

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

**МАЛІШЕВСЬКА АЛІНА СЕРГІЇВНА**

УДК 625.42

**ВПЛИВ РІВНЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ НА РЕСУРСИ  
РОБОТИ РЕЙОК В УМОВАХ ХАРКІВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ**

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2018

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Даренський Олександр Миколайович**, Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри колії та колійного господарства

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Курган Дмитро Миколайович**  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Колія та колійне господарство»

кандидат технічних наук,  
**Бойко Володимир Дмитрович**,  
Державний університет інфраструктури та технологій,  
доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство»

Захист відбудеться «27» червня 2018 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному університеті інфраструктури та технологій, за адресою: 03049, м. Київ, Івана Огієнка, 19, аудиторія № 305-а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

Автореферат розісланий «26» травня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 26.820.01,  
к.т.н., доц.



В.М. Твердомед

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Метрополітен являє собою вид міського пасажирського залізничного транспорту, особливістю якого є масовість, регулярність і безпека перевезень, що вигідно відрізняє його від інших видів міського транспорту. Тому, не зважаючи на складні економічні умови, триває створення нових і розвиток вже існуючих ліній метрополітенів.

При цьому, важливим завданням забезпечення переваг метрополітену, що наведені вище, і безпеки руху в першу чергу, є забезпечення сталої та надійної взаємодії у системі «колесо-рейка». Рішення цього завдання неможливо без створення методики оцінювання залишкового ресурсу елементів верхньої будови колії і зокрема рейок, що мають дефекти. Це важливо, також, для більш раціонального використання матеріально-технічних засобів, що дозволяє оптимізувати всю систему ведення колійного господарства і є одним із перспективних напрямків для забезпечення функціонування підприємства в умовах обмежених ресурсів.

Відомо, що при русі потяга, в контакті «колесо-рейка» виникають складні процеси, які негативно впливають на верхню будову колії (ВБК) і зменшують її ресурс. Тому, ці процеси вже на протязі тривалого часу є об'єктом досліджень багатьох вчених.

З урахуванням складної економічної ситуації в країні, яка стосується колійного господарства метрополітенів також, визначення ресурсів роботи верхньої будови колії та рейок, а також подовження строків їх служби, є актуальною задачею.

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

Тема дисертаційного дослідження відповідає «Державній цільовій програмі будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року». (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2011р. №1361-р).

Автор приймав участь у співавторстві в науково-дослідній роботі – «Розробка технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 в коліях КП «Харківський метрополітен», тема №67/1-14, державний обліковий номер №0216U006885, Харків, УкрДУЗТ, 2014-2016р.р.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційною роботи, є визначення реальних ресурсів роботи рейок в різних умовах експлуатації колій Харківського метрополітену, та впровадження рекомендацій щодо ресурсів роботи у експлуатації.

Для досягнення цієї мети в роботі були вирішені наступні задачі:

- створення наукових підходів до вирішення проблеми прогнозування ресурсів роботи рейок в умовах колії Харківського метрополітену на основі аналізу норм улаштування та фактичного стану цих колій;
- визначення просторових жорсткостей рейкових опор, які застосовані в коліях метрополітену на основі подальшого розвитку концепції багатошарової підрейкової основи, проведення експериментальних досліджень для визначення цих параметрів опор, та їх змін під час експлуатації;

- адаптація методики визначення еквівалентних коефіцієнтів дисипації рейкових опор до умов метрополітену, та проведення експериментальних досліджень для отримання емпіричних залежностей змін цих коефіцієнтів під час експлуатації колії;

- проведення чисельних досліджень просторових динамічних сил взаємодії рухомого складу і колії, які виникають під час руху вагонів, які використовуються в умовах Харківського метрополітену;

- проведення аналізу експлуатаційної стійкості рейок в умовах Харківського метрополітену, та визначення причин виникнення дефектів контактнo-втомлювального походження (КВП);

- розробка математичної моделі прогнозування ресурсів роботи рейок в умовах Харківського метрополітену, та визначення таких ресурсів для різних умов експлуатації;

