

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Сіроклин Іван Миколайович**

**УДК 629.423.2.004.15:625.42**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО  
СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ  
КОНТРОЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі «Електротехніка та електричні машини», Міністерство транспорту та зв'язку України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор

**Бабасєв Михайло Михайлович**, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра «Електротехніка та електричні машини», завідувач кафедри.

**Офіційні опоненти** – доктор технічних наук, професор

**Бойнік Анатолій Борисович**, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», завідувач кафедри;

– кандидат технічних наук, доцент

**Яновський Петро Олександрович**, Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», відділ «Технологія та організація перевезень», начальник відділу.

Захист відбудеться “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 р. о \_\_\_\_ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розіслано “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д64.820.04

А.П. Фалендиш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту, виходячи з неможливості швидкого оновлення зношеного рухомого складу (РС), важливою та актуальною задачею є підвищення ефективності його використання. Одним з основних напрямків вирішення цієї задачі є врахування фактичного технічного стану при плануванні етапів та обсягів технічного обслуговування.

У випадку непередбаченого навантаження, зміни в широких межах кліматичних умов експлуатації та ускладненості контролю експлуатаційних характеристик впровадження дорогих засобів діагностики основних вузлів є доцільним. Проте за умов локалізованих систем промислового та залізничного транспорту приміського сполучення і метрополітенів такий підхід неоправданий. У разі можливості впровадження методів контролю основних експлуатаційних характеристик і складності реалізації безпосередньої діагностики доцільне використання методів опосередкованого контролю технічного стану.

Задачею, що потребує вирішення, є вдосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик РС та розробка технології врахування їх зміни при плануванні етапів технічного обслуговування для локалізованих систем залізничного транспорту.

**Актуальність теми.** Підвищення конкурентоспроможності залізниць України нерозривно пов'язано з необхідністю широкого впровадження ресурсозберігаючих технологій. Основним напрямком вирішення цієї задачі є підвищення ефективності використання РС.

Існуючі результати досліджень залишкового ресурсу вагонів залізничного транспорту зазвичай вказують на суттєву розбіжність їх технічного стану і важливість впливу зміни значень експлуатаційних характеристик на статистику виконання непланових ремонтів РС.

Одним з основних недоліків існуючої системи технічного обслуговування є врахування дії експлуатаційних факторів як незмінних або слабкомінливих. Проте швидкість руху, рівень завантаженості РС та стан колії, по якій рухається вагон, може істотно змінюватися як у часі, так і для різних рухомих одиниць одного парку. В умовах локалізованих транспортних систем контроль значень перерахованих факторів експлуатації та контроль їх впливу на зміну технічного стану РС є ефективною альтернативою впровадження дорогих засобів діагностики з аналогічними задачами.

В результаті аналізу техніко-експлуатаційних показників роботи метрополітенів виявлено суттєві коливання значень основних експлуатаційних характеристик вагонів та відповідні коливання кількості непланових ремонтів. Це дає можливість виділити актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності використання РС шляхом впровадження заходів, заснованих на удосконаленні методів контролю значень експлуатаційних характеристик вагонів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Електротехніка та електричні машини» Української державної академії залізничного транспорту в період 2003-2008рр. відповідно до планів науково-дослідних робіт академії, що проводяться згідно з галузевими програмами за темою «Теоретичні основи побудови координатної системи визначення місцезнаходження поїзда на залізничній ділянці» № ДР 0106U004116 (виконавець).

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є вирішення науково-практичної задачі підвищення ефективності використання рухомого складу метрополітену шляхом удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз методів отримання інформації про технічний стан РС для виявлення перспективних шляхів підвищення ефективності його використання.

2. Дослідити експлуатаційні фактори, що впливають на технічний стан РС, для виявлення найбільш вагомих та оцінки величини їх впливу.

3. Розробити модель впливу експлуатаційних характеристик на технічний стан РС залізниць для забезпечення контролю зміни статистики його відмови.

4. Розробити метод опосередкованого контролю експлуатаційних характеристик для отримання інформації про зміну їх значення у повагонному режимі.

5. Удосконалити існуючі методи контролю основних експлуатаційних характеристик РС локалізованих транспортних систем для реалізації їхнього опосередкованого повагонного контролю.

6. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів підвищення ефективності використання РС із застосуванням результатів проведених досліджень.

**Об'єкт дослідження** – процес контролю експлуатаційних характеристик рухомого складу метрополітену.

**Предмет дослідження** – методи та засоби опосередкованого контролю параметрів руху рухомого складу метрополітену.

**Методи дослідження.** Вирішення поставлених у роботі задач виконано на основі системного підходу. Для оцінки істотності впливу експлуатаційних характеристик на технічний стан РС використано метод експертних оцінок, методи математичної статистики використані при обробці відповідей експертів та оцінки похибок удосконалених методів контролю експлуатаційних характеристик. Метод динамічної імовірності розподілу пасажиропотоків використано для розрахунку рівня завантаженості вагонів. Теорію нечітких множин використано для побудови моделі впливу експлуатаційних характеристик на статистику відмов РС.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вирішено науково-прикладну задачу підвищення ефективності використання рухомого складу

метрополітену шляхом удосконалення методів контролю його експлуатаційних характеристик.

Вперше:

- на базі теорії нечітких множин створено математичну модель впливу величини значень експлуатаційних характеристик на статистику відмов рухомого складу метрополітену та локалізованих систем залізничного транспорту, що дозволяє відобразити величину впливу змін умов експлуатації на технічний стан вагонів;

- розроблено метод опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик рухомого складу метрополітену та локалізованих систем залізничного транспорту для підвищення ефективності визначення його технічного стану.

Удосконалено:

- метод визначення дислокації рухомого складу, який дає змогу реалізації повагонного контролю експлуатаційних характеристик та підвищення точності визначення швидкості руху;

- метод розрахунку рівня завантаженості вагонів поїздів метрополітену шляхом врахування часу руху пасажирів між станціями, що дозволило підвищити точність визначення пасажиропотоків на довільному проміжку часу.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані науково-практичні результати використовуються у ДП «Харківський метрополітен» (що підтверджено актом впровадження):

- метод опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик дає змогу підвищити точність контролю технічної швидкості та пробігу вагона;

- модель впливу величини значень експлуатаційних характеристик на статистику відмов рухомого складу метрополітену та локалізованих систем залізничного транспорту дала змогу підвищити ефективність використання РС за рахунок корегування періодів його технічного обслуговування;

- метод розрахунку рівня завантаженості вагонів поїздів метрополітену дозволив корегувати населеність вагонів та підвищити точність визначення завантаженості перегонів.

Отримані науково-практичні результати використовуються у навчальному процесі Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Української державної академії залізничного транспорту, факультету підвищення кваліфікації та підготовки спеціалістів і магістрів (підтверджено актом впровадження УкрДАЗТ).

