 та 14Д40» (ДР 0195U015069), «Розробка та втілення системи реєстрації і аналізу технічного стану силових установок тепловозів 2М62 з метою зменшення витрат на ремонт та обслуговування» (ДР 0195U015070), «Справочник по эксплуатации тепловых сетей и теплового оборудования» (ДР 0107U007753), «Розробка техніко-економічного обґрунтування, експертиза нормативно-технічної документації по маневровому тепловозу та участь у випробуваннях» (ДР 0104U000018), «Вибір оптимальних параметрів перспективних типів магістральних, маневрових тепловозів та моторвагонного рухомого складу» (ДР 0104U003178), «Проведення досліджень та розробка методичних положень по розподілу локомотивних, вагонних та пасажирських депо на експлуатаційну та ремонтну частину» (ДР 0107U006535), «Оцінка технічного рівня та техніко-економічна оцінка модернізованих тепловозів серії ЧМЕЗП. Розробка технічного завдання на маневровий тепловоз серії ЧМЕЗП» (ДР 0108U009084).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладної проблеми – удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу.

Реалізація поставленої мети потребує вирішення таких основних задач:

- проаналізувати віковий стан тягового рухомого складу залізниць України та визначити тенденції його оновлення;
- сформулювати науковий підхід визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням умов його експлуатації, технічного обслуговування та ремонту протягом життєвого циклу;
- систематизувати складові та створити модель життєвого циклу тягового рухомого складу у відповідності до умов його експлуатації;
- розробити систему питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням умов його експлуатації протягом життєвого циклу, на основі якої здійснюється вибір варіанту оновлення залізничної техніки;
- запропонувати методологію визначення техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням умов його експлуатації, технічного обслуговування та ремонту протягом життєвого циклу;
- розробити комплекс багатофакторних математичних моделей витрат енергоносіїв та викидів шкідливих речовин сучасного тягового рухомого складу із застосуванням тягових розрахунків.

Об'єкт дослідження – процес формування техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу.

Предмет дослідження – методологія визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу.

Методи дослідження. Поставлені в дисертації мета і задачі дослідження вирішувались за допомогою методів дослідження операцій, методів динаміки середніх, методів послідовної оптимізації, чисельних методів розрахунку на ПЕОМ. Для визначення та побудови математичних моделей витрати енергоресурсів на тягу поїздів та викидів шкідливих речовин дизелями тепловозів було застосовано теорію локомотивної тяги та методи планування експерименту, а також чисельні методи математичного аналізу. При розробці системи питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу використовувались методи теорії надійності, методи економіко-математичного моделювання і математичної статистики. Для наукового обґрунтування рішення стосовно варіанту оновлення тягового рухомого складу було використано методи прийняття технічних рішень. Достовірність отриманих результатів визначається зіставленням

результатів теоретичного і практичного використання розроблених методів і моделей, оскільки різниця не перевищувала 5 %.

Наукова новизна одержаних результатів

Вирішена науково-прикладна проблема удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу та адаптації до змінних факторів експлуатації. Створені наукові підходи до оновлення тягового рухомого складу залізничного транспорту України, запропоновані нові методи для їх реалізації.

Вперше:

- сформовано та формалізовано науковий підхід визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі систематизації та оцінки складових його життєвого циклу у відповідності до умов експлуатації, який дозволяє науково обґрунтувати вибір варіанту оновлення залізничної техніки з урахуванням світового технічного рівня;

- сформовано та формалізовано систему питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу, використання яких, на відмінність від загальноприйнятих показників, підвищить достовірність оцінок варіанту оновлення залізничної техніки з урахуванням життєвого циклу;

- розроблено новий метод визначення складових техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу, який дозволяє прогнозувати доцільність оновлення залізничної техніки;

- створено комплекс багатфакторних математичних моделей витрат енергоносіїв та викидів шкідливих речовин сучасним тяговим рухомих складом, які дозволяють на відмінність від існуючих моделей отримати та дослідити залежність енергоспоживання та шкоди навколишньому середовищу від факторів експлуатації протягом життєвого циклу.

Дістали подальшого розвитку:

- методи кількісної оцінки станів тягового рухомого складу протягом життєвого циклу з урахуванням особливостей його конструкції, технічного рівня, експлуатації, системи поточного ремонту та технічного обслуговування, що дозволяє підвищити достовірність оцінки техніко-економічних показників;

- метод визначення маси викидів шкідливих речовин та шкоди, яка наноситься навколишньому середовищу тепловозом на етапі експлуатації;

- метод наукового обґрунтування доцільності придбання та використання перспективного тягового рухомого складу з урахуванням його життєвого циклу та умов експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів

Запропонований науковий підхід визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі систематизації та оцінки складових його життєвого циклу у відповідності до умов експлуатації

дозволив науково обґрунтувати розробку та виробництво сучасних вітчизняних маневрових тепловозів Відкритим акціонерним товариством Холдінгова компанія «Луганськтепловоз». Економічний ефект запропонованих розробок складає понад 800 тис. грн.

Розроблений комплекс методів та процедур визначення техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу дозволив Державній адміністрації залізничного транспорту «Укрзалізниця» науково обґрунтувати розробку та впровадження модернізації маневрових тепловозів. Економічний ефект запропонованих розробок складає 891 тис. грн.

Створена методологія визначення техніко-економічних показників функціонування електропоїзду з урахуванням життєвого циклу в умовах експлуатації залізниць України дозволила прийняти Державному підприємству «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» науково-обґрунтоване рішення щодо варіанту оновлення даного типу тягового рухомого складу. Економічний ефект запропонованих розробок складає 7000 тис. грн. за життєвий цикл.

Створений комплекс багатofакторних математичних моделей витрат енергоносіїв та викидів шкідливих речовин сучасним тяговим рухомим складом використовується у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту в дипломному проектуванні студентів спеціальностей «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту» і «Електричний транспорт»; при виконанні науково-дослідних робіт студентів; в Інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів при УкрДАЗТ за технічними спеціальностями. Практичне впровадження результатів роботи підтверджено відповідними документами та матеріалами, які подані в додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача

У працях, які написані у співавторстві дисертанту належить:

[2, 3, 5, 12, 15, 23] – систематизація та визначення складових вартості життєвого циклу тягового рухомого складу у відповідності до умов його експлуатації, ремонту та технічного обслуговування;

[10, 16, 17, 18, 20, 22, 24] – методологія визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням умов його експлуатації протягом життєвого циклу;

[1, 4, 19] – метод визначення екологічних показників функціонування тепловозів з урахуванням умов його експлуатації протягом життєвого циклу;

[11, 13, 21, 37] – розробка моделей та розрахунки техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі даних життєвого циклу;

[9, 14, 29, 30, 31] – аналіз сучасних напрямків розвитку залізничного транспорту України та тягового рухомого складу.

Апробація результатів дисертації

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і отримали схвалення на таких конференціях:

- IV міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ 2005 р.);
- I міжнародній науковій конференції (Україна, Крим, м. Судак, 2006 р.);
- LXVI міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2006 р.);
- II науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Україна, Крим, м. Коктебель, 2006 р.);
- II науково-практичній міжнародній конференції «Втілення наукоємних технологій на магістральному та промисловому залізничному транспорті» (Україна, Крим, м. Алушта, 2006 р.);
- VI міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ 2007 р.);
- III міжнародно-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Україна, Крим, м. Коктебель, 2007 р.);
- VII міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ 2008 р.);
- IV міжнародно-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Україна, Крим, м. Коктебель, 2008 р.);
- III міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті – ЕКУЗТ 2008» (Україна, Крим, м. Судак, 2008 р.);
- 66-71 науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту (Україна, м. Харків, 2004-2009 рр.).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на:

- розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради (м. Харків, 2009 р.);
- науковому семінарі Державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (м. Київ, 2009 р.);
- розширеному науковому семінарі кафедри електричного транспорту Харківської національної академії міського господарства (м. Харків, 2009 р.);
- розширеному засіданні факультету систем рейкових комунікацій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Луганськ, 2009 р.).

Публікації

Основні результати дослідження опубліковані в 38 наукових працях. З них 25 статей у виданнях, які затверджені ВАК України як фахові (зокрема 10 без співавторів).

Структура роботи

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 420 сторінок, в тому числі 251 сторінка основного тексту, 6 таблиць, 48 рисунків, 6 додатків на 76 сторінках, список використаної літератури включає 357 найменувань на 39 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, доведена її актуальність і зв'язок з науковими програмами та науково-дослідними темами, сформульована мета роботи, визначені її наукова новизна і практична цінність.

У **першому розділі** зроблено аналіз вікового стану існуючого парку тягового рухомого складу залізниць України. За даними Укрзалізниці на початок 2009 р. частка тягового рухомого складу з терміном експлуатації понад 25-30 років перевищила 70. На даний час знос електровозів складає 83 %, тепловозів – 89 %, електропоїздів – 78 %, дизель-поїздів – 70 %. Це призводить до зростання витрат на експлуатацію, ремонт та технічне обслуговування тягового рухомого складу.

За три подальші роки ряд типів тягового рухомого складу відпрацює подовжені раніше на 15 років терміни їх нормативної експлуатації. Як засвідчив аналіз, найкритичніша ситуація склалася із забезпеченням перевезень електровозами та електропоїздами постійного струму. Збільшуватиметься дефіцит тепловозів, дизель-поїздів та інших типів тягового рухомого складу.

Таким чином, у найближчій перспективі вирішення задач Укрзалізниці з оновлення тягового рухомого складу висувається на рівень проблем державного значення, які безпосередньо впливають на забезпечення національної безпеки і вимагають системного підходу до проведення злагодженої взаємодії між вченими, виробниками і експлуатаційниками. Це вимагає необхідності наукового та методичного обґрунтування використання існуючого парку тягового рухомого складу, його модернізації, а також доцільності створення та виробництва нового рухомого складу з урахуванням світового технічного рівня.

Згідно з прийнятою в 2008 р. «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», яку введено в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку від 14 жовтня 2008 р. №1259 актуальним є вирішення таких проблем:

- серійне виробництво якісного нового тягового рухомого складу;
- скорочення термінів створення та впровадження прогресивної техніки нового покоління та ефективних технологій для переоснащення залізничного транспорту;

- створення тягового рухомого складу нового покоління з підвищеною потужністю, у тому числі зі швидкістю 200 км/год, обладнаного перетворювачами електроенергії з мікропроцесорною системою керування й діагностування, в яких використовується сучасна елементна база та ін.

Питанням визначення та поліпшення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу приділяється багато уваги. Фундаментальні дослідження в цьому напрямку виконувались і виконуються як в наукових організаціях Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту, Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Московський державний університет шляхів сполучення, Петербурзький державний університет шляхів сполучення, Ростовський державний університет шляхів сполучення, Омський державний університет шляхів сполучення, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Українська державна академія залізничного транспорту, Національний технічний університет «ХПІ» та ін., так і на виробничих підприємствах Відкрите акціонерне товариство Холдінгова компанія «Луганськтепловоз», Виробниче об'єднання «Завод ім. Малишева», Державне підприємство Науково-виробнича компанія «Електровозобудування», Промислова група «Трансмашхолдінг» (Росія) та ін.

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

Аналіз методів визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу показав, що на сучасному етапі еволюційного розвитку нової техніки для залізничного транспорту потрібне їх удосконалення з урахуванням життєвого циклу, що застосовується у світовій практиці. Це дозволяє науково обґрунтувати вибір варіанту оновлення залізничної техніки.

На основі проведеного аналізу, в першому розділі сформульовано мету і завдання дисертації.

Другий розділ присвячено розробці теоретичних положень визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі систематизації та оцінки складових життєвого циклу у відповідності до умов експлуатації.

Поняття життєвого циклу та показник вартості життєвого циклу (Product Life Cycle Cost – LCC) з 1990-х років активно використовується на

залізничному транспорті європейських країн. Це обумовлено тим, що при гострій ринковій конкуренції промислові компанії доповнюють поставки своєї продукції замовникам пакетами супутніх послуг, беруть участь або повністю покладають на себе функції технічного обслуговування і ремонту виробів, які реалізуються. Завдяки цьому з'явилася можливість ефективного маневрування витратами на розробку, виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт. Взаємодія в рамках концепції вартості життєвого циклу звичайно вигідна і постачальнику, і замовнику. Саме так працюють із замовниками залізничного транспорту відомі виробники рухомого складу Siemens, Alstom, Bombardier та ін. На цей час концепція LCC стає все більш актуальною.

У Європі щодо визначення життєвого циклу на залізничному транспорті розроблено та введено в дію європейський стандарт EN 50126 «Об'єкти залізничного транспорту. Вимоги та підтвердження надійності, безвідмовності, ремонтпридатності та безпеки» (RAMS – Reliability, Availability, Maintainability, Safety) та створено Союзом європейської залізничної промисловості «Керівництво щодо вартості життєвого циклу».