- виконання прогнозної оцінки ресурсу роботи рейок типу Р-50 в умовах колій метрополітену на підставі методів теорії надійності;

**Об'єкт дослідження** – ресурси роботи рейок метрополітену.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу просторових динамічних сил на ресурси роботи рейок метрополітену.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі використано комплексний підхід до вирішення поставлених задач, і використані загальнонаукові, та спеціальні методи, які базуються на:

- аналітичних методах теоретичної, та будівельної механіки з використанням просторових моделей для визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в умовах метрополітену;

- методах теорії надійності для прогнозування ресурсів роботи рейок в умовах метрополітену;

- методах експериментальних досліджень роботи колії, як в цілому, так і рейкових опор зокрема.

**Наукова новизна одержаних результатів** Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. *Вперше*, на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень визначені просторові жорсткості рейкових опор, які застосовуються в умовах колії Харківського метрополітену. Встановлені залежності їх змін під час експлуатації колії.

2. *Вперше*, в практиці досліджень, виконано теоретичне обґрунтування, проведені експериментальні дослідження, та визначені еквівалентні коефіцієнти дисипації рейкових опор колій метрополітену при вертикальних та горизонтальних поперечних навантаженнях.

3. На основі досліджень чисельними методами, визначено рівень вертикальних та горизонтальних поперечних сил дії на колію рухомого складу метрополітену, встановлено вплив дискретності спирання рейок на опори, нерівнопружності опор, вертикальних і горизонтальних поперечних сил швидкостей руху, нерівностей колії, термінів експлуатації колії. Рівень горизонтальних поперечних сил був визначений *вперше*.

4. *Набув подальшого розвитку* метод прогнозування ресурсу рейок метрополітену, який на відміну від існуючого враховує дії бічних горизонтальних поперечних сил.

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Результати досліджень дисертаційної роботи дозволили встановити реальні, та обґрунтовані ресурси роботи рейок в різних умовах експлуатації КП «Харківський метрополітен», що дозволило утримати економічний ефект до 3000 грн на км.

2. Ефективність розроблених моделей і методів, які доведені до реалізації в програмній системі MatCad, дозволяє безпосереднє їх використання в розрахунках і практиці проектування колій метрополітенів.

3. Одержані в дисертації результати використовуються при викладанні дисциплін «Колійне господарство», «Улаштування експлуатації залізниць», в курсовому і дипломному проектуванні, при підготовці фахівців Українського державного університету залізничного транспорту.

### **Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Усі наукові положення, висновки та рекомендації, отримані в дисертаційній роботі, обґрунтовані та достовірні. Вони отримані на основі використаних методів та прийомів наукових досліджень, які базуються на принципах системності та включають:

- комплексний підхід до рішення проблеми прогнозування ресурсу роботи рейок типу Р 50;
- використання методів теоретичної та будівельної механіки;
- використання методів математичної статистики та теорії надійності для обробки результатів експериментів та прогнозування ресурсів роботи рейок типу Р 50.

Достовірність результатів роботи підтверджується задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів. Результати випробувань добре узгоджені з даними інших дослідників, які були отримані в близьких умовах.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист одержані особисто автором. Роботи, виконані разом зі співавторами, наведені в переліку публікацій.

Особистий внесок здобувача в роботах, які опубліковані полягає у наступному:

- проведення теоретичного аналізу та експериментальних досліджень дозволило визначити просторові жорсткості рейкових опор, які застосовуються в умовах колії Харківського метрополітену, встановити залежності змін цих параметрів під час експлуатації колії;[2]

- виконане теоретичне обґрунтування, що підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями, та визначені еквівалентні коефіцієнти дисипації рейкових опор колій метрополітену при вертикальних та горизонтальних поперечних навантаженнях;[6,8]

- виконані дослідження чисельними методами, визначено рівень вертикальних та горизонтальних поперечних сил дії на колію рухомого складу