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належить: виявлення напрямків удосконалення існуючих підходів до обслуговування РС метрополітену, аналіз закордонного досвіду [1]; формалізація порядку та способів мінімізації кількості засобів ідентифікації вагонів метрополітену, метод

опосередкованої фіксації швидкості руху поїзда [2]; удосконалення методу розрахунку пасажиропотоків метрополітену з метою підвищення точності та індивідуального врахування завантаженості вагонів [3]; проведення удосконалення та апробація методу контролю швидкості руху поїздів метрополітену [4].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях:

– 18 та 19 Міжнародних конференціях «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, 2005, 2006 рр.);

– Першій міжнародній конференції „Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України (м. Євпаторія, 22 – 25 травня 2007 р.);

– 67 – 70 Міжнародних науково-технічних конференціях кафедр УкрДАЗТ та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (УкрДАЗТ, м. Харків, 2005 – 2008рр.).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на засіданні технічної ради ДП «Харківський метрополітен» і на розширеному засіданні кафедри «Електротехніка та електричні машини» УкрДАЗТ у 2008 р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано у шести наукових працях у фахових виданнях, затверджених ВАК України, (дві з них без співавторів) та трьох тезах доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст роботи викладено на 164 сторінках і включає 135 сторінок основного тексту, 34 рисунки, 14 таблиць, список використаних джерел із 128 назв на 12 сторінках і сім додатків на семи сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** розкрито актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання, що потребують дослідження, висвітлено наукову новизну отриманих результатів роботи та їх практичну цінність, представлено інформацію щодо апробації та перераховано публікації результатів досліджень, представлено відомості про особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві.

**У першому розділі**, виходячи з мети дисертаційної роботи, проведено аналіз теоретичного та практичного досвіду, як вітчизняного, так і закордонного, з методів підвищення ефективності використання РС.

На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту підвищення ефективності використання рухомого складу нерозривно пов'язано з необхідністю врахування його фактичного технічного стану при плануванні періодів обслуговування.

Урахуванню умов експлуатації при плануванні ремонту та оптимізації міжремонтного пробігу присвячені роботи О.Б. Бабаніна, Т.В. Бутько, Ю.Н. Виноградова, А.А. Воробйова, В.Ф. Головка, А.В. Горського, І.В. Дмитренка, К.І. Домбровського, І.П. Ісаєва, В.А. Козирьова, А.П. Кудряша, Н.А. Малоземова, Б.Д. Нікіфорова, А.Т. Осяєва, Е.С. Павловича, А.Б. Підшивалова, Е.Д. Тартаковського, В.А. Четвергова, П.А. Шанченка, П.О. Яновського та інших авторів. У напрямку розробки засобів і методів діагностики технічного стану та контролю умов експлуатації засобів транспорту слід відзначити роботи М.М. Бабаєва, А.Б. Бойніка, Б.Є. Бондара, В.Ч. Гаврилюка, І.В. Жуковицького, Г.І. Загарія.

Серед робіт, присвячених визначенню технічного стану РС у процесі експлуатації, можна виділити два основні напрямки – прямий (удосконалення засобів діагностики) та опосередкований (удосконалення методів контролю умов експлуатації). Представлена робота присвячена подальшому удосконаленню методів контролю значень експлуатаційних характеристик на прикладі локалізованої системи метрополітену.

Аналіз досліджень впливу інтенсивності руху поїздів і пасажиропотоків метрополітену на технічний стан вагонів показує їх малу придатність для практичного застосування. Вказані дослідження потребують подальшого розвитку в напрямку розширення переліку контрольованих факторів експлуатації. Це підтверджується відомими залежностями відповідності зносу елементів РС залежно від швидкості руху, прискорення та інших експлуатаційних характеристик.

Виявлено, що в сучасних умовах існуючі методи контролю експлуатаційних характеристик потребують удосконалення з метою підвищення точності, оперативності та організації повагонного контролю параметрів. Методи опосередкованого контролю завантаженості перегонів, розрахунку населеності вагонів та визначення швидкості руху не враховують нерівномірність розподілу дії факторів на одиниці рухомого складу.

**У другому розділі** відібрано основні експлуатаційні фактори, що впливають на статистику виконання непланових ремонтів РС локалізованих систем на прикладі вагонів метрополітену та потребують повагонної фіксації. На базі теорії нечітких множин побудовано модель впливу значень експлуатаційних характеристик на статистику відмов рухомого складу.

За допомогою методу ранжирування проаналізовано і встановлено значимість восьми найбільш вагомих експлуатаційних факторів, які суттєво впливають на технічний стан РС метрополітену (рис. 1). Аналіз динаміки зміни найбільш значимих факторів на прикладі техніко-експлуатаційних показників функціонування Харківського метрополітену дозволив виявити суттєві коливання параметрів, які відображають середню завантаженість вагона, середню швидкість руху та ін.

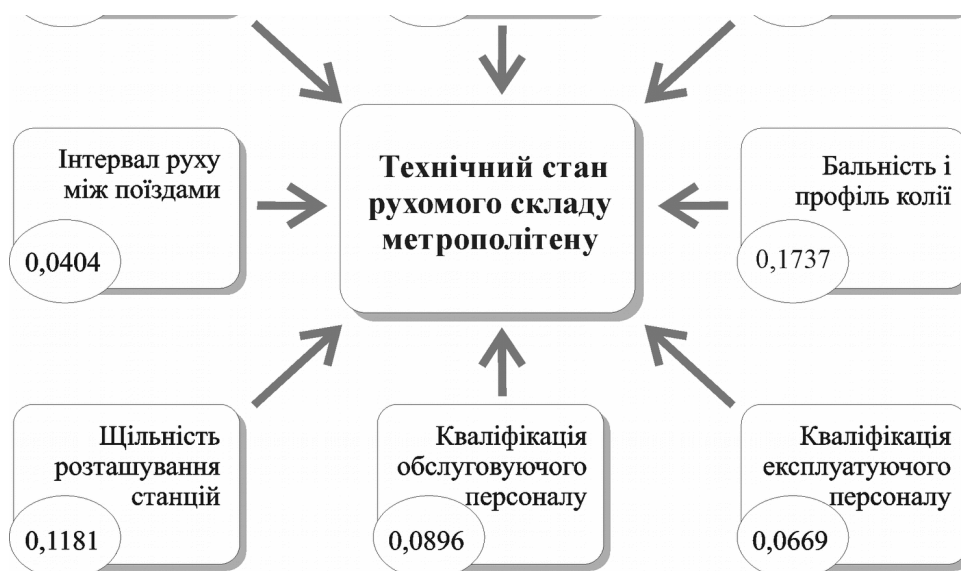


Рис. 1. Розподіл вагових коефіцієнтів факторів впливу експлуатаційних умов на технічний стан РС метрополітену

На підставі даних, отриманих методом експертних оцінок, відібрано експлуатаційні фактори, що істотно впливають на статистику відмов та потребують повагонної фіксації. До вказаних факторів віднесено: пробіг вагона, бальність та профіль колії, швидкість руху (середню технічну швидкість), завантаженість вагона.