В Росії розроблено ГОСТ Р 52944-2008, яким встановлено терміни та визначення понять в області життєвого циклу залізничного рухомого складу.

Безпосередньо питанням життєвого циклу тягового рухомого складу залізничного транспорту присвячено роботи вітчизняних вчених Басова Г.Г., Боднара Б.Є., Босова А.А., Тартаковського Е.Д., Фалендиша А.П. та російських – Вавілова Н.Є., Іванової Н.Г., Косова Є.Є., Осяєва А.Т., Павлова Л.Н., Подшивалова А.Б., Соколова Ю.І.

Життєвий цикл тягового рухомого складу являє собою період T від початку фінансування розробки проекту з створення нових засобів тяги t_n і до кінця терміну їх служби $t_k = t_n + T$. Цей період можна розділити на три основні етапи (рис. 1).

Перший етап включає дослідження та підготовку вимог до перспективного типу тягового рухомого складу та до конкретної нової серії, попереднє визначення полігону її використання та прогнозування необхідної кількості.

Другий етап життєвого циклу уявляє собою час використання тягового рухомого складу на лінії, його технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, а також модернізацію.

Впровадження тягового рухомого складу супроводжується супутніми заходами такими, як реконструкція ремонтної бази, підготовка експлуатаційного та ремонтного персоналу, випробування та сертифікація дослідної партії та т.п., що в залежності від способу придбання тягового рухомого складу можна віднести або до першого, або до другого етапу.

Третій етап життєвого циклу – це вилучення тягового рухомого складу з експлуатації та його утилізація.

Основна частка життєвого циклу тягового рухомого складу припадає на другий етап. На момент часу t другого етапу життєвого циклу тягова одиниця

може знаходитись в одному із станів з імовірністю $p_j(t)$. Кожен стан характеризується тривалістю за часом Δt_j та відповідними показниками ефективності $e_j(t)$, які уявляють собою змінну величину протягом життєвого циклу. Перехід тягової одиниці з одного стану в другий характеризується тривалістю за часом Δt_{ij} та відповідною інтенсивністю потоку подій λ_{ij} , які теж являють собою змінну величину протягом життєвого циклу. Таким чином, система функціонування тягового рухомого складу уявляє собою динамічну систему з стохастичним відношенням між її елементами та з іншими системами. Модель життєвого циклу тягової одиниці за таких умов може бути представлена у вигляді відповідного графу станів: $S = \{S_j\} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}\}$ (рис. 2). Враховуючи граф, який сформовано, процес, що протікає на другому етапі життєвого циклу тягової одиниці, можна вважати марковським та скласти відповідну систему диференціальних рівнянь Колмогорова (1).

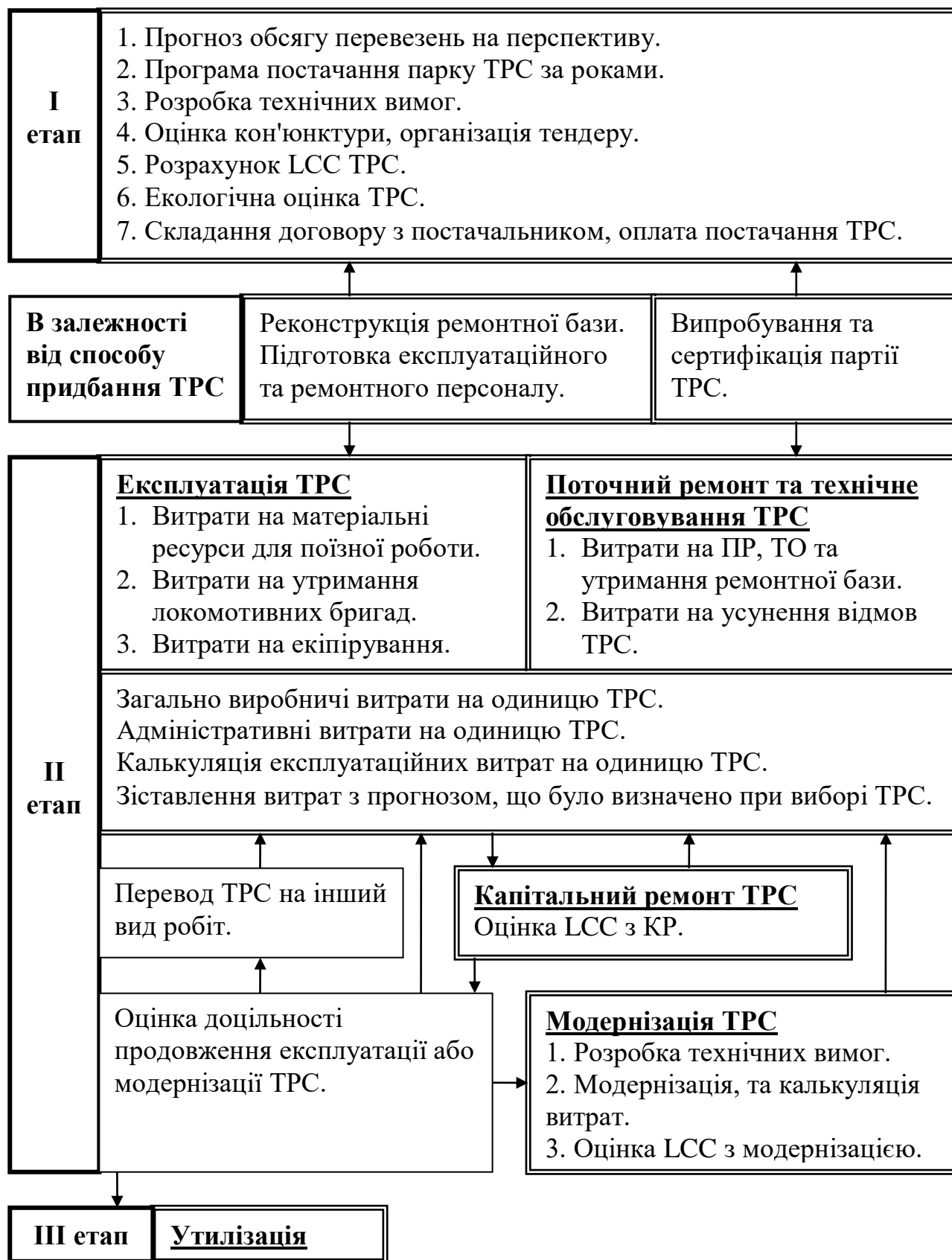


Рис. 1. Етапи життєвого циклу тягового рухомого складу та складові його вартості

$$\begin{aligned}
\frac{dp_1(t)}{dt} &= -(\lambda_{12} + \lambda_{17}) \cdot p_1(t) + \lambda_{31} \cdot p_3(t) + \lambda_{41} \cdot p_4(t) + \lambda_{51} \cdot p_5(t) \\
\frac{dp_2(t)}{dt} &= -(\lambda_{23} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29} + \lambda_{210} + \lambda_{211}) \cdot p_2(t) + \\
&+ \lambda_{32} \cdot p_3(t) + \lambda_{42} \cdot p_4(t) + \lambda_{52} \cdot p_5(t) \\
\frac{dp_3(t)}{dt} &= -(\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{37}) \cdot p_3(t) + \lambda_{23} \cdot p_2(t) \\
\frac{dp_4(t)}{dt} &= -(\lambda_{41} + \lambda_{42} + \lambda_{45} + \lambda_{47}) \cdot p_4(t) + \lambda_{34} \cdot p_3(t) \\
\frac{dp_5(t)}{dt} &= -(\lambda_{51} + \lambda_{52} + \lambda_{57}) \cdot p_5(t) + \lambda_{45} \cdot p_4(t) + \lambda_{35} \cdot p_3(t) + \lambda_{65} \cdot p_6(t) + \\
&+ \lambda_{75} \cdot p_7(t) + \lambda_{85} \cdot p_8(t) + \lambda_{95} \cdot p_9(t) + \lambda_{105} \cdot p_{10}(t) \\
\frac{dp_6(t)}{dt} &= -\lambda_{65} \cdot p_6(t) + \lambda_{26} \cdot p_2(t) \\
\frac{dp_7(t)}{dt} &= -\lambda_{75} \cdot p_7(t) + \lambda_{17} \cdot p_1(t) + \lambda_{27} \cdot p_2(t) + \lambda_{37} \cdot p_3(t) + \\
&+ \lambda_{47} \cdot p_4(t) + \lambda_{57} \cdot p_5(t) \\
\frac{dp_8(t)}{dt} &= -\lambda_{85} \cdot p_8(t) + \lambda_{28} \cdot p_2(t) \\
\frac{dp_9(t)}{dt} &= -\lambda_{95} \cdot p_9(t) + \lambda_{29} \cdot p_2(t) \\
\frac{dp_{10}(t)}{dt} &= -\lambda_{105} \cdot p_{10}(t) + \lambda_{210} \cdot p_2(t) \\
\sum_{j=1}^{10} p_j(t) &= 1
\end{aligned}
\tag{1}$$

де $p_1(t), p_2(t), \dots, p_{10}(t)$ – імовірність знаходження тягової одиниці у відповідному стані в момент часу t ; λ_{ij} – інтенсивність потоку відповідної події.

Кількісною оцінкою ефективності $e_j(t)$ кожного стану життєвого циклу тягового рухомого складу на момент часу t є відповідні техніко-економічні показники та рівень споживання матеріальних, трудових та фінансових ресурсів, який залежить від них. Показник вартості життєвого циклу узагальнює цей рівень з урахуванням динаміки зміни техніко-економічних показників та імовірності переходу тягової одиниці з одного стану в другий протягом цього періоду часу.

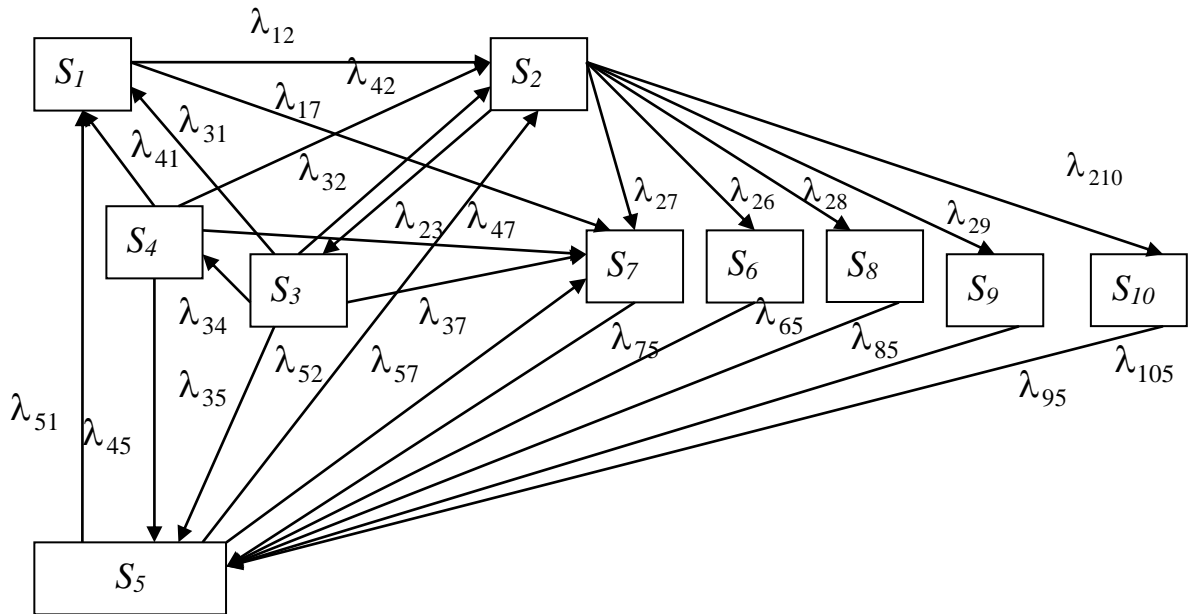


Рис. 2. Граф станів тягової одиниці протягом другого етапу життєвого циклу: S_1 – очікування експлуатації; S_2 – експлуатація; S_3 – технічне обслуговування ТО-1; S_4 – технічне обслуговування ТО-2; S_5 – екіпіровка; S_6 – технічне обслуговування (ТО-3, ТО-4, ТО-5); S_7 – позаплановий ремонт; S_8 – поточний ремонт; S_9 – капітальний ремонт; S_{10} – модернізація.