метрополітену, встановлено вплив дискретності спирання рейок на опори нерівнопружності опор вертикальних і горизонтальних поперечних сил швидкостей руху, дискретності опор, нерівностей колії, термінів експлуатації колії; [3,4]

- за допомогою методів теорії надійності були визначені реальні ресурси роботи рейок; [9, 11]

- запропоновані наукові підходи до прогнозування ресурсу роботи рейок в умовах колії Харківського метрополітену з урахуванням впливу горизонтальних поперечних сил; [9]

- удосконалення існуючої математичної моделі динамічної системи "екіпаж - колія", полягає у врахуванні особливостей рухомого складу метрополітену; [7, 10]

- завдяки врахуванню дії бічних горизонтальних поперечних сил, було розвинуто існуючий метод прогнозування ресурсу рейок метрополітену. [11]

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення результатів дисертаційних досліджень доповідались на двох міжнародних науково-практичній та науково-технічній конференціях [8, 9]:

29-ої Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 27-29 вересня 2016 року. [8];

77-ої Міжнародній науково-технічній конференції 21-23 квітня 2015 року;

78-ої Міжнародній науково-технічній конференції 26-28 квітня 2016 року;

6-ої Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. – 2017. [9].

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась та обговорювалась на міжкафедральному семінарі кафедр «Колія та колійне господарства», «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини», «Будівельні матеріали, конструкції та споруд», «Будівельна механіка та гідравліка» Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків, 14 березня 2018р.)

**Публікації.** Основний зміст дисертації опубліковано в 11 роботах, з них 8 статей, 3 тези, в тому числі 2 тези доповідей на міжнародних науково-практичній та технічній конференціях. Наукові праці опубліковані в журналах, які включено до науково-метричної бази «SCOPUS», до науково-метричної бази РИНЦ, та в фахових виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, чотирьох додатків. Основний текст дисертації викладено на 162 друкованих сторінках тексту формату А4, який містить 51 рисунків, 16 таблиць та список використаних джерел із 186 найменувань на 15 сторінках, та 4 додатків на 14 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено їх об'єкт, предмет, теоретичні та практичні основи, розкрито наукову новизну та практичне значення дисертації, наведено інформацію про публікації, апробацію і впровадження результатів досліджень.

**У першому розділі** надано аналіз норм проектування, характеристик верхньої будови колії (ВБК), рухомого складу та експлуатаційних умов роботи колій метрополітенів пострадянського простору.

Аналіз дозволив встановити основні фактори, які впливають на стан та ресурс роботи рейок метрополітенів взагалі, і зокрема Харківського метрополітену.

Для вибору методології досліджень проаналізовано стан наукової бази для досліджень ВБК. Аналіз існуючих теорій визначення сил взаємодії рухомого складу і колії, теорії розрахунків напруженого стану елементів колії, дозволяє зробити висновок про те, що в основі методів, які найбільш застосовуються, покладена розрахункова схема рейок, як балок на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає постійність пружно-дисипативних характеристик рейкової основи та двосторонність її реакції.

Відсутність в минулі часи достатньо продуктивних обчислювальних засобів, та програмного забезпечення примусило дослідників (Н. Ф. Веріго, А. Я. Коган та ін.) розглядати екіпаж з застосуванням плоских розрахункових схем, поєднуючи результати розрахунків з використанням принципів суперпозиції. Але для розрахунків взаємодії в системі «колесо - рейка» в умовах істотній нелінійності силових кінематичних зв'язків, принцип суперпозиції не є можливий. Слід розглядати колію і екіпаж, як єдину просторову розрахункову схему.

З урахуванням цього були встановлені основні фактори, які впливають на напружений стан та ресурс роботи рейок Харківського метрополітену.

1. Наявність значної кількості кривих малих радіусів, в яких виникають значні горизонтальні поперечні сили, які викликають, як знос рейок, так і розвиток контактної - втомлювальних дефектів.