Вихідною інформацією більшості існуючих методів урахування умов експлуатації при розрахунку оптимального періоду технічного обслуговування РС є параметри розподілу напрацювання до відмови, а також співвідношення ціни планових та непланових ремонтів. Експлуатація вагонів залізничного транспорту приміського сполучення метрополітенів у сучасних умовах потребує врахування неповної та нечіткої інформації про нерівномірність розподілу факторів впливу експлуатаційних умов на одиниці парку, яка раніше не враховувалась.

Підвищення ефективності експлуатації РС метрополітену залежить від можливості визначення величини відхилення статистики відмови вагона від величини, що відповідає оптимальному періоду технічного обслуговування.

Для врахування впливу експлуатаційних факторів на технічний стан одиниць парку розроблено відповідну модель. Враховуючи, що найчастіше прийняття рішення про технічний стан вагона відбувається в умовах неповної та нечіткої інформації, обумовлюється ефективність використання теорії нечітких множин.



Використано метод Мамдані в якості схеми формування нечіткого висновку. При цьому використовується метод *min*-активації. Для акумуляції висновків правил використано метод *max*-диз'юнкції

$$\begin{aligned} \mu(P) = & \left[ \left( \mu_{M_{PB}}(M) \wedge \mu_{P_{PB}}(P) \right) \cdot f_M \right] \vee \left[ \left( \mu_{M_{PS}}(M) \wedge \mu_{P_{PS}}(P) \right) \cdot f_M \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{M_Z}(M) \wedge \mu_{P_Z}(P) \right) \cdot f_M \right] \vee \left[ \left( \mu_{M_{NS}}(M) \wedge \mu_{P_{NS}}(P) \right) \cdot f_M \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{M_{NB}}(M) \wedge \mu_{P_{NB}}(P) \right) \cdot f_M \right] \vee \left[ \left( \mu_{V_{PB}}(V) \wedge \mu_{P_{PB}}(P) \right) \cdot f_V \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{V_{PS}}(V) \wedge \mu_{P_{PS}}(P) \right) \cdot f_V \right] \vee \left[ \left( \mu_{V_Z}(V) \wedge \mu_{P_Z}(P) \right) \cdot f_V \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{V_{NS}}(V) \wedge \mu_{P_{NS}}(P) \right) \cdot f_V \right] \vee \left[ \left( \mu_{V_{NB}}(V) \wedge \mu_{P_{NB}}(P) \right) \cdot f_V \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{B_{PB}}(B) \wedge \mu_{P_{PB}}(P) \right) \cdot f_B \right] \vee \left[ \left( \mu_{B_{PS}}(B) \wedge \mu_{P_{PS}}(P) \right) \cdot f_B \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{B_Z}(B) \wedge \mu_{P_Z}(P) \right) \cdot f_B \right] \vee \left[ \left( \mu_{B_{NS}}(B) \wedge \mu_{P_{NS}}(P) \right) \cdot f_B \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{B_{NB}}(B) \wedge \mu_{P_{PB}}(P) \right) \cdot f_B \right] \vee \left[ \left( \mu_{L_{PB}}(L) \wedge \mu_{P_{PB}}(P) \right) \cdot f_L \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{L_{PS}}(L) \wedge \mu_{P_{PS}}(P) \right) \cdot f_L \right] \vee \left[ \left( \mu_{L_Z}(L) \wedge \mu_{P_Z}(P) \right) \cdot f_L \right] \vee \\ & \left[ \left( \mu_{L_{NS}}(L) \wedge \mu_{P_{NS}}(P) \right) \cdot f_L \right] \vee \left[ \left( \mu_{L_{NB}}(L) \wedge \mu_{P_{NB}}(P) \right) \cdot f_L \right], \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\mu(P)$  – результуюча функція належності величини  $P$ ;  
 $P$  – коефіцієнт, що відображає кількість відмов, які приходяться на опорну величину пробігу вагона;  
 $\mu_F(\phi)$  – функція належності, яка показує ступінь належності величини  $\phi$  до характеристики  $F$ ;  
 $M$  – завантаженість вагона;  
 $V$  – середня технічна швидкість руху;  
 $B$  – бальність колії;  
 $L$  – пробіг вагона;  
 $NB, NS, Z, PS, PB$  – загальноприйняті позначення функцій характеристик;  
 $f_M, f_V, f_B, f_L$  – коефіцієнти істинності правил.

Граничні умови –  $L \in |30, 90|$  (тис. км),  $B \in |4, 5|$ ,  $V \in |16, 64|$  (км/год),  $M \in |5000, 5400|$   
 (кг),  $P \in |0, 1|$ . Стартові умови –  $L = 30$  (тис. км),  $B = 5$ ,  $V = 16$  (км/год),  $M = 5027$   
 (кг),  $P = 0$ .

Представлена модель (1) дозволяє на основі логічних співвідношень між змінними відобразити взаємний вплив основних експлуатаційних факторів на статистику відмов РС.

За результатами аналізу даних техніко-експлуатаційних показників і звітів з відмов вагонів проведено фазифікацію функцій належності (табл. 1). З метою аналітичної апроксимації функцій належностей нечітких змінних використано L-R функції (функції трикутної форми). Таким чином, визначено граничні значення змінних моделі, при яких спостерігається її адекватне функціонування.

Таблиця 1

Фазифікація функцій належності експлуатаційних факторів

пробіг ( $L$ )	середня бальність ( $B$ )
$\mu_{L_{PB}}(L) = [26\ 36\ 52]$	$\mu_{B_{PB}}(B) = [4,925\ 5\ 5,242]$
$\mu_{L_{PS}}(L) = [40\ 50\ 60]$	$\mu_{B_{PS}}(B) = [4,83\ 4,919\ 4,96]$
$\mu_{L_Z}(L) = [54\ 60\ 66]$	$\mu_{B_Z}(B) = [4,46\ 4,83\ 4,864]$
$\mu_{L_{NS}}(L) = [60\ 70\ 82]$	$\mu_{B_{NS}}(B) = [3,89\ 4,43\ 4,787]$
$\mu_{L_{NB}}(L) = [60\ 70\ 82]$	$\mu_{B_{NB}}(B) = [3,75\ 4\ 4,462]$
середня завантаженість ( $M$ )	середня швидкість ( $V$ )
$\mu_{M_{PB}}(M) = [5203\ 5290\ 5380]$	$\mu_{V_{PB}}(V) = [50,24\ 64,4\ 71,3]$
$\mu_{M_{PS}}(M) = [5285\ 5375\ 5475]$	$\mu_{V_{PS}}(V) = [41,3\ 51,83\ 63,4]$
$\mu_{M_Z}(M) = [5110\ 5200\ 5292]$	$\mu_{V_Z}(V) = [30,02\ 41,3\ 51,7]$
$\mu_{M_{NS}}(M) = [5020\ 5110\ 5210]$	$\mu_{V_{NS}}(V) = [18,4\ 29,44\ 41,4]$
$\mu_{M_{NB}}(M) = [4990\ 5027\ 5120]$	$\mu_{V_{NB}}(V) = [6,024\ 16\ 31,55]$