Значення імовірності знаходження тягової одиниці у відповідному стані другого етапу в момент часу t , що отримано за допомогою вирішення системи диференціальних рівнянь (1), питомі витрати всіх видів ресурсів на одиницю стану \bar{c}_{j_t} та дисконтування цих витрат α_t визначає вартість другого етапу життєвого циклу від початкового t_n^{II} до кінцевого t_k^{II} року другого етапу, де $t_n^{II} \geq t_n$, а $t_n^{II} < t_k^{II} \leq t_n + T$, тобто

$$LCC_T^{II} = \sum_{t_n^{II}}^{t_k^{II}} \sum_{j=1}^{j=10} \{ \bar{c}_{j_t} \cdot \alpha_t \cdot p_j(t) \}. \quad (2)$$

З урахуванням витрат першого K_T^I та третього K_T^{III} етапів життєвого циклу отримуємо загальну вартість життєвого циклу тягової одиниці

$$LCC_T = K_T^I + LCC_T^{II} + K_T^{III}. \quad (3)$$

Стосовно до умов експлуатації тягової одиниці, формула (3) приймає вид:
 - при експлуатації експлуатаційно-ремонтним локомотивним депо

$$LCC_T = \left\{ \begin{aligned} & (\zeta_t^{TPC} + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^{t_n+T} (K_{од,t}^{cyn} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} ((\zeta_t^{KP} + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t) + \\ & + \sum_{t_n}^{\Pi} (S_t^M \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} ((\zeta_t^M + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t) + \\ & + \sum_{t_n}^{\Pi} ((I_t^{np.6} + I_{од,t}^{36} + I_{од,t}^a) \cdot \alpha_t) - \mathcal{L}_t \cdot \alpha_t \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

- при експлуатації експлуатаційним локомотивним депо з виконанням поточного ремонту та технічного обслуговування стороннім ремонтним підприємством

$$LCC_T = \left\{ \begin{aligned} & (\zeta_t^{TPC} + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^{t_n+T} (K_{од,t}^{cyn} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} ((\zeta_t^{KP} + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t) + \\ & + \sum_{t_n}^{\Pi} ((\zeta_t^M + B_t^{mp.}) \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} (S_t^M \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} (\zeta_t^{PP-3} \cdot \alpha_t) + \\ & + \sum_{t_n}^{\Pi} (\zeta_t^{PP-2} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} (\zeta_t^{PP-1} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^{\Pi} (\zeta_t^{TO-3} \cdot \alpha_t) + \\ & + \sum_{t_n}^{t_n+T} ((I_t^{np.6} + I_{од,t}^{36} + I_{од,t}^a) \cdot \alpha_t) - \mathcal{L}_t \cdot \alpha_t \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

де ζ_t^{TPC} – ціна придбання одиниці тягового рухомого складу, грн.; $B_t^{mp.}$ – витрати на транспортування одиниці тягового рухомого складу від місяця придбання або проведення капітального ремонту чи модернізації до місяця експлуатації, грн.; $K_{од,t}^{cyn}$ – супутні капітальні витрати, які необхідно здійснювати для впровадження одиниці тягового рухомого складу в експлуатацію, грн.; ζ_t^{KP} – ціна капітального ремонту одиниці тягового рухомого складу, грн.; ζ_t^M – ціна модернізації одиниці тягового рухомого складу, у випадку її виконання сторонніми підприємствами, грн.; S_t^M – собівартість модернізації одиниці тягового рухомого складу, у випадку її виконання власними силами локомотивного депо, грн.; $\zeta_t^{PP-3}, \zeta_t^{PP-2}, \zeta_t^{PP-1}, \zeta_t^{TO-3}$ – ціна відповідного поточного ремонту та технічного обслуговування, грн. $I_t^{np.6}$ – прямі виробничі витрати в розрахунку

на одиницю тягового рухомого складу, грн.; $I_{од_t}^{36}, I_{од_t}^a$ – відповідно, загально виробничі та адміністративні витрати в розрахунку на одиницю тягового рухомого складу, грн.; L_t – ліквідаційне сальдо у рік утилізації одиниці тягового рухомого складу, грн.

Складові формул 4 та 5 визначаються в рік t життєвого циклу.

Третій розділ присвячений удосконаленню системи техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу.

Існуюча система техніко-економічних показників використання тягового рухомого складу має добовий або середньодобовий характер виразу. Протягом життєвого циклу ці показники уявляють собою змінну величину. Тому застосування існуючої системи, при прийнятті рішень про довгостроковий варіант оновлення тягового рухомого складу, має обмежений характер, що може призвести до помилкових висновків. За цих умов доцільним було розробити систему техніко-економічних показників використання одиниці тягового рухомого складу, як середньо-експлуатаційних показників протягом життєвого циклу (табл. 1).

Таблиця 1

Питомі середньо-експлуатаційні техніко-економічні та екологічні показники використання одиниці тягового рухомого складу протягом життєвого циклу

Показник	Вид роботи тягової одиниці	
	У вантажному, пасажирському, регіональному та приміському русі, вимірник	У маневровому, господарському та вивізному русі, вимірник
1	2	3
1. Середньо-експлуатаційна ефективність	$\bar{E}\phi = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{од_t}}{LCC_T},$ ткм брутто/грн.	$\bar{E}\phi^M = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} (I_{e_t}^z \cdot T_{e\phi_t})}{LCC_T},$ перероб. ваг/грн.
2. Середньо-експлуатаційна енергомісткість дизельної тяги	$\bar{g}_e = 10^4 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} G_{pic_t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{од_t}},$ кг/10 ⁴ ткм брутто	$\bar{g}_e^M = 100 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} G_{pic_t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} (I_{e_t}^z \cdot T_{e\phi_t})}$ кг/100 перероб. ваг
3. Середньо-експлуатаційна енергомісткість електричної тяги	$\bar{a}_e = 10^4 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} A_{pic_t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{од_t}},$	-

кВт-год/10⁴ ткм брутто

Продовження табл. 1

1	2	3
4. Середньо-експлуатаційний виробіток	$\bar{H} = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_t}{10^3 \cdot \sum_{t_n}^{t_n+T} H_t},$ <p>тис. ткм брутто/чол-год</p>	$\bar{H}^M = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} (P_{\epsilon_t}^2 \cdot T_{\text{еф.}t})}{\sum_{t_n}^{t_n+T} H_t},$ <p>перероб. ваг/чол-год</p>
5. Середньо-експлуатаційна матеріаломісткість	$\bar{M} = 10^3 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} (B_t^n + B_t^e + B_t^M) \cdot \alpha_t}{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{\text{од}t}},$ <p>грн./тис. ткм брутто</p>	$\bar{M}^M = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} (B_t^n + B_t^e + B_t^M) \cdot \alpha_t}{\sum_{t_n}^{t_n+T} (P_{\epsilon_t}^2 \cdot T_{\text{еф.}t})}$ <p>грн./перероб. ваг</p>
6. Питома середньо-експлуатаційна маса викидів <i>n</i> -ої шкідливої речовини	$\bar{m}_{\text{num}_n} = 10^4 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} M_{n_t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{\text{од}t}},$ <p>кг/10⁴ ткм брутто</p>	$\bar{m}_{\text{num}_n}^M = 100 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} M_{n_t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} (P_{\epsilon_t}^2 \cdot T_{\text{еф.}t})}$ <p>кг/100 перероб. ваг.</p>
7. Питома середньо-експлуатаційна оцінка шкоди навколишньому середовищу	$\bar{Y}_{\text{num.}} = 10^4 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} Y_t}{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{\text{од}t}},$ <p>грн./10⁴ ткм брутто</p>	$\bar{Y}_{\text{num.}}^M = 100 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} Y_t}{\sum_{t_n}^{t_n+T} (P_{\epsilon_t}^2 \cdot T_{\text{еф.}t})}$ <p>грн./100 перероб. ваг.</p>
8. Середньо-експлуатаційний добовий пробіг	$\bar{S}_{\text{л.}} = 24 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} L_{\text{пiч.}t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} T_{\text{еф.}t}}, \text{ км/добу}$	-
9. Середньо-експлуатаційна маса поїзду	$\bar{Q}_{\text{бр.}} = \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Q l_{\text{од}t}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} L_{\text{пiч.}t}}, \text{ т брутто}$	-

10. Середньо-експлуатаційна добова продуктивність	$\bar{P}_{л.} = 24 \cdot \frac{\sum_{t_n}^{t_n+T} \sum Ql_{одt}}{\sum_{t_n}^{t_n+T} T_{эф.т}},$ <p style="text-align: center;">ткм брутто/добу</p>	-
---	--	---

де $\sum Ql_{одt}$ – вантажообіг, який виконано одиницею тягового рухомого складу, ткм брутто; $L_{рiч.т}$ – річний пробіг тягової одиниці, км; $T_{эф.т}$ – ефективний фонд робочого часу використання тягової одиниці, год; $П_{в.т}^2$ – годинна переробка вагонів на маневровій горці, ваг/год; $G_{рiч.т}, A_{рiч.т}$ – витрата відповідно, палива та електроенергії тяговою одиницею, кг(кВт-год); H_t – кількість трудовитрат на експлуатацію, поточний ремонт та технічне обслуговування тягової одиниці, чол-год; B_t^n, B_t^e, B_t^m – витрати відповідно, на паливо, електроенергію, матеріали на експлуатацію, поточний ремонт та технічне обслуговування тягової одиниці, грн.; M_{n_t} – маса викиду n -ої шкідливої речовини тепловозом, кг; $У_t$ – економічна оцінка шкоди, що наноситься викидами шкідливих речовин тепловоза, грн.

Складові формул табл. 1 визначаються в рік t життєвого циклу.

Вибір показників, що ввійшли до складу системи, було здійснено із застосуванням методу Делфі. При виборі було враховано вимогу комплексного оцінювання ефективності споживання всіх видів ресурсів для забезпечення функціонування тягової одиниці протягом життєвого циклу за умови експлуатації, а саме: середньо-експлуатаційна енергомісткість – характеризує ефективність енергоспоживання для виконання одиниці експлуатаційної роботи; середньо-експлуатаційна матеріаломісткість – характеризує ефективність споживання матеріалів для виконання одиниці експлуатаційної роботи; середньо-експлуатаційний виробіток – характеризує ефективність споживання трудових ресурсів для виконання одиниці експлуатаційної роботи; середньо-експлуатаційна ефективність – комплексний показник, який характеризує ефективність споживання всіх видів ресурсів (енергетичних, трудових та матеріальних) для виконання одиниці експлуатаційної роботи. Показники середньо-експлуатаційний добовий пробіг, середньо-експлуатаційна маса поїзду та середньо-експлуатаційна добова продуктивність характеризують якість використання тягової одиниці протягом життєвого циклу.

Враховуючи екологічні вимоги, до системи показників ефективності використання одиниці тягового рухомого складу було включено показник – питома середньо-експлуатаційна маса викидів шкідливої речовини та питома середньо-експлуатаційна оцінка шкоди, що наноситься навколишньому середовищу.

Запропоновані питомі середньо-експлуатаційні техніко-економічні показники уявляють собою систему оціночних функцій і дозволяють зробити комплексний порівняльний аналіз альтернативних технічних рішень стосовно варіантів оновлення тягового рухомого складу з урахуванням особливостей експлуатаційної роботи протягом життєвого циклу. Основним узагальнюючим показником при прийнятті рішення є показник середньо-експлуатаційної ефективності, як той, що характеризує ефективність споживання усіх видів ресурсів при використанні варіанту техніки, тобто з декількох альтернативних варіантів вибирається той, для якого $\bar{E}\phi \rightarrow \max$. Крім того, дослідження впливу експлуатаційних факторів на питомі середньо-експлуатаційні техніко-економічні показники дозволяють надавати рекомендації стосовно шляхів підвищення ефективності використання тягового рухомого складу з урахуванням його технічних характеристик, регіону та умов експлуатації протягом життєвого циклу.

У четвертому розділі запропоновано методологію визначення складових системи питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних та екологічних показників функціонування тягової одиниці.

Техніко-економічні показники функціонування тягового рухомого складу формуються з технічних, технологічних та економічних показників, які між собою є взаємозалежними. Протягом життєвого циклу ці показники мають змінний характер. Однак методи, які існують на теперішній час, не враховують динаміку цих змін і дозволяють отримати лише середньодобові значення цих показників. Тому кількісна оцінка щорічних складових техніко-економічних показників за станом функціонування тягової одиниці, в залежності від її типу, виду та умов експлуатаційної роботи, системи ремонту та технічного обслуговування протягом життєвого циклу, дозволяє усунути недоліки цих методів.

Кількісна оцінка щорічних складових техніко-економічних показників як у вартісному (з урахуванням дисконтування α_t), так і в натуральному вигляді, визначається річним обсягом експлуатаційної роботи за станом у рік t життєвого циклу та витратами матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів на виконання одиниці цієї роботи (табл. 2 та табл. 3).