2. Застосування безстикової колії, яка укладена на дерев'яних шпалах, і скріплення типу «метро», про які в спеціальній та довідковій літературі недостатньо даних щодо вертикальної та горизонтальної поперечної жорсткості, та зовсім відсутні дані про дисипативні властивості колій метрополітену.

3. Більшість колій Харківського метрополітену розташовані в тунелях, що обумовлює значно меншу температурну амплітуду при роботі безстикової колії, Матеріали, які викладено в розділі опубліковано [1].

**У другому розділі** розглянуто формування жорсткостей рейкових опор та жорсткостей скріплення типу «Метро» для умов Харківського метрополітену. Отримані розрахункові рівняння, які дозволяють визначати жорсткість при динамічному впливі рухомого складу на колію у вертикальному ( $C_z$ ) та горизонтальному поперечному ( $C_y$ ) напрямках. (формули 1, 2). Встановлено перелік параметрів пружних елементів рейкових опор колій метрополітену, які формують зазначені жорсткості.

$$\left. \begin{aligned} C_z &= \frac{C_{zCK} \cdot C_{zш}}{C_{zCK} + C_{zш}}; \\ C_y &= C_{yCK}; \\ C_\phi &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{zCK} &= \frac{u_z^{\partial_{ин}} \cdot \omega_n \cdot C_{noc}}{u_z^{\partial_{ин}} + \omega_n \cdot C_{noc}} \\ C_{yCK} &= m \cdot C_{ш} \end{aligned} \right\} (2)$$

де  $C_\varphi$  – жорсткість, при крученні рейки під дією горизонтальної поперечної сили;

$C_{зск}$ ,  $C_{уск}$  – жорсткості проміжного скріплення "Метро" в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках, Н/м;

$C_{зи}$  – вертикальна жорсткість системи «шпала – бетонна підшпальна основа», Н/м.

$\omega_n$  – площа підрейкової підкладки скріплення метро, м<sup>2</sup>;

$u_z^{дин}$  – вертикальна динамічна жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, Н/м;

$C_{нос}$  – коефіцієнт постелі підкладки, яка характеризує пружні властивості деревини при її зминанні і стисненні упоперек волокон і чисельно рівну навантаженню, яке прикладене до одиначної площі деревини і яке викличе одиначну пружну деформацію, Н/м<sup>3</sup>;

$m$  – кількість шурупів у вузлі скріплення.

На підставі проведених експериментальних досліджень визначені статичні ( $u_z^{ст}$ ) і динамічні ( $u_z^{дин}$ ) жорсткості підрейкових прокладок при вертикальних і горизонтальних поперечних навантаженнях, їх середнеквадратичні відхилення  $S$ , та зміни цих жорсткостей під час експлуатації колії (таблиця 1).

Таблиця 1

## Жорсткість підрейкових прокладок скріплення «Метро»

Тип прокладки мм	Статична жорсткість кН/м		Динамічна жорсткість кН/м			
			Частота навантаження			
			5,5 Гц		11 Гц	
	$u_z^{ст}$	$S$	$u_z^{дин}$	$S$	$u_z^{дин}$	$S$
160	$20,89 \cdot 10^3$	$0,83 \cdot 10^3$	$43,4 \cdot 10^3$	$2,17 \cdot 10^3$	$44,9 \cdot 10^3$	$2,20 \cdot 10^3$
195	$28,88 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^3$	$84,8 \cdot 10^3$	$5,05 \cdot 10^3$	$152,2 \cdot 10^3$	$9,13 \cdot 10^3$

При виконанні експериментальних робіт застосовувалась відеоцифрова система визначення переміщення (рисунок 1).

Крім того, були одержані величини жорсткостей прокладок при їх зсуві, а також залежності змін цих жорсткостей під час експлуатації колії (таблиця 2).