Фазифікацію вихідної величини  $P$  виконано відповідно до офіційних даних зі статистики відмов вагонів, при цьому за опорне значення пробігу вагона прийнято величину пробігу  $L = 60$  тис. км.

$$\mu_{P_{PB}}(P) = [0,651\ 0,816\ 1];$$

$$\mu_{P_{PS}}(P) = [0,48\ 0,651\ 0,827];$$

$$\mu_{P_Z}(P) = [0,3181\ 0,48\ 0,65];$$

$$\mu_{P_{NS}}(P) = [0,16\ 0,31\ 0,48];$$

$$\mu_{P_{NB}}(P) = [0\ 0,1476\ 0,2902].$$

В цілому характеристики вихідної величини визначають її в широких межах і відповідають фактичному значенню кількості непланових ремонтів на 60 тис. км. пробігу вагона.

Порівняння результатів моделювання з фактичними показниками дали можливість отримати дані щодо похибки та адекватності моделі. Відносна похибка розрахунків – 6,88%, адекватність моделі перевірена за критерієм  $\chi^2$  для рівня значимості 0,05 (ступенів свободи 4) і дала задовільні результати.

**У третьому розділі** розроблено метод опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик РС локалізованих систем залізниць для підвищення ефективності визначення його технічного стану. Метод базується на відображенні мережі метрополітену, заснованого на множині точок формування нового маршруту  $A$ , що складається з елементарних

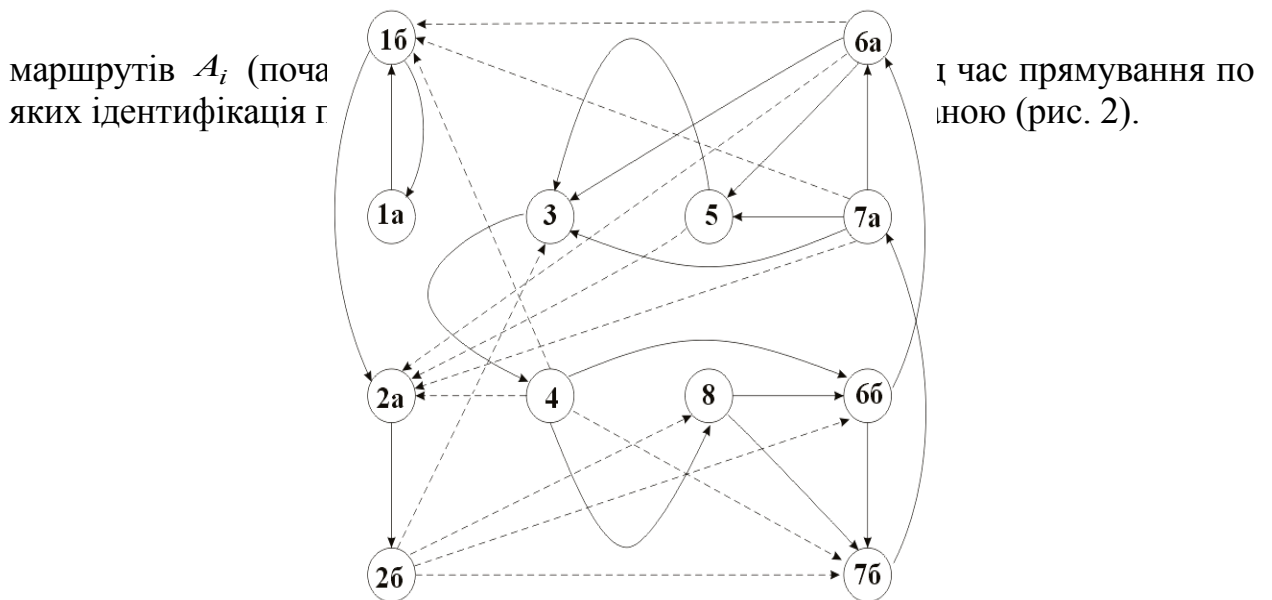


Рис. 2. Схема графічна відображення типової лінії для опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик (на прикладі Салтівської лінії Харківського метрополітену):

- 1а – з'їзд на сусідню лінію;
- 1б, 5, 6б, 7б, 8 – заїзд у тупик відстою;
- 2б, 6а – виїзди з тупиків відстою;
- 3 – заїзд в електродепо;
- 4 – виїзд з електродепо

Аналіз графічної схеми формування маршрутів на прикладі локалізованої системи метрополітену приводить до можливості розділення точок контролю:

- реальний пункт ідентифікації – точка колії, в якій відбувається фізична ідентифікація поїзда та вагонів, що входять до його складу;
- пункт ідентифікації з контролем маршруту – точка колії, в якій формується маршрут поїзда, склад та номери вагонів якого можуть бути отримані за даними реального пункту ідентифікації та аналізу положення прилеглих колійних пристроїв.

Тоді кількість фактично необхідних пунктів ідентифікації може бути отримано як

$$K_{IP} = \sum_{e=1}^u k_e \cdot \delta_e + \sum_{r=1}^l k_r \cdot \delta_r + \left\lfloor \sum_{c=1}^z k_c \cdot \delta_c - 1 \right\rfloor + \sum_{w=1}^d k_w \cdot \delta_w - k_{зам}, \quad (2)$$

де  $K_{IP}$  – кількість реальних пунктів ідентифікації вагонів на лінії;  
 $u, l, z, d$  – відповідно кількість тупиків на лінії, стрілочних з'їздів, що ведуть на інші лінії, стрілочних з'їздів між головними коліями, з'їздів, що ведуть до колій електродепо;

$k_e, k_r, k_c, k_w$  – ідентифікатор відповідного елемента колійної секції;

$k_{зам}$  – кількість пунктів ідентифікації, що в місцевих умовах можуть бути замінені на пункт ідентифікації з контролем маршруту;

$\delta_e, \delta_r, \delta_c, \delta_w$  – величина, що відображає задіяність елемента в процесі руху ( $\delta = 1$ , якщо елемент задіяно,  $\delta = 0$ , якщо елемент не задіяно).

Вираз (2) дозволяє визначити мінімально необхідні обсяги оснащення мережі засобами ідентифікації РС, при якому можливе використання методу опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик.