Результатом розрахунку за цим методом є річна складова вартості життєвого циклу тягової одиниці i -го типу LCC_{i_t} (табл. 3). Загальна вартість життєвого циклу визначається за формулою

$$LCC_{i_T} = \sum_{t_n}^{t_n+T} LCC_{i_t} . \quad (6)$$

Для кількісної оцінки щорічних складових техніко-економічних показників функціонування тягової одиниці (табл. 3) з урахуванням особливостей її технічного рівня, умов експлуатації, системи поточного

ремонту та технічного обслуговування було розроблено метод визначення енергетичних, матеріальних та трудових витрат на одиницю стану II етапу життєвого циклу. Враховуючи екологічні вимоги, ця оцінка повинна доповнюватися екологічною складовою.

Вихідними даними запропонованого методу є техніко-експлуатаційні, економічні та екологічні показники:

$T_1 = \{F_k, P_l, b_{xx}, G_{Ne}, b_{v.n.}, b_{v.n(xx)}, A_l, U \dots\}$ – технічна характеристика тягової одиниці;

$T_2 = \{Q_{бр.}, q_z, n_4, n_6, n_8, n_c, n_{дп}, a, в, с \dots\}$ – характеристика складу поїзда на ділянці експлуатації;

$T_3 = \{V_{техн.}, V_{обмеж.}, V_{діл.}, L_{діл.}, i_{ухил}, R_{кр.}, l_{кр.}, l_z, z, \tau_z, \tau_k, \tau_{ст.} \dots\}$ – характеристика профілю ділянки експлуатації та графіка роботи тягової одиниці;

Таблиця 2

Показники обсягу експлуатаційної роботи за станом тягової одиниці у рік t життєвого циклу

Показник обсягу експлуатаційної роботи у рік t життєвого циклу	Вид руху та тип тяги				
	Вантажний та пасажирський		Маневровий	Приміський та регіональний	
	Тепловоз	Електровоз	Тепловоз	Дизель-поїзд	Електропоїзд
Вантажообіг окремої серії ТРС	$\sum Ql_{z_t}^m$	$\sum Ql_{z_t}^e$	-	$\sum Ql_{z_t}^{\partial n}$	$\sum Ql_{z_t}^{en}$
Кількість обігів	$K_{об.м_t}$	$K_{об.е_t}$	-	$K_{об.дн_t}$	$K_{об.ен_t}$
Кількість j -их видів поточного ремонту або технічних обслуговувань	$N_{j.м_t}$	$N_{j.е_t}$	$N_{j.дн_t}$	$N_{j.ен_t}$	$N_{j.л_t}$
Кількість відмов	$N_{в.м_t}$	$N_{в.е_t}$	$N_{в.м_t}$	$N_{в.дн_t}$	$N_{в.ен_t}$
Ефективний фонд робочого часу	-	-	$T_{эф.т}$	-	-
Експлуатаційний парк окремої серії ТРС	$M_{z_t}^m$	$M_{z_t}^e$	$M_{z_t}^m$	$M_{z_t}^{\partial n}$	$M_{z_t}^{en}$

Таблиця 3

Кількісна оцінка щорічних складових техніко-економічних показників функціонування одиниці тягового рухомого складу у рік t життєвого циклу життєвого циклу

Стан функціонування тягової одиниці	Вид руху та тип тяги				
	Вантажний та пасажирський		Маневровий	Приміський та регіональний	
	Тепловоз	Електровоз	Тепловоз	Дизель-поїзд	Електропоїзд
1	2	3	4	5	6
Придбання	$(C_t^m + B_{m_t}^{mp.}) \cdot \alpha_t$	$(C_t^e + B_{e_t}^{mp.}) \cdot \alpha_t$	$(C_t^m + B_{m_t}^{mp.}) \cdot \alpha_t$	$(C_t^{\partial n} + B_{дн_t}^{mp.}) \cdot \alpha_t$	$(C_t^{en} + B_{ен_t}^{mp.}) \cdot \alpha_t$
Експлуатація	$B_{p.м_t}^{np.в.} \cdot K_{об.м_t} \cdot \alpha_t$	$B_{p.е_t}^{np.в.} \cdot K_{об.е_t} \cdot \alpha_t$	$B_{p.м_t}^{np.в.} \cdot T_{эф.т} \cdot \alpha_t$	$B_{p.дн_t}^{np.в.} \cdot K_{об.дн_t} \cdot \alpha_t$	$B_{p.ен_t}^{np.в.} \cdot K_{об.ен_t} \cdot \alpha_t$
Екіпірування	$B_{ек.м_t}^{np.в.} \cdot K_{об.м_t} \cdot \alpha_t$	$B_{ек.е_t}^{np.в.} \cdot K_{об.е_t} \cdot \alpha_t$	$B_{ек.м_t}^{np.в.} \cdot T_{эф.т} \cdot \alpha_t$	-	-

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6
Обслуговування та прибирання	-	-	-	$(B_{обсл. \partial n_t}^{np. \delta.} + B_{np \delta. \partial n_t}^{np. \delta.}) \times$ $\times K_{об. \partial n_t} \cdot \alpha_t$	$(B_{обсл. en_t}^{np. \delta.} + B_{np \delta. en_t}^{np. \delta.}) \times$ $\times K_{об. en_t} \cdot \alpha_t$
Технічне обслуговування за видами	$N_{TO-j.m_t} \cdot B_{TO-j.m_t}^{np. \delta.} \times$ $\times \alpha_t$	$N_{TO-j.e_t} \cdot B_{TO-j.e_t}^{np. \delta.} \times$ $\times \alpha_t$	$N_{TO-j.m_t} \times$ $\times B_{TO-j.m_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{TO-j. \partial n_t} \times$ $\times B_{TO-j. \partial n_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{TO-j. en_t} \times$ $\times B_{TO-j. en_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$
Позаплановий ремонт	$N_{\delta.m_t} \cdot B_{\delta.np.m_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{\delta.e_t} \cdot B_{\delta.np.e_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{\delta.m_t} \times$ $\times B_{\delta.np.m_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{\delta. \partial n_t} \cdot B_{\delta.np. \partial n_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{\delta.en_t} \cdot B_{\delta.np.en_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$
Поточний ремонт за видами	$N_{PP-j.m_t} \cdot B_{PP-j.m_t}^{np. \delta.} \times$ $\times \alpha_t$	$N_{PP-j.e_t} \cdot B_{PP-j.e_t}^{np. \delta.} \times$ $\times \alpha_t$	$N_{PP-j.m_t} \times$ $\times B_{PP-j.m_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{PP-j. \partial n_t} \times$ $\times B_{PP-j. \partial n_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$	$N_{PP-j. en_t} \times$ $\times B_{PP-j. en_t}^{np. \delta.} \cdot \alpha_t$
Загальнови­роб­ничі витрати	$\frac{I_t^{3\delta} \cdot \sum Ql_{z_t}^m}{M_{z_t}^m \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^{3\delta} \cdot \sum Ql_{z_t}^e}{M_{z_t}^e \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^{3\delta} \cdot \sum Mt_{z_t}^M}{M_{z_t}^M \cdot \sum Mt_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^{3\delta} \cdot \sum Ql_{z_t}^{\partial n}}{M_{z_t}^{\partial n} \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^{3\delta} \cdot \sum Ql_{z_t}^{en}}{M_{z_t}^{en} \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$
Адміністративні витрати	$\frac{I_t^a \cdot \sum Ql_{z_t}^m}{M_{z_t}^m \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^a \cdot \sum Ql_{z_t}^e}{M_{z_t}^e \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^a \cdot \sum Mt_{z_t}^M}{M_{z_t}^M \cdot \sum Mt_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^a \cdot \sum Ql_{z_t}^{\partial n}}{M_{z_t}^{\partial n} \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$	$\frac{I_t^a \cdot \sum Ql_{z_t}^{en}}{M_{z_t}^{en} \cdot \sum Ql_t} \cdot \alpha_t$
Капітальний ремонт за видами	$(\Pi_{m_t}^{KP-j} + B_{m_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{e_t}^{KP-j} + B_{e_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{m_t}^{KP-j} + B_{m_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{\partial n_t}^{KP-j} + B_{\partial n_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{en_t}^{KP-j} + B_{en_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$
Модернізація	$(\Pi_{m_t}^M + B_{m_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{e_t}^M + B_{e_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{m_t}^M + B_{m_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{\partial n_t}^M + B_{\partial n_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$	$(\Pi_{en_t}^M + B_{en_t}^{mp}) \cdot \alpha_t$
Утилізація	$- \Pi_{m_t} \cdot \alpha_t$	$- \Pi_{e_t} \cdot \alpha_t$	$- \Pi_{m_t} \cdot \alpha_t$	$- \Pi_{\partial n_t} \cdot \alpha_t$	$- \Pi_{en_t} \cdot \alpha_t$
Разом LCC_t	LCC_{m_t}	LCC_{e_t}	LCC_{m_t}	$LCC_{\partial n_t}$	LCC_{en_t}

$B_1 = \{C_m, C_{п.м.}, C_{ек.}, C_v, C_{ПП-j}, C_{ТО-j}, C_{в.м.м.}, M_n, M_{приб.} \dots\}$ – вартість трудових ресурсів;
 $B_2 = \{K_{с.з.}, K_{дод.}, K_{допл.} \dots\}$ – коефіцієнти доплат та нарахувань;
 $B_3 = \{a^m, B_M^6, B_M^{PP-j}, B_M^{TO-j}, B_M^{npб}, B_M^{обсл}, B_e^{o.o.}, c_n, c_e\}$ – вартість матеріальних ресурсів;

$H_1 = \{\tau_{np}, \tau_{зд}, \tau_{доп.}, t_{ек.пс.}, t_{ек.п.}, t_{в.м.м.}, T_{міс.}\}$ – використання робочого часу;

$H_2 = \{Ч_{ек.}, Ч_n, Ч_{приб.}, Ч_{в.м.м.}, H_v, H_{ПП-j}, H_{ТО-j}\}$ – використання трудових ресурсів;

$H_3 = \{L_{ПП-j}, L_{КР-j}, l_m\}$ – пробіг тягової одиниці, км;

$H_4 = \{\gamma, \sigma, \varphi, f, A_n, W\}$ – екологічні нормативи;

де F_k – сила тяги локомотива, кН; P_l – маса локомотива, кН; $V_{техн.}$ – технічна швидкість поїзда на ділянці, км/год; $V_{обмеж.}$ – обмеження швидкості поїзда на ділянці, км/год; $V_{діл.}$ – дільнична швидкість на ділянці, км/год; $Q_{бр.}$ – маса поїзду, т брутто; $L_{діл.}$ – довжина ділянки обертання тягової одиниці, км; q_z – навантаження на вісь вагона на z -ій ділянці ділянки обертання тягової одиниці, т брутто; l_z – довжина z -ої ділянки, км; n_4, n_6, n_8 – кількість відповідно, 4-ри, 6-ти та 8-ми вісних вагонів у складі поїзду на ділянці; n_c – кількість секцій електропоїзда; $n_{дп}$ – кількість вагонів дизель-поїзда; a, v, c – коефіцієнти рівняння основного питомого опору рухомого складу, Н/кН; z – кількість зупинок на ділянці маршруту; $i_{ухил}$ – ухил елемента профілю ділянки, ‰; $R_{кр.}$ – радіус кривої елемента профілю ділянки, м; $l_{кр.}$ – довжина кривої елемента профілю ділянки, м; b_{xx} – витрата палива на режимі холостого ходу тепловоза, кг/год; $b_{в.н.}$ – витрата електроенергії на власні потреби тепловоза, кВт-год/хв; G_{Ne} – питома ефективна витрата палива на режимі потужності тепловоза або дизель-поїзда, г/кВт-год; $b_{в.н(хх)}$ – витрати електроенергії на власні потреби секції електропоїзда (палива на режимі холостого ходу дизель-поїзда), кВт-год/хв(кг/год); A_I – токова характеристика тепловоза або секції електропоїзда, А; U – напруга в контактній мережі, В; $C_m, C_{п.м.}, C_{ек.}, C_v, C_{ПП-j}, C_{ТО-j}, C_{в.м.м.}$ – годинна тарифна ставка відповідно, машиніста, помічника машиніста екіпірувальника, робітника, який займається відновленням, поточним ремонтом та обслуговуванням тягової одиниці, робітника вагономийної машини, грн.; $M_n, M_{приб.}$ – місячна тарифна ставка відповідно, провідника та прибиральниці вагонів дизель-поїзда і моторвагонного рухомого складу, грн.; $K_{с.з.}, K_{дод.}, K_{допл.}$ – коефіцієнти, що враховують, відповідно, відрахування на соціальні заходи, додаткову заробітну плату та доплати; a^m – норма витрат матеріалів для поїзної роботи, грн.; $B_M^6, B_M^{PP-j}, B_M^{TO-j}, B_M^{npб}, B_M^{обсл}, B_e^{o.o.}$ – витрата відповідно, матеріалів на одиницю відновлення, поточного ремонту та технічного обслуговування j -ого виду, прибирання та обслуговування вагонів моторвагонного рухомого складу та дизель-поїзда, електроенергії на освітлення і опалення вагонів моторвагонного рухомого складу, грн.; c_n, c_e – ціна відповідно, 1 кг палива та 1 кВт-год електроенергії, грн.; $\tau_{np}, \tau_{зд}, \tau_z, \tau_k, \tau_{см}, \tau_{доп}$ – час відповідно на прийом та здавання тягової одиниці локомотивною бригадою, простою на z -ій зупинці, простою маневрового тепловоза у кар'єрі, на станції перечеплення поїзда, підчеплення маневрового тепловоза до вагонів у вантажному парку, хв; $t_{ек.пс.}$,