Таблиця 2

## Залежність зміни жорсткостей прокладок при динамічному стисненні в процесі експлуатації

Тип прокладки	Емпірична залежність $u_z^{дин}=f(t) \frac{кН}{м}$	Середня помилка апроксимації (%)
160	$u_z^{дин}(t)= u_z^{дин}+0,87 \cdot 10^3 t$	4,17
195	$u_z^{дин}(t)= u_z^{дин}+1,54 \cdot 10^3 t$	4,34
Зміни жорсткості прокладки при зсуві від величини стиснення		
160	$43,2 \cdot 10^3 + 367,3 \cdot 10^5 \Delta h^{0,985}$	3,6
195	$51,4 \cdot 10^3 + 1402,3 \cdot 10^5 \Delta h^{0,974}$	4,9
Залежність зміни жорсткості прокладки при зсуві від терміну служби в колії		
160	$u_y^{дин}(t)= u_y + 0,26 \cdot 10^4 t$	4,17
195	$u_y^{дин}(t)= u_y + 0,37 \cdot 10^4 t$	5,22

Були отримані значення жорсткостей шурупів при їх віджиманні та зміни цих параметрів під час експлуатації колії за допомогою пристрою, загальний вид,



якого наведений на рисунку 2. Найбільш значущим є вплив термінів служби в колії. В процесі експлуатації жорсткість шурупів зменшується і залежність цієї величини від термінів служби не лінійна (рисунк 3).



Рис. 1 Пристосування для випробування прокладок.

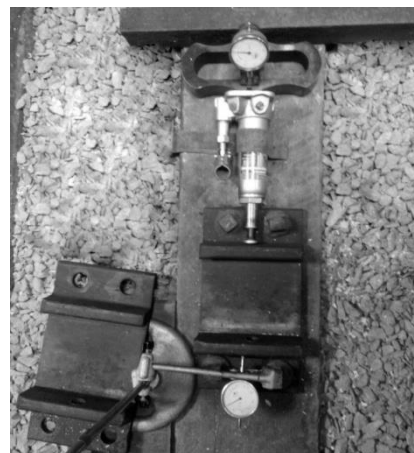


Рис. 2 Пристрій для визначення жорсткості шурупів при їх віджиманні.

Коефіцієнти постелі дерев'яних шпал були визначені експериментально при проведенні робіт в реальних, та в лабораторних умовах. Цей параметр розраховувався на підставі дослідних даних по формулі:

$$C_{под} = \frac{\Delta R_y}{\Delta y \cdot \omega_{п}} \left( \frac{\kappa H}{\text{м}^3} \right), \quad (3)$$

де,  $\Delta R_y$  – змінення вертикальних навантажень на скріплення в робочому діапазоні (кН);

$\Delta y$  – змінення вертикальних пружних деформацій в скріпленні, відповідних робочому діапазону навантажень (м);

$\omega_{п}$  – площа підкладки скріплення ДО (м<sup>2</sup>).

Виконані експериментальні роботи показали, що в процесі експлуатації коефіцієнт постелі підкладки знижується. Це можна пояснити змінами механічних характеристик деревини шпали в результаті процесів деструктуризації целюлози, процесів гноїння деревини, змін її вогкості і ряду інших. Аналіз впливу експлуатаційних чинників колії на коефіцієнт постелі підкладки, який було виконано з використанням коефіцієнтів кореляції показав, що головним чинником, який найбільш впливає, є термін служби колії.

На рисунку 4 приведений графік залежності коефіцієнта постелі підкладки від термінів служби колії, одержаний на підставі даних проведених експериментів. Де, 1 – результати, які отримані на ділянках колії; x – результати, які отримані в лабораторних умовах.