Метод передбачає ведення динамічної бази даних стану колійних реле всіх рейкових кіл (РК), а також номер маршруту поїзда, що прямує по рейковому колу. Введемо формальне позначення такої бази:

$$ST_{PK_{\lambda j}} = \begin{pmatrix} A_1 & \theta_1 & x_{PK1}^{\downarrow} & x_{PK1}^{\uparrow} & l_{PK1} & t_{PK1}^{\uparrow} & t_{PK1}^{\downarrow} \\ A_2 & \theta_2 & x_{PK2}^{\downarrow} & x_{PK2}^{\uparrow} & l_{PK2} & t_{PK2}^{\uparrow} & t_{PK2}^{\downarrow} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{\lambda} & \theta_{\lambda} & x_{PK\lambda}^{\downarrow} & x_{PK\lambda}^{\uparrow} & l_{PK\lambda} & t_{PK\lambda}^{\uparrow} & t_{PK\lambda}^{\downarrow} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $ST_{PK_{\lambda j}}$  – масив з даними про параметри функціонування рейкових кіл;

$\lambda$  – порядковий номер рейкового кола;

$j$  – коефіцієнт, використання якого дозволить звертатися до потрібного параметра рейкового кола;

$A_{\lambda}$  – номер маршруту поїзда, що прямує по рейковому колу з номером  $\lambda$ ;

$\theta_{\lambda}$  – ознака напрямку руху поїзда;

$x_{PK\lambda}^{\downarrow}$  – ордината початку зони контролю лінії рейкового кола з порядковим номером  $\lambda$ ;

$x_{PK\lambda}^{\uparrow}$  – ордината кінця зони;

$l_{PK\lambda}$  – довжина рейкового кола;

$t_{PK\lambda}^{\uparrow}$  – час, при якому колійне реле притягне якір, що вкаже на виїзд поїзда з зони контролю;

$t_{PK\lambda}^{\downarrow}$  – час, при якому колійне реле відпустить якір.

Вираз (3) є основою організації опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик і дає можливість підвищення точності визначення швидкості та прискорення руху поїздів метрополітену шляхом удосконалення методу контролю дислокації поїзда.

Метод визначення дислокації засновано на накопиченні даних відповідності ординати поїзда та часу, в який зафіксована ордината. При фіксації множини часу  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  його відображення в ординатах  $X \rightarrow T$  може бути записано у вигляді дворядкової матриці

$$TX_{h\psi} = \begin{pmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_n \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де  $TX_{h\psi}$  – матриця відповідностей;

$h$  – ідентифікатор поїзда;

$\psi$  – ідентифікатор перегону;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – час фіксації ординати поїзда;

$n$  – порядковий номер фіксації ординати поїзда;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – ордината знаходження поїзда.

Масив даних відповідностей  $x_n$  та  $t_n$  (4) дає основу для розрахунку швидкості руху поїзда на кожній контрольованій ділянці. Присутність відповідності між подією (фіксацією заходу або виходу поїзда за межі рейкового кола) та ординатою знаходження поїзда дає можливість формалізувати порядок розрахунку  $x_n$  та  $t_n$ .

При занятті поїздом рейкової колії

$$\begin{cases} x_n = x_{PK} - \frac{(m_{BAГ} \cdot l_{BAГ})}{2}; \\ t_n = t_{PK} \downarrow - t_{\square} \end{cases} \quad (5)$$

де  $m_{BAГ}$  – кількість вагонів у складі поїзда;

$l_{BAГ}$  – довжина вагона;

$t_{\square}$  – час затримки реагування рейкового кола на вхід поїзда в зону контролю.

При звільненні поїздом рейкової колії

$$\begin{cases} x_n = x_{PK} + \frac{(m_{BAГ} \cdot l_{BAГ})}{2}; \\ t_n = t_{PK} \uparrow - t_{\square} \end{cases} \quad (6)$$

де  $t_{\square}$  – час затримки реагування рейкового кола на вихід поїзда із зони контролю.

В цілому, одержавши масив даних відповідностей  $x_n$  та  $t_n$ , отриманих за виразами (5) та (6), для поїзда з маршрутом  $A$  можемо в загальному вигляді розрахувати швидкість руху поїзда на кожній ділянці між сусідніми точками фіксації та час, якому відповідає розрахована швидкість

$$\begin{cases} v_{A_i} = \frac{|x_n - x_{n-1}|}{t_n - t_{n-1}}; \\ t_{A_i} = \frac{t_n - t_{n-1}}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

де  $v_{A_i}$  – швидкість руху поїзда з маршрутом  $A$  по ділянці колії  $i$ ;

$i$  – ідентифікатор елементарного маршруту між ординатами  $x_n$  та  $x_{n-1}$ ;

$t_{A_i}$  – час, що відповідає розрахованому значенню величини  $v_{A_i}$ .

Використання виразу (7) дозволяє отримати криву зміни швидкості руху опосередковано для кожного поїзда на будь-якому перегоні за рахунок аналізу режимів роботи існуючих засобів автоматики.

Удосконалення методу розрахунку рівня завантаженості вагонів поїздів метрополітену проведено шляхом врахування часового зсуву при визначенні динамічної імовірності стоку пасажирів  $i$ , відповідно, завантаженості перегонів. Величина часового зсуву відповідає часу руху пасажирів від станції, пасажиропотоки якої враховуються, до точки мережі, для якої проводяться розрахунки. Удосконалений метод дозволяє підвищити точність визначення пасажиропотоків на довільному проміжку часу.

Прийmemo  $T$  – інтервал дискретизації за часом, тоді час руху пасажирів між станціями доцільно виразити у кількості інтервалів  $T$ , що затрачується на подолання шляху. Формується матриця з даними про час, який повинен затратити пасажир на рух між станціями мережі

$$Y_{\bar{t}} = \begin{vmatrix} 0 & \bar{t}_{12} & \dots & \bar{t}_{1N} \\ \bar{t}_{21} & 0 & \dots & \bar{t}_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{t}_{N1} & \bar{t}_{N2} & \dots & 0 \end{vmatrix}, \quad (8)$$

де  $Y_{\bar{t}}$  – матриця затраченого часу;

$\bar{t}_{NN}$  – кількість інтервалів  $T$ , яку повинен затратити пасажир на рух між станціями мережі;

$N$  – порядковий номер станції.

Матриця з даними про кількість пасажирів, що зайшли на станції

$$U_S^{BX} = |Q_{BX_1}(S) \quad Q_{BX_2}(S) \quad \dots \quad Q_{BX_N}(S)|, \quad (9)$$

де  $U_S^{BX}$  – матриця кількості пасажирів, що зайшли на станції;

$S$  – порядковий номер періоду  $T$  від умовного початку відліку часу;

$Q_{BX_N}(S)$  – кількість пасажирів, які ввійшли на станції  $N$  за період  $S$ .