$t_{ек.п.}$ – час на екіпіровку локомотива відповідно піском та паливом, год; $T_{міс.}$ – місячний фонд робочого часу робітника, год; $Ч_{ек.}, Ч_{п.}, Ч_{пріб.}, Ч_{в.м.м.}$ – чисельність відповідно, екіпірувальників, провідників у приміському русі, прибиральниць та бригади вагономийної машини, чол.; $H_{в.}, H_{ПП-j}, H_{ТО-j}$ – трудомісткість одиниці відповідно, відновлення, поточного ремонту та технічного обслуговування тягового рухомого складу, чол-год; $t_{в.м.м.}$ – витрата часу на мийку секції моторвагонного рухомого складу, год; L_j – пробіг тягової одиниці між j -ми видами ремонту та технічного обслуговування, км; $l_{м.}$ – пробіг моторвагонного рухомого складу між суміжними мийками, км; γ – нормативна константа, що переводить умовну оцінку викидів шкідливих речовин в грошову, грн.; σ – показник відносної безпеки забруднення повітря над територіями різних типів; φ – поправка на підйом факела викидів в атмосферу; f – поправка, яка враховує характер розсіювання домішок в атмосфері; A_n – показник відносної агресивності n -ої шкідливої речовини, умовн. т.; W – загальне число шкідливих речовин, які викидаються до атмосфери; $Ц_t^m, Ц_t^e, Ц_t^м, Ц_t^{\partial n}, Ц_t^{en}$ – ціна придбання відповідно, тепловоза, електровоза, маневрового тепловоза, дизель-поїзда, електропоїзда, грн.; $B_{m_t}^{mp.}, B_{e_t}^{mp.}, B_{m_t}^{mp.}, B_{\partial n_t}^{mp.}, B_{en_t}^{mp.}$ – витрати на транспортування відповідно, тепловоза, електровоза, маневрового тепловоза, дизель-поїзда, електропоїзда, грн.; $B_{p.m_t}^{np.в.}, B_{p.e_t}^{np.в.}, B_{p.\partial n_t}^{np.в.}, B_{p.en_t}^{np.в.}, B_{p.m_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати на одиницю експлуатаційної роботи відповідно, тепловоза, електровоза, дизель-поїзда, електропоїзда та за час роботи маневрового тепловоза, грн.; $B_{ек.m_t}^{np.в.}, B_{ек.e_t}^{np.в.}, B_{ек.m_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати на екіпіровку за оборот відповідно, тепловоза, електровоза, та за час роботи маневрового тепловоза; $B_{ПП-j.m_t}^{np.в.}, B_{ПП-j.e_t}^{np.в.}, B_{ПП-j.\partial n_t}^{np.в.}, B_{ПП-j.en_t}^{np.в.}, B_{ПП-j.m_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати на здійснення одиниці j -ого виду поточного ремонту відповідно, тепловоза, електровоза, дизель-поїзда, електропоїзда та маневрового тепловоза, грн.; $B_{ТО-j.m_t}^{np.в.}, B_{ТО-j.e_t}^{np.в.}, B_{ТО-j.\partial n_t}^{np.в.}, B_{ТО-j.en_t}^{np.в.}, B_{ТО-j.m_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати на здійснення одиниці j -ого виду технічного обслуговування відповідно, тепловоза, електровоза, дизель-поїзда, електропоїзда та маневрового тепловоза, грн.; $B_{в.п.р.m_t}^{np.в.}, B_{в.п.р.e_t}^{np.в.}, B_{в.п.р.\partial n_t}^{np.в.}, B_{в.п.р.en_t}^{np.в.}, B_{в.п.р.m_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати на відновлення працездатності після відмови відповідно, тепловоза, електровоза, дизель-поїзда, електропоїзда та маневрового тепловоза, грн.; $B_{обсл.\partial n_t}^{np.в.}, B_{пріб.en_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати за оборот дизель-поїзда відповідно, на обслуговування та прибирання, грн.; $B_{обсл.en_t}^{np.в.}, B_{пріб.en_t}^{np.в.}$ – прямі виробничі витрати за оборот електропоїзда відповідно, на обслуговування та прибирання, грн.; $Ц_{m_t}^{KP-j}, Ц_{e_t}^{KP-j}, Ц_{m_t}^{KP-j}, Ц_{\partial n_t}^{KP-j}, Ц_{en_t}^{KP-j}$ – ціна одиниці j -ого виду капітального ремонту відповідно, тепловоза, електровоза, маневрового тепловоза, дизель-

поїзда, електропоїзда, грн.; $C_{m_t}^M, C_{e_t}^M, C_{M_t}^M, C_{\partial n_t}^M, C_{en_t}^M$ – ціна модернізації відповідно, тепловоза, електровоза, маневрового тепловоза, дизель-поїзда, електропоїзда, грн.; I_t^{36}, I_t^a – відповідно, загальновиробничі та адміністративні витрати локомотивного депо, грн.; $\sum Ql_t$ – загальний вантажообіг локомотивного депо, ткм брутто; $\sum Mt_t$ – загальні локомотивогодини маневрової роботи локомотивного депо, лок-год; $\sum Mt_{z_t}^M$ – локомотивогодини маневрової роботи z -ої серії маневрових тепловозів, лок-год; $LCC_{m_t}, LCC_{e_t}, LCC_{M_t}, LCC_{\partial n_t}, LCC_{en_t}$ – річна складова вартості життєвого циклу відповідно, тепловоза, електровоза, маневрового тепловоза, дизель-поїзда, електропоїзда, грн.

В основу методу визначення складових техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу покладено засіб безпосереднього розрахунку витрати енергетичних, матеріальних та трудових ресурсів на виконання одиниці експлуатаційної роботи та утримання тягової одиниці в технічно справному стані в рік t життєвого циклу, а саме:

1) експлуатація за типом тяги та видами руху

- тепловозна тяга в пасажирському та вантажному русі

$$B_{p.m_t}^{np.6.} = f(c_m; c_{n.m.}; \kappa_{c.z.}; \kappa_{\partial od}; \kappa_{\partial onl}; L_{\partial il}; V_{\partial il}; a_m^M; c_n; Y_n; n_4; n_6; n_8; q_z; l_z; b_{xx}; \tau_{np}; \tau_{3\partial}; \tau_z), \quad (7)$$

- електровозна тяга в пасажирському та вантажному русі

$$B_{p.e_t}^{np.6.} = f(c_m; c_{n.m.}; \kappa_{c.z.}; \kappa_{\partial od}; \kappa_{\partial onl}; L_{\partial il}; V_{\partial il}; a_e^M; c_e; Y_e; n_4; n_6; n_8; q_z; l_z; b_{e.n.}; \tau_{np}; \tau_{3\partial}; \tau_z), \quad (8)$$

- електричний моторвагонний рухомий склад (дизель-поїзд) у приміському русі

$$B_{p.en.(\partial n)_t}^{np.6.} = f(c_m; c_{n.m.}; \kappa_{c.z.}; \kappa_{\partial od}; \kappa_{\partial onl}; T_{об.}^{л.б.}; a_{en(\partial n)}^M; c_{e(n)}; Y_{e(n)}; n_{en(\partial n)}; q_z; l_z; b_{e.n.(xx)}; \tau_{np}; \tau_{3\partial}; \tau_z), \quad (9)$$

- тепловозна тяга в маневровому русі на маневровій гірці та при виконанні вивізної роботи

$$B_{p.m_t}^{np.6.} = f(c_m; \kappa_{c.z.}; \kappa_{\partial od}; \kappa_{\partial onl}; \Pi_{в.}^2; a_m^M; c_n; Y_n; n_4; b_{xx}; \tau_{\partial on}), \quad (10)$$

$$B_{p.m_t}^{np.6.} = f(c_m; \kappa_{c.z.}; \kappa_{\partial od}; \kappa_{\partial onl}; L_{\partial il}; V_{техн.}; a_m^M; c_n; Y_n; n_4; b_{xx}; \tau_{\kappa}; \tau_{cm}), \quad (11)$$

2) екіпірування

$$B_{ек.т}^{np.б} = f(\mathcal{U}_{ек.}; c_{ек.}; \kappa_{с.з.}; \kappa_{дод.}; \kappa_{допл.}; t_{ек.пс.}; t_n; M_{ек.пс.}; M_{ек.п}), \quad (12)$$

3) відновлення працездатності після відмови тягової одиниці

$$B_{в.п.т}^{np.б} = f(H_v; c_v; \kappa_{с.з.}; \kappa_{дод.}; \kappa_{допл.}; B_M^б), \quad (13)$$

4) поточний ремонт та технічне обслуговування j -го виду тягової одиниці

$$B_{jt}^{np.б} = f(H_j; c_j; \kappa_{с.з.}; \kappa_{дод.}; \kappa_{допл.}; B_M^j), \quad (14)$$

5) обслуговування та прибирання електросекцій моторвагонного рухомого складу (дизель-поїзда)

$$B_{обс.ен(дн)}^{np.б} = f(\mathcal{U}_n; n_c; n_{дн}; m_n; T_{об.}^{л.б.}; T_{міс.}; \kappa_{с.з.}; \kappa_{дод.}; \kappa_{допл.}; B_M^{обсл.}; T_{об.}; B_e^{o.o.}), \quad (15)$$

$$B_{прб.ен(дн)}^{np.б} = f(\mathcal{U}_{прб.}; n_c; n_{дн}; m_{прб.}; \mathcal{U}_{в.м.м.}; c_{в.м.м.}; t_{в.м.м.}; S; l_m; c_e; w_e; \kappa_{с.з.}; \kappa_{дод.}; \kappa_{допл.}; B_M^{прб.}), \quad (16)$$

де $M_{ек.пс.}$, $M_{ек.п.}$ – річна кількість екіпірувань локомотива відповідно, піском та паливом; $T_{об.}^{л.б.}$, $T_{об.}$ – оборот відповідно, локомотивної бригади та тягової одиниці, год; w_e – потужність вагономийної машини, кВт; $S_{доб.}$ – добовий пробіг моторвагонного рухомого складу або дизель-поїзда.

Для визначення енергетичної складової техніко-економічних показників та складової екологічних показників функціонування існуючих типів тягового рухомого складу з урахуванням виду та умов експлуатаційної роботи (табл. 4) було розроблено 2-ох та 3-ох факторні математичні моделі другого порядку питомої витрати палива U_n та електроенергії U_e на тягу поїздів та викиду n -ої шкідливої речовини тепловозом на вимірник експлуатаційної роботи $U_{ш.п_n}$ виду:

$$U_{n(e)(ш.п_n)} = a_0 + \sum_{i=1}^k (a_i \cdot X_i) + \sum_{i=1}^k (a_{ii} \cdot X_i^2) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i<j)}}^k (a_{ij} \cdot X_i \cdot X_j), \quad (17)$$

де a_0 , a_{ij} , a_{jj} – коефіцієнти кореляції; $X_1, X_2 \dots X_k$ – змінні фактори експлуатації; k – кількість факторів експлуатації.

Змінні фактори було вибрано на основі аналізу значимості їх впливу на функцію відгуку Y_n , Y_e та $Y_{ш.р_n}$. Для отримання коефіцієнтів кореляції моделей (табл. 5 та 6) було застосовано методи тягових розрахунків та планування експерименту, а також результати дослідження фактичного питомого викиду n -ої шкідливої речовини $m_{num_n}^{\phi}$ магістральними та маневровими тепловозами в залежності від їх фактичного терміну служби.

Таблиця 4

Серія тягового рухомого складу, для якого отримано багатофакторні математичні моделі енергоспоживання за видами експлуатаційної роботи

Вид експлуатаційної роботи	Серія тягового рухомого складу за видами тяги			Змінний фактор експлуатації
	Тепловозна тяга	Електро-возна тяга	Електро поїзд	
Пасажирський рух	ТЕП150, ТЕП70	ЧС4	-	q_z
				$V_{техн.}$, км/ГОД
Швидкісний пасажирський рух	ТЕП70 (подвійна тяга)	ЧС4	-	q_z , т брутто
				$V_{техн.}$, км/ГОД
Вантажний рух	2ТЕ116	ВЛ80с	-	z
				q_z , т брутто
				$V_{техн.}$, км/ГОД
Приміський та регіональний рух	-	-	ЕР9п, ЕПЛ9т	q_z , т брутто
				$V_{техн.}$, км/ГОД
Сортування вагонів на маневровій гірці	ЧМЕЗ, ЧМЕЗп, ТЕМ103, ТЕМ104	-	-	q_z , т брутто
				n_4 , вагонів
				n_6 , вагонів
Вивіз вагонів з кар'єру	ЧМЕЗ, ЧМЕЗп	-	-	n_4 , вагонів
				$V_{техн.}$, км/ГОД

Достовірність отриманих багатофакторних математичних моделей питомої витрати палива та електроенергії на тягу поїздів перевірялась шляхом зіставлення з фактичними даними експлуатації. Різниця не перевищувала 5 %.