Емпірична залежність, яка була при цьому отримана, має вигляд:

$$C_{под} = 9,996 \cdot 10^5 - 3,955 \cdot 10^5 t^{0,204} \left( \frac{\kappa H}{\text{м}^3} \right), \quad (4)$$

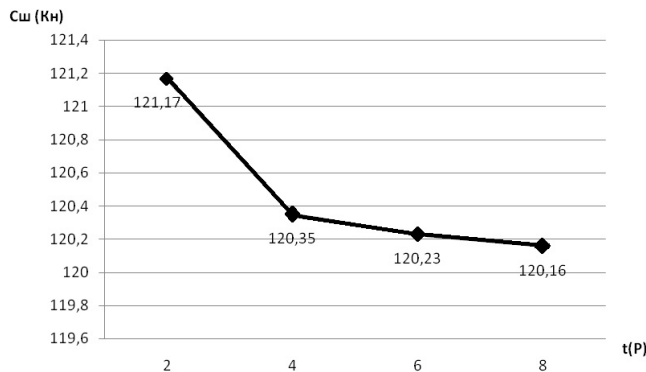


Рис. 3 Графік залежності жорсткості шурупів скріплення типу "Метро" від шпал терміну експлуатації

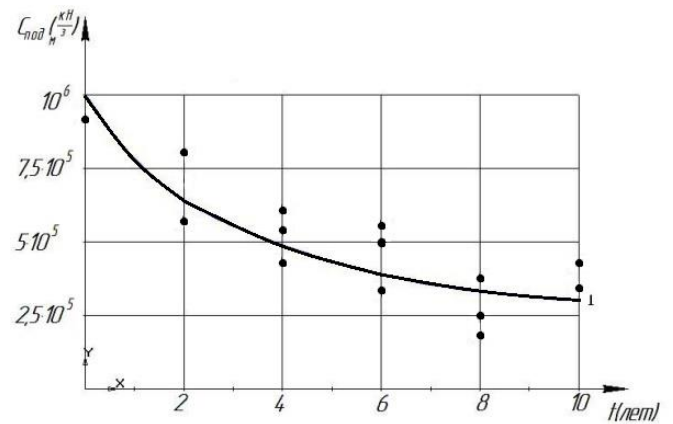


Рис. 4 Графік залежності коефіцієнта постелі підкладки від термінів експлуатації колії.

Слід відмітити значний розкид даних, які було одержано в результаті цих експериментів. Так, значення вертикальних пружних деформацій для однакових значень вертикального навантаження і шпал однієї партії, могли відрізнятися на 20% і більше. Поясненням цього може бути широкий діапазон, в якому змінюються механічні характеристики деревини шпал. Для рівняння (4) середня помилка апроксимації склала 16,4%.

Проведені дослідження дозволили визначати просторові жорсткості рейкових опор метрополітенів, та їх зміни під час експлуатації колії.

Результати розрахунків надані в таблиці 3, та у вигляді графіків на рисунках 5 та 6.

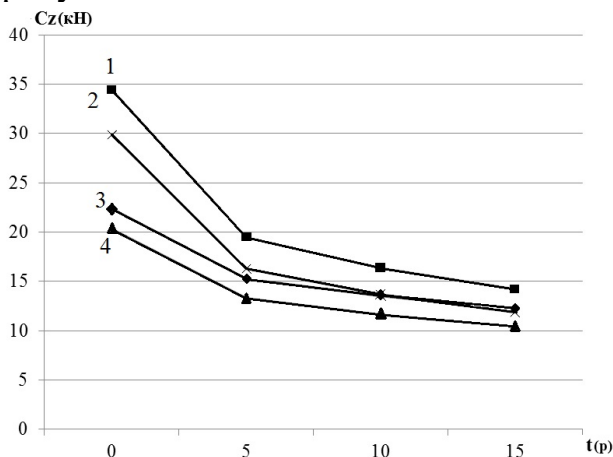


Рис. 5 Зміни вертикальних жорсткостей рейкових опор та їх складових:  
1, 2 – вертикальна жорсткість скріплення «метро» при прокладці 195мм;  
3, 4 – теж саме, при прокладці 160мм.