Вирази (8) та (9) формують основу для удосконалення методу визначення динамічної імовірності стоку пасажирів на станції  $N$  за період з порядковим номером  $S$

$$q_N(S) = \frac{Q_{BIX_N}(S)}{\sum_{\varphi=1}^{N_{заг}} Q_{BX_\varphi}(S - \bar{t}_{N\varphi}) - Q_{BX_N}(S)}, \quad (10)$$

де  $q_N(S)$  – імовірність стоку пасажирів на станції  $N$  за період  $S$ ;

$Q_{BIX_N}(S)$  – кількість пасажирів, які вийшли на станції  $N$  за період  $S$ ;

$\varphi$  – порядковий номер станції;

$N_{заг}$  – загальна кількість діючих станцій мережі.

Завантаженість перегону, використовуючи (10), визначається як

$$G_{N,N+1}(S) = \sum_{\varphi=1}^N Q_{BX_{\varphi}}(S - \bar{t}_{N\varphi}) \cdot \sum_{\rho=N+1}^{N_{2q_2}} q_{\rho}(S + \bar{t}_{N,N+1} + \bar{t}_{N\rho}), \quad (11)$$

де  $G_{N,N+1}(S)$  – завантаженість перегону між станцією  $N$  та  $N+1$  за період  $S$ ;  
 $\rho$  – номер станцій, які знаходяться за перегonom, що розглядається.

Вираз (11) дає можливість визначити завантаженість перегону на довільному проміжку часу. Розраховане значення величини  $G_{N,N+1}(S)$  за проміжок часу між поїздами, що прямують один за одним, визначатиме завантаженість вагонів останнього поїзда.

Маса пасажирів, перевезених вагоном, може бути розрахована як

$$M_{A_{II}+1_{N,N+1}} = \frac{\sum_{\alpha=S_{A_{II},N+1}}^{S_{(A_{II}+1)_{N,N+1}}} G_{N,N+1}(\alpha) \cdot m_{\text{пас.ср}}}{m_{\text{ВАГ}}}, \quad (12)$$

де  $M_{A_{II}+1_{N,N+1}}$  – маса перевезених пасажирів вагоном поїзда з номером  $A_{II}+1$  між станціями  $N$  та  $N+1$ ;

$A_{II}$  – порядковий номер маршруту поїзда;

$\alpha$  – порядковий номер періоду в проміжку часу, що розглядається;

$S_{A_{II},N+1}$  – порядковий номер умовного періоду часу, в який поїзд з номером маршруту  $A_{II}$  вирушив зі станції  $N$  до станції  $N+1$ ;

$S_{(A_{II}+1)_{N,N+1}}$  – порядковий номер умовного періоду часу, в який поїзд з номером маршруту  $A_{II}+1$  вирушив зі станції  $N$  до станції  $N+1$ ;

$m_{\text{пас.ср}}$  – середня вага пасажирів.

Використання виразу (12) дає можливість опосередкованого контролю рівня завантаженості вагонів метрополітену.

**У четвертому розділі** представлено результати перевірки на адекватність моделі впливу експлуатаційних характеристик на статистику відмов рухомого складу та результати натурних випробувань методу контролю швидкості руху поїзда з використанням удосконаленого методу визначення дислокації РС, а також проведено оцінку ефективності впровадження удосконалених методів контролю.

Реалізацію та перевірку на адекватність розробленої моделі впливу експлуатаційних характеристик на статистику відмов РС виконано за допомогою спеціалізованих програм, що дало змогу візуалізувати результати моделювання (рис. 3).

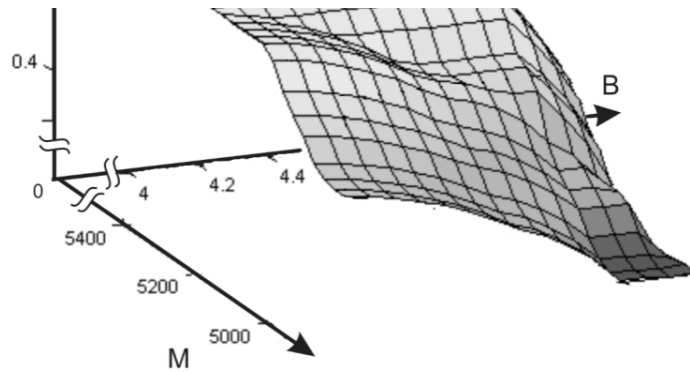


Рис. 3. Результати моделювання при фіксованих параметрах  $V=41,4$  км/год,  $L=60$  тис. км

Аналіз результатів моделювання показує відповідне підвищення коефіцієнта, що відображає кількість відмов, які приходяться на опорну величину пробігу вагона при збільшенні рівня завантаженості або зниженні бальності колії руху.

Порівняння результатів розрахунку очікуваної річної кількості відмов РС Харківського метрополітену з дійсним значенням кількості непланових ремонтів за період з 2004 по 2007 рр. показує, що при максимальному значенні похибки 15 % середнє значення похибки інших розрахункових періодів склало 4,04 %. Значення середньоквадратичного відхилення розрахунків коефіцієнта відмов  $P$  у порівнянні з розрахунком тієї ж величини з використанням методів інших авторів майже у 2,1 менше. Це вказує на достатню точність моделі і можливість її використання для практичних розрахунків.

Для доведення можливості використання удосконаленого методу визначення дислокації рухомого складу для контролю швидкості руху поїздів у рамках дисертаційної роботи проведено натурні випробування [5]. Для отримання опорної кривої швидкості руху поїзда використані показання бортового швидкостеміра. Вибрано типовий перегін між станціями метро, дані знімалися за допомогою відеокамери, що дало змогу нанести криву з інтервалом у дві секунди та провести бікубічну інтерполяцію (рис. 4). Дані про спрацювання тональних РК перегону під поїздом отримані за допомогою системи диспетчерської централізації.

Для зменшення похибки розрахунків при використанні існуючих засобів автоматизації інтерпретацію запропонованого методу розрахунків виконано у вигляді виразу середньої швидкості на ділянці перегону при занятті та при звільненні поїздом сусідніх РК

$$v_{сер} = \frac{\left[ X_{PK\lambda} + \frac{(m_{БАГ} \cdot l_{БАГ})}{2} \right] - \left[ X_{PK(\lambda+1)} + \frac{(m_{БАГ} \cdot l_{БАГ})}{2} \right]}{(t_{PK\lambda} \downarrow - t_{\uparrow}) - (t_{PK(\lambda+1)} \downarrow - t_{\uparrow})}, \quad (13)$$



де  $v_{сер}$  – середня швидкість руху поїзда по ділянці колії.

Значення часу  $t_{III}$  для виразу (13) отримано із врахування, що час реакції тонального РК на заняття поїздом визначається характеристиками приймальної апаратури РК і складає близько 1 – 2 с, а на вихід із зони РК – близько 3 с, похибка диспетчерської централізації  $\Delta = 3с$ .