Таблиця 5

Багатофакторна математична модель питомої витрати палива Y_n тепловозом 2ТЕ116 та електроенергії Y_e електровозом ВЛ80с для тяги вантажних поїздів

У	Коефіцієнт кореляції									
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{11}	a_{22}	a_{33}	a_{12}	a_{13}	a_{23}
Y_n	44,67	0,95	3,56	-11,89	-1,15	-1,64	-1,66	0,693	-0,878	-1,546
Y_e	82,96	2,48	23,44	-12,37	0,625	5,99	5,03	1,625	-0,125	-4,125

На теперішній час до транспортних засобів, що розробляються, висуваються жорсткіші вимоги щодо характеристик по викидах шкідливих речовин. Тобто оцінка техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу повинна доповнюватися оцінкою екологічних показників. Таку оцінку теж необхідно здійснювати протягом життєвого циклу з урахуванням особливостей експлуатаційної роботи.

Таблиця 6

Багатофакторна математична модель питомого викиду CO тепловозами ТЕР150 та ТЕР70 у пасажирському русі

U_{CO} тепловоз а	Коефіцієнт кореляції					
	a_0	a_1	a_2	a_{11}	a_{22}	a_{12}
ТЕР150	0,6493	-0,002	0,13171	-0,013	0,2056	-0,02175
ТЕР70	0,9354	-0,008	0,05282	-0,007	0,0534	-0,00053

В основу методу визначення щорічної екологічної складової показників функціонування тягової одиниці покладено засіб безпосереднього розрахунку викиду n -ої шкідливої речовини тепловозом при виконанні одиниці експлуатаційної роботи та річного обсягу цієї роботи (табл. 7). Для цього було використано багатофакторні математичні моделі питомого викиду n -ої шкідливої речовини тепловозом на вимірник експлуатаційної роботи $Y_{ш.р_n}$.

Таблиця 7

Розрахунок маси викиду n -ої шкідливої речовини тепловозом

Вид експлуатаційної роботи	Маса викиду n -ої шкідливої речовини m_{num_n} на одиницю експлуатаційної роботи	Річна маса викиду n -ої шкідливої речовини M_{n_t} , кг
Вантажний рух, кг/обіг	$\frac{\sum_{n,n} \sum_1^z [Y_{ш.р_n} \cdot (4 \cdot n_4 + 6 \cdot n_6 + 8 \cdot n_8) \cdot q_z \cdot l_z]}{10000} +$ $+ \frac{m_{num_n}^{\phi} \cdot b_{xx} \cdot (\tau_{np} + \tau_{3d} + \sum_1^z \tau_z)}{1000 \cdot 60}$	$m_{num_n}^g \cdot K_{об.м_t}$
Пасажирський рух, кг/обіг	$\frac{\sum_{n,n} \left[4 \cdot n_4 \cdot \sum_1^z (Y_{ш.р_n} \cdot q_z \cdot l_z) \right]}{10000} +$ $+ \frac{m_{num_n}^{\phi} \cdot b_{xx} \cdot (\tau_{np} + \tau_{3d} + \sum_1^z \tau_z)}{1000 \cdot 60}$	$m_{num_n}^n \cdot K_{об.м_t}$

Сортування на маневровій гірці, кг/ваг	$\frac{Y_{ш.рn}}{П_е^2} + \frac{m_{num_n}^{\phi} \cdot b_{xx} \cdot \tau_{доп.}}{60 \cdot (n_4 + n_6)}$	$m_{num_n}^{м.з.} \cdot П_{\epsilon_t}^2 \cdot T_{еф_t}$
Виконання вивізної роботи, кг/ГОД	$2 \cdot \left(\frac{Y_{ш.рn} \cdot L_{дiл}}{V_{техн}} + \frac{m_{num_n}^{\phi} \cdot b_{xx} \cdot (\tau_{к} + \tau_{см})}{60} \right)$	$m_{num_n}^{м.в.} \cdot T_{еф_t}$

Економічна оцінка шкоди, що наноситься газовими викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря тепловозом в рік t життєвого циклу з урахуванням відносної агресивності n -ої шкідливої речовини, визначається за формулою:

$$Y_t = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot \sum_{n=1}^{n=W} (A_n \cdot M_{n_t}). \quad (18)$$

Доцільність придбання нової техніки визначається як її технічними властивостями, так і її ціною. Для того, щоб ціна одиниці нової техніки задовольняла економічним інтересам як її виробника, так і користувача вона повинна бути визначена між нижньою і верхньою межами цін, тобто $Ц_{нм_t}^{TPC} < Ц_t^{TPC} < Ц_{вм_t}^{TPC}$. Виходячи з цього, ціна на нову техніку може бути розрахована за формулою:

$$\begin{aligned} Ц_t^{TPC} &= Ц_{нм_t}^{TPC} + (Ц_{вм_t}^{TPC} - Ц_{нм_t}^{TPC}) \cdot \frac{C_t^{TPC}}{LCC_T} = \\ &= C_t^{TPC} + (P_T - C_{т.н.т.}^{TPC} - LCC_T^II) \cdot \frac{C_t^{TPC}}{LCC_T} = C_t^{TPC} + E_T \cdot \frac{C_t^{TPC}}{LCC_T}, \end{aligned} \quad (19)$$

де C_t^{TPC} – собівартість одиниці нової техніки, грн.; P_T – вартісна оцінка результату використання одиниці тягового рухомого складу за життєвий цикл, грн.; E_T – економічний ефект від використання нової техніки за життєвий цикл, грн.

У п'ятому розділі наведено результати практичного застосування розробленої методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу для прийняття рішення стосовно наступних організаційно-технічних заходів.

Науково обґрунтовано варіант оновлення парку маневрових тепловозів за рахунок придбання тепловозів серії ТЕМ103 та ТЕМ104 з передачею змінно-постійного (~/=) та змінно-змінного струму (~/~) вітчизняного виробництва для залізниць України та рекомендовано придбання тепловоза ТЕМ103 за ціною 6675,9 тис. грн., тепловоза ТЕМ104 з передачею змінно-постійного - 7097,916

тис. грн., тепловоза ТЕМ104 змінно-змінного струму - 7638,074 тис. грн. Така ціна придбання забезпечить вигідність інтересів як виробника, так і користувача нової техніки.

Таблицю оціночних функцій та прогноз альтернативних технічних рішень оновлення маневрових тепловозів з урахуванням життєвого циклу (за вартісними показниками 2008 р.) наведено у таблиці 8.

Таблиця 8.

Таблиця оціночних функцій та прогноз альтернативних технічних рішень оновлення маневрових тепловозів

Показник	Варіант оновлення маневрових тепловозів				Прогноз варіанту оновлення за показником
	ЧМЕЗ	ТЕМ103	ТЕМ104		
			~/=	~/~	
LCC_T , тис. грн.	18584	13606	15550	16809	ТЕМ103
$\bar{E}\phi$, лок-год/тис. грн.	13,87	18,95	16,59	15,35	ТЕМ103
\bar{g}_e , кг/лок-год	31,54	19,37	19,43	19,43	ТЕМ103
\bar{H} , лок-год/чол-год	3,46	4,26	4,26	5,01	ТЕМ104(~/~)
\bar{M} , грн./лок-год	127,17	78,09	78,40	78,24	ТЕМ103
\bar{m}_{NO_x} , кг/лок-год	2,31	1,87	1,83	1,83	ТЕМ104
\bar{m}_{CO} , кг/лок-год	1,05	0,80	0,79	0,79	ТЕМ104
\bar{Y}_{num} , грн./лок-год	0,12	0,1	0,098	0,098	ТЕМ104

Науково обґрунтовано доцільність модернізації тепловоза ЧМЕЗ за рахунок використання дизеля Caterpillar. Аналіз результатів оцінки (табл. 9) техніко-економічних показників функціонування маневрового тепловоза ЧМЕЗ протягом життєвого циклу (за вартісними показниками 2008 р.), модернізованого за рахунок установки дизеля Caterpillar, та дослідження впливу експлуатаційних факторів на економічний та екологічний ефект (рис. 4), дозволили рекомендувати використання тепловоза для виконання вивізної роботи в кар'єрах зі значним ухилом та збільшенням вагонів у складі.

Таблиця 9

Таблиця оціночних функцій оновлення маневрових тепловозів за варіантами

Показник	Вид роботи				
	Сортування на маневровій горці			Вивіз з кар'єру	
	ЧМЕЗ	ЧМЕЗП	ТЕМ103	ЧМЕЗ	ЧМЕЗП
1	2	3	4	5	6

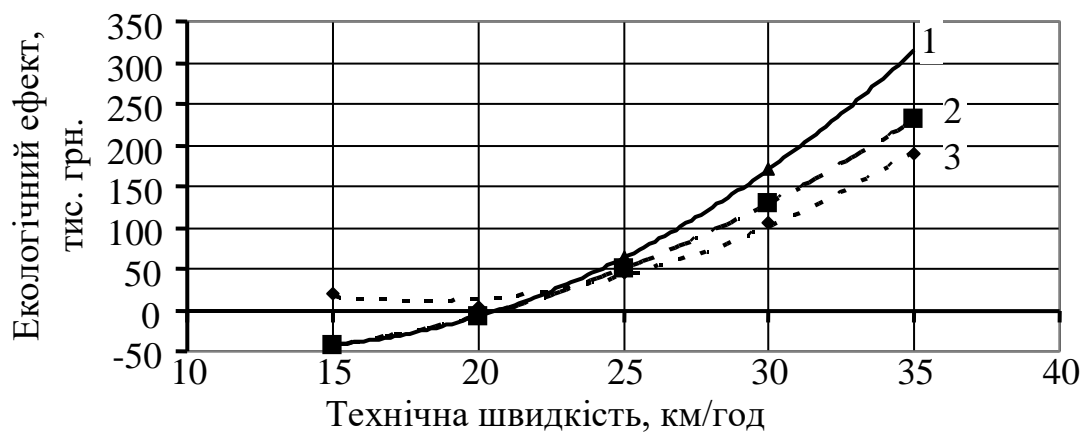
Захід, що пропонується	Модернізація		Придбання	Модернізація	
n_4 , вагонів у складі	10	10	10	12	12
q_4 , т брунто/вісь	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
P_4 , ваг/год	64,9	65,8	65,3	65,4	65,4
LCC_T , тис. грн.	15385	16507	23218	23128	21029
$\bar{E}\phi$, перероб. ваг/грн.	0,57	0,54	0,38	0,38	0,42
\bar{g}_e , кг/ 100 ваг	37,7	34,13	27,16	63,50	49,74
\bar{H} , ваг/чол-год	174,5	105,20	219,09	175,80	104,48

Продовження табл. 9

1	2	3	4	5	6
\bar{M} , грн./ ваг	2,93	2,81	2,06	4,78	3,92
\bar{m}_{NO_x} , кг/ 100 ваг	1,09	0,99	0,79	1,84	1,44
\bar{m}_{CO} , кг/ 100 ваг	0,58	0,53	0,42	0,99	0,77
\bar{Y}_{num} , грн./ 100 ваг	4,97	4,51	3,59	8,38	6,57



а)



б)

Рис. 4. Залежність економічного а) та екологічного б) ефекту модернізації тепловоза ЧМЕЗ від технічної швидкості при виконанні вивізної роботи:
1 - n=20 вагонів; 2 - n=15 вагонів; 3 - n=10 вагонів

Прогноз вартості життєвого циклу (за вартісними показниками 2008 р.) електропоїздів серії ЕПЛ9т та ЕР9п у приміському та регіональному сполученнях (рис. 5) та аналіз техніко-економічних показників їх функціонування показав (табл. 10), що використання електропоїзда у регіональному сполученні є більш ефективним в порівнянні з приміським, що пояснюється особливостями умов експлуатації. Електропоїзд серії ЕПЛ9т дозволяє отримати середньо-експлуатаційний виробіток на 13 % вище, а матеріаломісткість на 12,6 % нижче в порівнянні з електропоїздом серії ЕР9п в приміському русі. В регіональному сполученні відповідно, на 12,5 % та на 4,3 %.