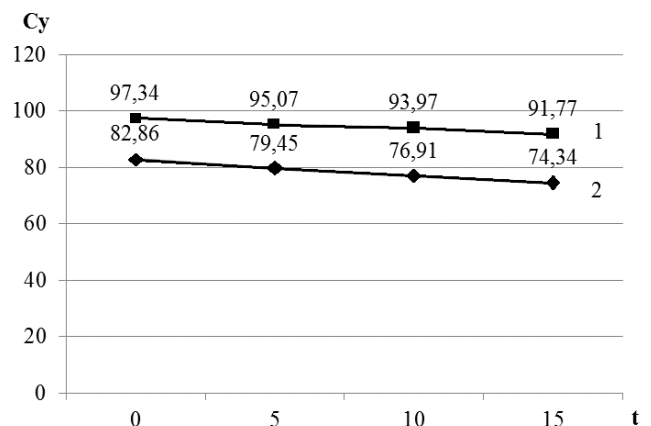


Рис. 6 Зміни горизонтальних жорсткостей рейкових опор у скріпленні для прокладок 160 та 195

Дослідження показали, що для нових опор їх вертикальні жорсткості знаходяться в межах  $10 - 20 \cdot 10^3 \text{кН/м}$  та на їх формування головним чином впливає жорсткість скріплень.

Горизонтальна поперечна жорсткість нових опор знаходиться в межах  $82 - 94 \cdot 10^3 \text{кН/м}$ . На їх формування, головним чином, впливає горизонтальна жорсткість підрейкових прокладок.

Під час експлуатації колії вертикальна жорсткість рейкових опор знижується на 49-61% за рахунок змін в першу чергу пружних характеристик дерев'яних шпал. Ці зміни визначені для терміну служби 15 років.

За той же час горизонтальна поперечна жорсткість зменшується на 6-9% при цьому, якщо жорсткість підрейкових прокладок зростає, то жорсткість шурупів при горизонтальних поперечних переміщеннях підкладки зменшується за рахунок змін характеристик дерев'яних шпал.

Матеріали, які викладено в розділі, опубліковано [2,3,4,5].

**У третьому розділі** виконано дослідження дисипативних властивостей рейкових опор колій метрополітену у вертикальному та у горизонтальному поперечному напрямку, які необхідні для виконання чисельних досліджень динамічних сил.

В основі досліджень дисипативних властивостей покладені теоретичні розробки професора М.Ф. Веріго, які в подальшому були підтверджені та розвинуті в роботах О.М. Даренського. В результаті було доведено, що робота динамічної зовнішньої сили, яка діє на колію, включає дві складові.

Перша складова – робота зовнішньої сили з подолання пружного опору. Очевидно, що за весь період (навантаження – розвантаження) вона дорівнюватиме 0, оскільки сила пружного опору відновить свій потенціал після зняття зовнішньої сили навантаження.

Друга складова – робота зовнішньої сили по подоланню не пружного (дисипативного) опору. Вона дорівнює:

$$A_B = \pi \omega \beta_1 \delta_0^2, \quad (5)$$

де  $\beta_1$  – коефіцієнт непружного (дисипативного) опору в колії;

$\omega$  – кругова частота навантаження ( $\text{с}^{-1}$ );

$\delta_0$  – величина відхилення деформації від положення статичної рівноваги.

З виразу (5) коефіцієнт дисипативного опору колії зовнішнім навантаженням  $R_{\text{дин}}$  буде дорівнювати:

$$\beta_1 = \frac{A_B}{\pi \omega \delta_0^2}. \quad (6)$$

При використанні розрахункової схеми колії, як балки, що лежить на пружних опорах, і при використанні чисельних методів рішення системи диференціальних рівнянь, що описують взаємодію колії і рухомого складу, дисипативні сили зручно враховувати за допомогою еквівалентного, приведеного до точки контакту колеса і рейки, коефіцієнта дисипативного опору колії (еквівалентного коефіцієнта дисипації). Тому, були визначені еквівалентні коефіцієнти дисипації при вертикальних і горизонтальних поперечних навантаженнях на рейкову опору, на основі даних експериментальних випробувань в лабораторних умовах.