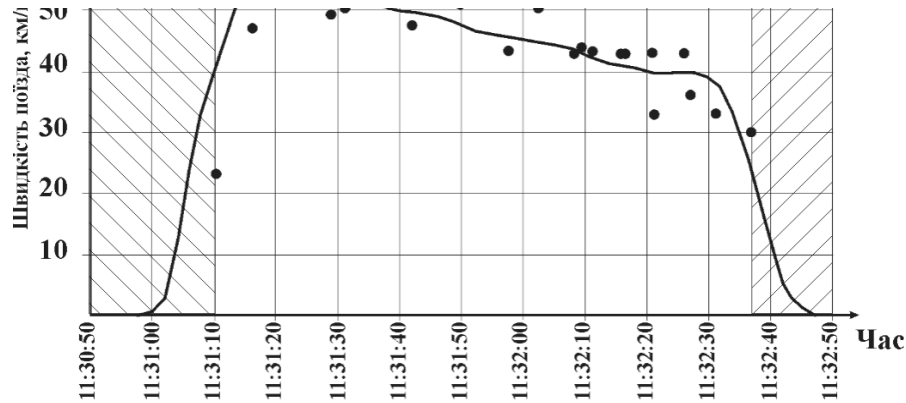


Рис. 4. Порівняння опорної кривої швидкості руху поїзда та розрахованих значень швидкості

Аналіз похибки показав, що в межах зони контролю середнє її значення склало 4,5%.

Очікуваний економічний ефект від впровадження заходів з використанням удосконалених методів контролю значень експлуатаційних характеристик на ДП «Харківський метрополітен» складає 83 000 грн на весь парк вагонів.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу – підвищення ефективності використання рухомого складу метрополітену шляхом удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик. Проведена робота дає змогу зробити такі висновки:

1. Аналіз методів отримання інформації про фактичний технічний стан РС дав можливість обґрунтувати перспективність його визначення за рахунок опосередкованого контролю значень експлуатаційних характеристик. Враховуючи, що в умовах існуючої системи технічного обслуговування значення експлуатаційних факторів вважається слабо мінливим, для підвищення ефективності використання РС в умовах локалізованих транспортних систем контроль значень експлуатаційних факторів та контроль їх впливу на зміну технічного стану РС є ефективною альтернативою впровадження дорогих засобів діагностики з аналогічними задачами.

2. Дослідження експлуатаційних факторів із застосуванням методу експертних оцінок та обробка результатів математичним апаратом статистики

дозволили виділити найбільш вагомі фактори, що впливають на технічний стан вагонів метрополітену, та розрахувати вагові коефіцієнти факторів, що потребують повагонного контролю: пробіг (0,2039), завантаженість (0,1698), швидкість руху (0,1376), а також бальність колії (0,1737).

3. У результаті розробки моделі впливу значень експлуатаційних характеристик на статистику відмов РС отримано механізм визначення технічного стану рухомих одиниць локалізованих систем залізничного транспорту шляхом опосередкованого контролю величини його експлуатаційних характеристик.

4. Порівняння результатів розрахунку очікуваної кількості відмов на прикладі РС Харківського метрополітену з дійсним значенням кількості непланових ремонтів за період з 2004 по 2007 рр. дало змогу оцінити похибку моделі, яка склала 6,88%, і адекватність, що становить 0,05. Значення середньоквадратичного відхилення розрахунків коефіцієнта відмов  $P$  в порівнянні з розрахунком тієї ж величини з використанням методів інших авторів майже у 2,1 менше.

5. Враховуючи, що в процесі експлуатації вагони функціонують з різним навантаженням, розроблено метод опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик рухомого складу, що дало можливість індивідуальної фіксації характеристик. Розроблений метод засновано на комплексному аналізі параметрів функціонування існуючих засобів контролю режимів експлуатації об'єктів метрополітену, що обумовлює підвищення ефективності визначення технічного стану вагонів.

6. Удосконалення існуючого методу визначення дислокації РС шляхом зменшення дискретності визначення ординати його знаходження дало можливість формалізації контролю кривої зміни швидкості руху поїзда. Проведення натурних випробувань опосередкованого методу визначення швидкості руху з використанням удосконаленого методу визначення дислокації РС в умовах метрополітену показало, що різниця між фактичним та розрахунковим значенням величини не перевищила 15%, середнє очікування похибки становить 4,5%.

7. Удосконалено метод розрахунку завантаженості вагонів поїздів метрополітену шляхом врахування часу руху пасажирів між станціями, що дозволило підвищити точність визначення пасажиропотоків на довільному проміжку часу. У результаті проведеної оцінки точності існуючого методу отримано такі результати: середнє квадратичне відхилення – 4,56%, середнє значення похибки – 4,14%. За рахунок удосконалення існуючого методу контролю завантаженості перегонів метрополітену формалізовано метод розрахунку рівня завантаженості вагонів, що дало змогу зменшити дискретність визначення параметра до перегону та реалізувати повагонну фіксацію величини в опосередкованому режимі.

8. Розроблені удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик дозволили збільшити точність визначення основних експлуатаційних характеристик рухомого складу та підвищити ефективність його використання. Розрахунки за даними про діяльність Харківського метрополітену станом на 2007 р. показали, що очікуваний економічний ефект

від впроваджених заходів складає 83 000 грн на весь парк вагонів, що підтверджено актами впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ 1.

1. Сіроклин І.М. Аналіз існуючих методів і засобів технічного обслуговування рухомого складу метрополітену / І.М. Сіроклин, О.В. Черних // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2007. – Вип. № 80. – С. 18–26.
2. Бабаєв М.М. Контроль фактичного пробігу та параметрів руху поїздів метрополітену / М.М. Бабаєв, І.М. Сіроклин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 5–6. – С. 33–37.
3. Бабаєв М.М. Синтез методів розрахунку пасажиропотоків метрополітену для контролю завантаженості вагонів / М.М. Бабаєв, І.М. Сіроклин // Зб. наук. праць ДонІТ. – 2007. – Вип. № 11. – С. 69–75.
4. Бабаєв М.М. Апробація методу контролю кривої руху поїздів метрополітену / М.М. Бабаєв, І.М. Сіроклин // Зб. наук. праць ДонІТ. – 2007. – Вип. № 12. – С. 108–115.
5. Сероклин І.Н. Обзор существующих систем интервального регулирования движения поездов на метрополитене / И.Н. Сероклин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – № 2. – С. 32–35.
6. Сероклин І.Н. Предупреждение отказов тональных рельсовых цепей в метрополитене / И.Н. Сероклин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – № 5–6. – С. 11–13.  
Додатково матеріали дисертаційної роботи викладені у працях
7. Сероклин І.Н. Усовершенствование системы обслуживания подвижного состава метрополитена / И.Н. Сероклин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : матеріали 18-ї Міжнародної науково-технічної конференції, м. Алушта. – 2005. – № 5. – С. 108.
8. Сероклин І.Н. Предупреждение отказов тональных рельсовых цепей в метрополитене / И.Н. Сероклин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : материалы 19-й международной школы-семинара, г. Алушта. – 2006. – № 4 (додаток). – С. 11.
9. Сіроклин І.М. Побудова графа станів електрорухомого складу метрополітену / І.М. Сіроклин // Тези доповіді Першої міжнародної конференції ["Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України"], (м. Євпаторія, 22–25 травня 2007р.). – Х. : УкрДАЗТ, 2007. – С. 58.