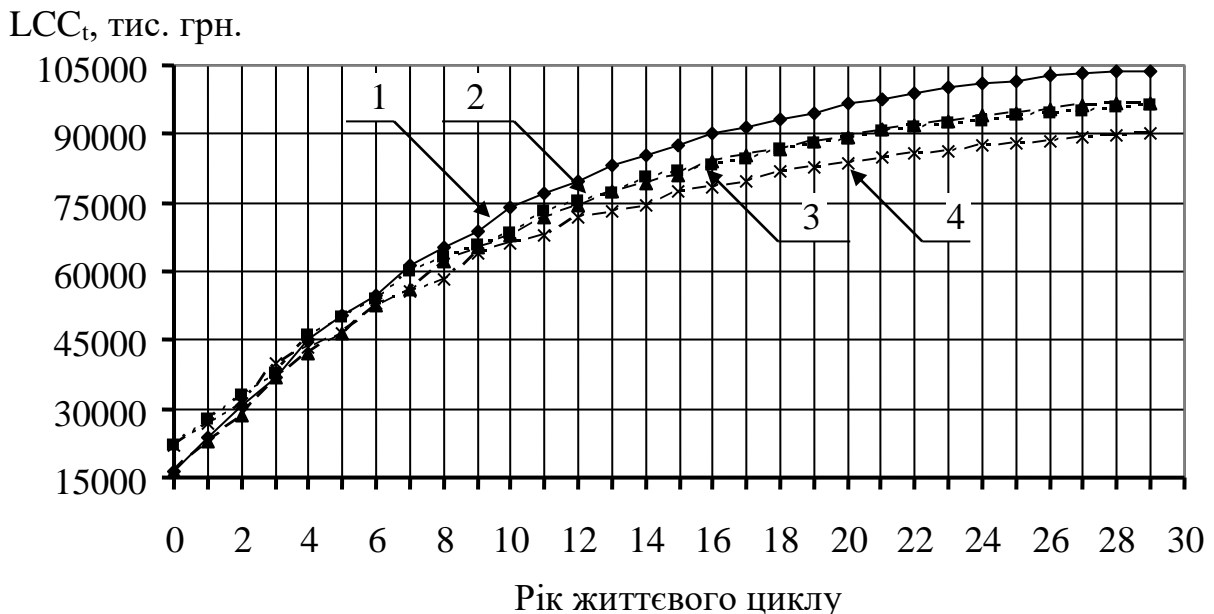


Рис. 5. Прогноз вартості життєвого циклу електропоїздів: 1 – ЕР9п у приміському сполученні; 2 – ЕР9п у регіональному сполученні; 3 – ЕПЛ9т у приміському сполученні; 4 – ЕПЛ9т у регіональному сполученні

Таблиця 10

Таблиця оціночних функцій використання електропоїздів за видами руху

Показник	Приміський		Регіональний	
	ЕР9п	ЕПЛ9т	ЕР9п	ЕПЛ9т
LCC_T , тис. грн.	103896	96269	96560	90146
$\bar{E}\phi$, ткм брутто/тис. грн.	30,09	30,01	39,75	36,43
\bar{a}_e , кВт-год/ 10000 ткм брутто	212	208,4	151,4	158,8

\bar{H} , тис. ткм брутто/чол-год	1,04	1,17	1,51	1,72
\bar{M} , грн./1000 ткм брутто	5,17	4,50	3,71	3,51

Практичне використання розробленої методології при виконанні програми реструктуризації на залізничному транспорті України дозволило науково обґрунтувати доцільність реструктуризації виробничої діяльності локомотивного депо Сватово Донецької залізниці – цей організаційно-технічний захід сприяв зменшенню вартості життєвого циклу маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ на 7,6 %.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження дозволили вирішити актуальну науково-прикладну проблему розвитку методології визначення техніко-економічних показників використання тягового рухомого складу залізниць України в умовах зміни факторів експлуатації протягом життєвого циклу. Це дає змогу науково обґрунтувати доцільність та ефективність варіантів його оновлення. За результатами проведеної роботи можна зробити такі висновки:

1. Аналіз вікового стану тягового рухомого складу залізниць України довів, що його знос складає від 70 % до 80 %, а фактичний термін служби – від 25 до 40 років. Такий критичний стан може призвести до негативних технічних, економічних та соціально-екологічних наслідків. Тому у найближчій перспективі однією з першочергових проблем Укрзалізниці стає оновлення тягового рухомого складу або за рахунок придбання нової техніки, або за рахунок модернізації існуючої. Характеристики нової техніки повинні відповідати сучасним світовим технічним, технологічним та екологічним стандартам. Отримані в дисертації наукові результати дозволяють оцінити тенденції інвестиційного процесу залізниць України з урахуванням життєвого циклу перспективної залізничної техніки.

2. На теперішній час в залізничній галузі України відсутня єдина методологія щодо наукового обґрунтування оновлення залізничної техніки. На основі систематизації та оцінки складових життєвого циклу в дисертації сформовано науковий підхід та удосконалено методологію визначення техніко-економічних показників використання тягового рухомого складу, яка, на відміну від існуючої, враховує способи придбання, вид експлуатаційної роботи, вид роботи з утримання у технічно справному стані, вид роботи з відновлення технічного ресурсу і модернізації, утилізацію тягової одиниці, що узагальнює науково-обґрунтований підхід до вибору варіанту оновлення залізничної техніки.

3. Створений комплекс багатофакторних математичних моделей витрат енергоносіїв на тягу поїздів та викидів шкідливих речовин на відмінність від існуючих підходів враховує вплив багатьох експлуатаційних факторів на енергоспоживання тяговим рухомим складом та шкоду, що ним наноситься

навколишньому середовищу протягом життєвого циклу. Це дозволило визначити енергетичну складову техніко-економічних показників функціонування існуючих типів тягового рухомого складу з урахуванням виду та умов експлуатаційної роботи. Адекватність розроблених моделей підтверджена фактичними даними експлуатації сучасних локомотивів 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП150, ВЛ80с, ЧС4, ЧМЕЗ та електропоїздів ЕР9п і ЕПЛ9т.

5. Розроблений метод визначення екологічних показників дозволив визначити шкоду, яка наноситься навколишньому середовищу викидами шкідливих речовин магістральними та маневровими тепловозами, згідно з діючими нормативами та у відповідності до умов їх експлуатації і технічного стану протягом життєвого циклу. Аналіз питомого середньо-експлуатаційного викиду шкідливих речовин NO_x та CO , що викидаються у навколишнє середовище із вихлопними газами дизелем тепловоза ТЕП70 та ТЕП150, вказує на переваги тепловоза ТЕП150, які складають від 11 % до 47 % в залежності від дільничної швидкості. Показано, що найменший викид шкідливих речовин цими серіями тепловозів у пасажирському русі відповідає дільничній швидкості 50-55 км/год.

6. Розроблена система питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних та екологічних показників дозволяє використати її при прийнятті рішень про довгостроковий варіант оновлення тягового рухомого складу з урахуванням його технічних характеристик, регіону та умов експлуатації протягом життєвого циклу.

7. Застосування розробленої системи питомих середньо-експлуатаційних техніко-економічних та екологічних показників дозволило рекомендувати режими найбільш ефективного застосування існуючого тягового рухомого складу. Встановлено, що для умов пасажирського руху найбільша середньо-експлуатаційна ефективність використання існуючої тепловозної тяги досягається при технічній швидкості 58-62 км/год, електровозної тяги – 80-85 км/год. Для умов швидкісного пасажирського руху відповідно – 90-95 та 100-105 км/год. Підвищення середньої маси вантажного поїзду на 10 % дозволяє підвищити середньо-експлуатаційну ефективність використання тепловозної тяги на 7,7 %, а електровозної тяги на 6,1 %. Підвищення населеності електропоїзда на 10 % сприяє підвищенню середньо-експлуатаційної ефективності його використання на 8,9 %. Підвищення годинної переробки вагонів маневровим тепловозом серії ЧМЕЗ на 10 % збільшує середньо-експлуатаційну ефективність його використання на 6,8 % при роботі на маневровій гірці та на 8,3% при виконанні вивізної роботи.

8. Практичне використання розробленої методології дозволило науково обґрунтувати:

- виробництво та застосування для залізниць України сучасного вітчизняного маневрового тепловоза серії ТЕМ103 потужністю 588 кВт та ТЕМ104 потужністю 882 кВт, а також рекомендовану ціну на них, яка

забезпечить вигідність інтересів як виробника, так і користувача. Економічний ефект запропонованих розробок складає понад 800 тис. грн.;

- доцільність модернізації маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ за рахунок його оснащення сучасним тепловозним двигуном Caterpillar і рекомендувати використання тепловозу цієї серії за умовами сортування вагонів на маневровій горці при значному їх завантаженні, а при виконанні вивізної роботи з кар'єру з технічною швидкістю більше 23-25 км/год та збільшенні кількості вагонів у поїзді до 35-40. Аналіз результатів, які було отримано у процесі дослідження впливу факторів експлуатації на ефективність використання модернізованого тепловоза, показав, що для подальшого розвитку цього технічного заходу слід переглянути та оптимізувати систему поточного ремонту та технічного обслуговування локомотива протягом життєвого циклу. Економічний ефект запропонованих розробок складає біля 891 тис. грн.;

- доцільність використання електропоїзда серії ЕПЛ9т у приміському та регіональному сполученнях. Електропоїзд цієї серії дозволяє отримати середньо-експлуатаційний виробіток на 13 % вище, а матеріаломісткість на 12,6 % нижче в порівнянні з електропоїздом серії ЕР9п в приміському русі, а в регіональному сполученні відповідно, на 12,5 % та на 4,3 %. При незначній різниці середньо-експлуатаційної ефективності використання електропоїздів вказаних серій у приміському русі, в регіональному сполученні цей показник для електропоїзда серії ЕР9п на 10,3 % вище відносно електропоїзда серії ЕПЛ9т. Економічний ефект запропонованих розробок складає 7000 тис. грн. за життєвий цикл;

- доцільність реструктуризації виробничої діяльності локомотивного депо Сватово Донецької залізниці – цей організаційно-технічний захід сприяв зменшенню вартості життєвого циклу маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ на 7,6 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Калабухін Ю.Є. Економічна ефективність дизелів вітчизняного виробництва для тепловозного парку України / А. Д. Лашко, Ю. Є. Калабухін, А. П. Фалендиш // Міжвуз. зб. наукових праць ХарДАЗТ. – 1999. – Вип. 34. – С. 43-46.
2. Калабухін Ю. Є. Визначення вартості життєвого циклу маневрових тепловозів / Ю. Є. Калабухін, А. П. Фалендиш // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2005. – №8 (90). – Ч. 2. – С. 239-242.
3. Калабухін Ю.Є. Визначення економії експлуатаційних витрат маневрових тепловозів / Ю. Є. Калабухін, А. П. Фалендиш // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2003. – Вип. 54. – С. 127-132.
4. Калабухін Ю. Є. Результати оцінки економічних переваг використання маневрових тепловозів вітчизняного виробництва / Ю. Є. Калабухін, А. П.

- Фалендиш // Вісник економіки транспорту і промисловості : зб. наук.-практ. статей. / УкрДАЗТ. – 2003. – Вип. 4. – С. 92-97.
5. Удосконалення методології визначення експлуатаційних витрат на залізничному транспорті як передумова його реформування / М. І. Данько, Ю. Є. Калабухін, Є. І. Балака, О. В. Семенцова // Залізничний транспорт України. – 2007. – №6. – С. 3-5.
 6. Калабухін Ю. Є. Економічне оцінювання використання модернізованих буксових вузлів вантажних вагонів / Ю. Є. Калабухін, І. Е. Мартинов // Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 2000. – Вип. 42. – С. 26-30.
 7. Калабухін Ю. Є. До питання оцінки ефективності удосконалення букс вантажних вагонів / Ю. Є. Калабухін, І. Е. Мартинов // Зб. наук. праць КУЕТТ. Сер. «Транспортні системи і технології». – 2003. – Вип. 1-2. – С. 54-59.
 8. К вопросу внедрения вагонных букс с коническими роликоподшипниками / А. Д. Лашко, В. В. Мархай, Ю. Е. Калабухин и др. // Залізничний транспорт України. – 2006. – № 2. – С. 17-19.
 9. Калабухін Ю. Е. Внедрение скоростного движения как способ повышения конкурентоспособности железных дорог / Ю. Е. Калабухин, М.А. Еремина // Вісник економіки транспорту і промисловості : зб. наук.-практ. статей. / УкрДАЗТ. – 2006. – Вип. 13. – С. 148-151.
 10. Калабухін Ю. Є. До питання визначення економічних переваг використання маневрових тепловозів / Ю. Є. Калабухін // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Х. – 2003. – Вип. 3. – С. 70-73.
 11. Калабухін Ю. Є. Застосування методології планування експерименту для математичного моделювання енерговитрат тягового рухомого складу на тягу поїздів / Ю. Є. Калабухін // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Х. – 2007. – Вип. 17. – С. 187-196.
 12. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу / Ю. Є. Калабухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 24. – С. 221–225.
 13. Калабухін Ю. Є. Показники ефективності використання тягового рухомого складу на основі даних вартості життєвого циклу / Ю. Є. Калабухін // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2008. – Вип. 99. – С. 28-34.
 14. Калабухін Ю. Є. Аналіз сучасного стану тягового рухомого складу залізниць України / Ю. Є. Калабухін // Локомотив-інформ. – 2008. – № 11. – С. 4-5.
 15. Калабухін Ю.Є. Аналіз сучасних підходів до оцінки техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі вартості життєвого циклу / А. П. Фалендиш, Ю. Є. Калабухін, С. Г. Грищенко // Зб. Наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 107. – С. 5-11.
 16. Калабухін Ю.Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників роботи магістральних локомотивів при пасажирських

- перевезеннях / М. І. Данько, Ю. Є. Калабухін // Зб. наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 102. – С. 191-201.
17. Калабухін Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників використання сучасних маневрових тепловозів для виконання вивізної роботи / Ю. Є. Калабухін // Зб. наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. – 108. – С. 36-44.
18. Калабухін Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників використання сучасних маневрових тепловозів для роботи на маневровій горці / Ю. Є. Калабухін // Зб. наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 110. – С. 19-30.
19. Калабухін Ю. Є. Методологія оцінки екологічних показників функціонування магістральних тепловозів / Ю. Є. Калабухін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2009. – №4 (134). – Ч. 2. – С. 88-95.
20. Калабухін Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників роботи магістрального локомотива при переміщенні вантажного поїзду / Ю. Є. Калабухін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля // № 2 (132), 2009. – С. 157-163.
21. Калабухін Ю. Є. Застосування методології планування експерименту для математичного моделювання витрат палива маневровим тепловозом. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті / Ю. Є. Калабухін // №5-6. – 2009. – С. 90-92.
22. Калабухін, Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників використання сучасних електропоїздів з урахуванням життєвого циклу / А. П. Фалендиш, С. Г. Грищенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2009. – №4 (134). – Ч. 1. – С. 193-199.
23. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу / Е. Д. Тартаковський // Зб. наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 111. – С. 106-120.
24. Калабухін Ю.Є. Удосконалення методу розрахунку експлуатаційних витрат пасажирських залізничних перевезень / М. О. Ерьоміна, Ю. Є. Калабухін // Зб. наукових праць. – Дніпропетровський національний університет. – 2009. – Вип. 254. – Том VI. – С. 1401-1405.
25. Калабухін Ю. Е. Экономическая оценка организации капитального ремонта в условиях локомотивного депо / Ю. Е. Калабухин, Г.Е. Шаркова // Локомотив-информ. – 2007. – август – С. 9-11.

Додатково матеріали дисертаційної роботи викладено в роботах:

26. Калабухін Ю. Е. Применение методики оценки технико-экономических показателей обновляемого тягового подвижного состава для ППЖТ / Э. Д. Тартаковский, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш // II науково-практична міжнародна конференція «Втілення наукоємних технологій на

- магістральному та промисловому залізничному транспорті». Алушта. – 2006. – С. 19.
27. Калабухін Ю. Е. Актуальность приведения в соответствие методики оценки технико-экономических показателей тягового подвижного состава современным требованиям / Ю. Е. Калабухін, Н. Н. Евич // Проблемы економіки транспорту: Тези доповідей VII Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ. – 2008. – С. 26.
 28. Калабухін Ю. Е. Экономические проблемы использования скоростного движения в Украине / Ю. Е. Калабухін, М. А. Еремина // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докладов LXVI международной научно-практической конференции. Днепропетровск. – 2006. – С. 389-390.
 29. Калабухін Ю. Е. К вопросу повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта за счет организации скоростного движения. Тезисы докладов IV Международной научной конференции «Проблемы экономики транспорта» / Ю. Е. Калабухін, М. А. Еремина // Днепропетровск. – 2005. – С. 59.
 30. Калабухін Ю. Е. Целесообразность увеличения скорости на железнодорожном транспорте. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті / Ю. Е. Калабухін, М. А. Еремина // №5. – 2005. – С. 113.
 31. Калабухін Ю. Є. Ключова роль міжнародних транспортних коридорів в розвитку транспорту та економіки України. / Ю. Є. Калабухін, Н. М. Каменева // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: 2004. – Спецвипуск. – С. 82-83.
 32. Калабухін Ю. Є. Економіко-математичне моделювання експлуатаційних витрат на тягу поїздів / Ю. Є. Калабухін // Тезиси докладов VI Международной научной конференции «Проблемы экономики транспорта». Днепропетровск. – 2007. – С. 57.
 33. Калабухін Ю. Є. Математичне моделювання витрат енергоресурсів на тягу поїздів. Материалы Третьей международной научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2008» / Ю. Є. Калабухін // Киев. – 2008. – С. 293-294.
 34. Калабухін Ю. Е. Аналитические предпосылки реструктуризации локомотивного хозяйства железных дорог Украины. Тези доповідей на 3-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» / Ю. Е. Калабухін // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: 2007. – Вип. 18. – С. 112–113.
 35. Калабухін Ю. Є. Урахування тягово-енергетичних особливостей локомотива як удосконалення методу одиничних витратних ставок. Тези доповідей на 4-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» / Ю. Є.

- Калабухін // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: 2008. – Вип. 22. – С. 56.
36. Калабухін Ю. Е. Анализ технико-экономических предпосылок организации международного скоростного движения. Тези доповідей на 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» / Ю. Е. Калабухін, М. А. Еремина // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: 2006. – Вип. 14. – С. 54-55.
37. Калабухін Ю. Є. Результати дослідження ефективності модернізації маневрового тепловоза ЧМЕЗ / Е. Д. Тартаковський, А. П. Фалендиш, Ю. Є. Калабухін // Зб. наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 108. – С. – 5-9.
38. Зонов В. Д., Данько М. І., Данько В. М., Калабухін Ю. Є., Сахно М. М. Методика проведення енергетичного аудиту локомотивного депо. Затверджено Наказом Укрзалізниці від 02.06.2006 р. №419-ЦЗ. – Київ. – 2006. – 155 с.

АНОТАЦІЯ

Калабухін Ю.Є. Удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2010 р.

Дисертація містить теоретичні основи та методологічні положення визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу у відповідності до умов експлуатації, системи поточного ремонту та технічного обслуговування. На основі систематизації та оцінки складових циклу було сформовано науковий підхід, який дозволяє обґрунтувати доцільність та вигідність проектів оновлення залізничної техніки з урахуванням можливих змін її стану протягом цього періоду. Такий підхід дозволяє урахувати інтереси всіх учасників цього складного процесу, а саме тих, хто: розробляє нову, прогресивну техніку; постачає виробника нової техніки сучасними комплектуючими вузлами та деталями; експлуатує, обслуговує і виконує усі види поточного ремонту; а також для тих, хто буде в подальшому здійснювати її капітальний ремонт та модернізацію.

Ключові слова: тяговий руханий склад, знос, оновлення, характеристики локомотива, тяга поїздів, експлуатація, поточний ремонт та технічне обслуговування, надійність, життєвий цикл, витрати.

АННОТАЦІЯ

Калабухін Ю.Є. Усовершенствование методологии определения технико-экономических показателей функционирования тягового подвижного состава с учетом жизненного цикла. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог та тяга поездов; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы усовершенствования методологии определения технико-экономических показателей функционирования тягового подвижного состава с учетом жизненного цикла.

Функционирование тягового подвижного состава представляет собой сложную динамическую систему со стохастическими связями между ее элементами и с другими системами. Поэтому технико-экономические показатели, которые, по своей сути, являются количественной и качественной оценкой этого процесса, должны отражать динамику изменения системы в течение жизненного цикла и вероятность ее внутренних и внешних связей. На основе систематизации составляющих жизненного цикла в соответствии: с вариантами приобретения; видом эксплуатационной работы; видом работ по содержанию в технически исправном состоянии; видом работ по восстановлению технического ресурса и модернизации; утилизацией тяговой единицы был сформирован научный подход определения технико-экономических показателей функционирования тягового подвижного состава, который позволяет обосновать целесообразность и выгодность проектов обновления железнодорожной техники с учетом возможных изменений ее состояния в течение этого периода. Такой подход позволяет учесть интересы всех участников этого сложного процесса, а именно тех, кто: производит новую, прогрессивную технику; обеспечивает производителя новой техники современными комплектующими узлами и деталями; эксплуатирует, обслуживает и выполняет все виды текущего ремонта, а также тех, кто будет в дальнейшем осуществлять ее капитальный ремонт и модернизацию.

Систематизация жизненного цикла тягового подвижного состава позволила выделить три основных этапа. В некоторый момент времени t тяговая единица может находиться в состоянии одного из этапов. Характер перехода тяговой единицы из одного состояния самого продолжительного II этапа – этапа эксплуатации – в другое является марковским. Система дифференциальных уравнений Колмогорова в этом случае определяется

начальными вероятностями состояний и матрицей переходных вероятностей и может быть построена с помощью графа состояний.

Количественной оценкой эффективности каждого состояния жизненного цикла тягового подвижного состава являются соответствующие технико-экономические показатели и уровень потребления энергетических, материальных и трудовых ресурсов. Показателем, обобщающим этот уровень с учетом динамики изменения технико-экономических показателей и вероятностей перехода из одного состояния в другое в течение жизненного цикла, является показатель стоимости жизненного цикла LCC_T .

Значения вероятности нахождения тяговой единицы в определенном состоянии II этапа в момент времени t , которое получено с помощью решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова, удельные расходы всех видов ресурсов на единицу состояния (с учетом дисконтирования) определяют стоимость этого этапа жизненного цикла. Для определения удельных расходов энергетических, материальных и трудовых ресурсов на единицу состояния II этапа жизненного цикла тяговой единицы был разработан метод, учитывающий ее технический уровень, условия эксплуатации, особенности системы текущего ремонта и технического обслуживания. Учитывая экологические требования, был разработан метод определения экологической составляющей оценки функционирования тягового подвижного состава. В основу предлагаемых методов были положены разработанные многофакторные математические модели удельного расхода энергоресурсов на тягу поездов существующими типами тягового подвижного состава с учетом вида и условий эксплуатационной работы, а также удельных выбросов вредных веществ тепловозами. Для построения этих моделей были использованы методы тяговых расчетов и планирования эксперимента.

Ежегодная составляющая стоимости жизненного цикла LCC_t определяется, исходя из годовых объемов эксплуатационной работы тяговой единицы, с учетом возможных ее состояний в течение этого периода, и удельных расходов всех видов ресурсов на единицу этой работы. Результатом расчетов данного метода является определение стоимости жизненного цикла тяговой единицы LCC_T , а также расход энергетических, материальных и трудовых ресурсов для ее функционирования за весь период.

Значения стоимости жизненного цикла тяговой единицы, а также суммарный расход энергетических, материальных и трудовых ресурсов для ее функционирования за весь период, позволили разработать систему удельных среднеэксплуатационных технико-экономических и экологических показателей. Данная система была использована для комплексного сравнительного анализа и выбора технического решения альтернативных вариантов обновления тягового подвижного состава, а также для выработки рекомендаций по повышению эффективности его использования с учетом технических характеристик, региона и условий эксплуатации в течение жизненного цикла.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, износ, обновление, характеристики локомотива, тяга поездов, эксплуатация, текущий ремонт и техническое обслуживание, надежность, жизненный цикл, расходы.

THE SUMMARY

Kalabuhin Y. E. Improvement of methodology for determination of technical and economic indicators of traction rolling stock functioning taking into account life cycle – the manuscript.

The thesis for the scientific degree of Doctor of Engineering Sciences on speciality 05.22.07 – Railway Rolling Stock and Train Haulage; Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkov, 2010.

The thesis contains theoretical bases and methodological positions for determination of technical and economic indicators of traction rolling stock functioning taking into account life cycle according to service conditions, operating repair and maintenance service systems. On the basis of cycle components classification and estimation, the scientific approach was created which allows substantiating the expediency and profitability of projects for railway machinery updating taking into account possible changes in its condition during this period. Such approach allows considering the interests of all participants of this complicated process, namely those who manufacture state-of-the-art machinery and those who will carry out its major repairs and modernization in future; provides the manufacturer of new machinery with modern component assemblies and details; allows operating, maintaining and performing all kinds of operating repair.

Key words: traction rolling stock ;, updating, locomotive characteristics, train haulage, operation, operating repair maintenance service, reliability, life cycle, expenses.

Калабухін Юрій Євгенович

УДК 629.4.016

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

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

доц. Агулов А.Ф.

Підписано до друку 18.03. 2010 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.

Умовн.-друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,0.

Замовлення № 144. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТа. свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТа: 61050, Харків-50, пл. Фейєрбаха, 7