## АНОТАЦІЯ

Сіроклин І.М. Підвищення ефективності використання рухомого складу метрополітену шляхом удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2009 р.

Дисертація присвячена питанню підвищення ефективності використання рухомого складу метрополітену шляхом удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик.

Згідно із поставленою метою в роботі розроблено метод опосередкованого повагонного контролю експлуатаційних характеристик рухомого складу та удосконалено методи опосередкованого повагонного контролю основних експлуатаційних характеристик. Розроблено модель впливу експлуатаційних характеристик рухомого складу на статистику його відмови з використанням теорії нечітких множин. Розроблені методи та модель передбачено для використання в локалізованих системах залізниць і, реалізовано на прикладі умов метрополітену. Удосконалення методу визначення дислокації рухомого складу дало змогу підвищити точність опосередкованого визначення швидкості руху. Повагонну фіксацію рівня завантаженості рухомого складу реалізовано в результаті удосконалення методу розрахунку завантаженості вагонів поїздів метрополітену.

*Ключові слова:* експлуатаційні характеристики, завантаженість вагона, дислокація рухомого складу, технічний стан, локалізовані системи транспорту.

## АННОТАЦІЯ

Сероклин И.Н. Повышение эффективности использования подвижного состава метрополитена путём усовершенствования методов контроля эксплуатационных характеристик. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2009 г.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности использования подвижного состава метрополитена путём усовершенствования методов контроля эксплуатационных характеристик.

В условиях применения ресурсосберегающих принципов при эксплуатации подвижного состава актуальной задачей является эффективное использование его технического ресурса. Зачастую в результате исследований по определению технического состояния подвижного состава железнодорожного транспорта на этапе расчётного исчерпания технического ресурса констатируется неполное его использование. Это указывает на неэффективность существующего подхода к определению технического состояния подвижного состава по пробегу и на отсутствие эффективного учёта изменения его эксплуатационных характеристик.

Ввиду изложенного актуальной задачей является повышение эффективности использования подвижного состава путём усовершенствования методов контроля его эксплуатационных характеристик.

В результате использования метода экспертных оценок определены наиболее весомые факторы, влияющие на техническое состояние подвижного

состава. Отмечены наиболее значимые факторы, требующие повагонного контроля на примере условий локализованной системы метрополитена: пробег, уровень загруженности, скорость движения и бальность пути следования.

Ввиду сложности и многофакторности процесса влияния значений эксплуатационных характеристик на статистику отказов подвижного состава для построения соответствующей модели применена теория нечётких множеств. При определении истинности правил формирования нечёткого вывода использованы весовые коэффициенты эксплуатационных характеристик, полученные методом экспертных оценок. Апробация разработанной модели показала удовлетворительные результаты. Значение среднеквадратического отклонения расчёта коэффициента отказов по сравнению с расчётным значением той же величины с использованием методов других авторов почти в 2,1 раза меньше, средняя ошибка модели составила 6,88%. Это указывает на достаточную точность модели и возможность её использования для практических расчётов. Повышение точности обусловлено учётом разработанной моделью изменения условий эксплуатации подвижного состава.

Для повышения эффективности определения технического состояния подвижного состава в диссертации разработан метод косвенного повагонного контроля эксплуатационных характеристик подвижного состава. Метод основан на представлении сети метрополитена в виде совокупности элементарных маршрутов и отнесении вагонам, движущимся по маршруту, количественных признаков эксплуатационных факторов, соответствующих этому маршруту в рассматриваемом периоде времени. Для качественной повагонной фиксации значений эксплуатационных характеристик формализован объем фиксируемых параметров функционирования средств автоматики, задействованных в контроле дислокации поездов и контроле пассажиропотоков.

Усовершенствован метод контроля дислокации подвижного состава, что позволяет повысить точность и реализовать повагонный контроль скорости движения. Усовершенствование заключается в формализации метода увеличения количества точек фиксации ординаты поезда на перегоне, что позволяет уменьшить ступенчатость функции изменения скорости движения подвижного состава.

Расчёт уровня загрузки вагонов поездов метрополитена реализован за счёт усовершенствования существующего метода. Недостатком существующего метода косвенного определения уровня загрузки путём анализа пассажиропотоков является отсутствие учёта времени движения пассажира по маршруту. Предложенный вариант усовершенствования метода дополняет расчёт динамической вероятности распределения входящих и выходящих пассажиропотоков временным сдвигом, соответствующим времени движения пассажира по сети метрополитена. Усовершенствование метода дало возможность повысить точность определения пассажиропотоков на произвольном промежутке времени.

Повышение эффективности использования подвижного состава достигается за счёт внедрения в процесс обслуживания подвижного состава мероприятий, основанных на использовании разработанных усовершенствованных методов контроля значений эксплуатационных характеристик. Мероприятия способствуют уменьшению количества плановых ремонтов подвижного состава в результате щадящей эксплуатации вагона и недоиспользования технического ресурса, а также уменьшению потерь на unplanned repairs и снижению безопасности движения в случае увеличения нагрузки.

*Ключевые слова:* эксплуатационные характеристики, загруженность вагонов, дислокация подвижного состава, техническое состояние, локализованные системы транспорта.

## ANNOTATION

Siroklyn I.M. Using efficiency improvement of the underground rolling stock by upgrading the control methods of operational characteristics.- Manuscript Thesis for receiving the degree of candidate in technical sciences in specialty 05.22.20 – operation and maintenance of transport means; Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkiv, 2009.

Thesis is devoted to the question of using efficiency improvement of the underground rolling stock by upgrading the control methods of operational characteristics.

According to the purpose mediated wagon control method of operational characteristics of the rolling stock was worked out and mediated wagon control methods of main operational characteristics were improved. Influence model of operational characteristics of the rolling stock on the statistics of his refusal with using of the theory of fuzzy sets was worked out. These methods and model were foreseen for using in localized railway systems and realized on example of the underground conditions.

The improvement of definition method of rolling stock position was allowed to increase the exactness of mediated definition of spud traffic. Wagon fixation level of utilized capacity of rolling stock was realized in the result of the improvement of calculation method of utilized capacity of underground wagons.

Key words: operating characteristic, utilized wagon capacity, dislocation of the rolling stock, technical state, localized transport systems

Сіроклин Іван Миколайович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО  
СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ  
КОНТРОЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доцент М.Г. Давиденко

---

Підписано до друку “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2009 р.

Формат 60x84/16. Папір для множних апаратів.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл. –вид. арк. 1,1.

Замовлення № \_\_\_\_\_. Тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007р.  
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.