При проведенні експериментальних робіт використовувалось обладнання, яке наведене на рисунку 7. Випробування проводились під дією динамічного

навантаження, на зразках дерев'яних шпал довжиною 50см, як нових, так і тих, що були в експлуатації. Інтервали динамічного навантаження були прийняті в діапазоні 20 – 30кН, що відповідає реальним навантаженням на рейкові опори метрополітену. Частота навантаження була прийнята 11Гц. Така частота відповідає навантаженню на колію при русі вагону метро зі швидкістю 10 км/год з відстанню між вісями 2.1м.

Навантаження на рейкову опору фіксувалось по мономерах пресу. Деформації рейкових опор вимірювалось за допомогою відеоцифрової системи в функції реального часу. Це дало можливість в автоматичному режимі визначати роботу непружного опору рейкових опор, як площу петлі гістерезису (рисунок 8).



Рис. 7 Експериментальні випробування пружних властивостей дерев'яних шпал зі скріпленням типу "метро".

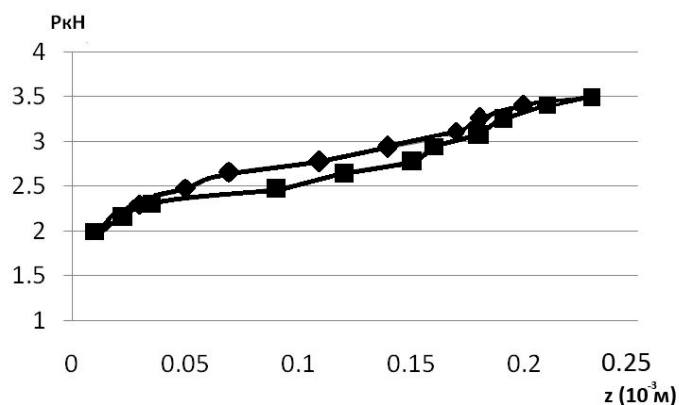


Рис. 8 Залежність деформації навантажень на рейкову опору

На основі даних експериментальних робіт, були отримані емпіричні залежності змін еквівалентних коефіцієнтів дисипації рейкових опор при вертикальних (7), та горизонтальних поперечних навантаженнях (8), від термінів служби рейкових опор.

$$\beta_b = 10.207 - 0.107t^{0.721}; \quad (7)$$

$$\beta_b = 6.422 - 0.055t^{0.843}. \quad (8)$$

Матеріали, які викладено в розділі опубліковано[9,6]

**У четвертому розділі** виконані дослідження сили дії рухомого складу на колію метрополітену чисельними методами.

В умовах метрополітену (криві малого радіусу, особливості спеціального рухомого складу, особливості режимів ведення рухомого складу) при розрахунках враховувалися істотні нелінійні залежності, у тому числі нелінійності розривного типу. Оскільки для нелінійних систем принцип суперпозиції не можливо застосувати, дослідження проводились на нелінійній просторовій моделі.

За основу моделювання була прийнята математична модель динамічної системи "екіпаж – колія", яка була розроблена професором Даренським О.М., та суттєво змінена з урахуванням особливостей роботи метрополітену.

В розрахункову схему підсистеми «екіпаж» були внесені особливості улаштування рухомого складу метрополітену – наявність двохступеневого

ресорного підвішування, гідравлічні гасники коливань та інше. В кінематичних та силових зв'язках між елементами підсистеми враховані нелінійні сили в'язкого тертя в гасниках коливань, можливість спирання кузова на сковзуни та сили і моменти сил між кузовом та візками балок. Враховано вплив повздовжніх сил в наслідок змін режиму руху в першу чергу в кривих ділянках колії. Для цього в основну систему диференціальних рівнянь коливань елементів екіпажу були внесені рівняння, які дозволяють враховувати зміни швидкості під час руху.

Розрахункова схема підсистеми «колія» була прийнята у вигляді просторової системи балок-рейок, які спираються на окремі пружно-дисипативні опори. На відміну від попередніх досліджень, в розрахунковій схемі враховані такі особливості улаштування колії метрополітену, як відсутність пружного притискання рейок до опор.

У відповідності до цих змін була вдосконалена математична модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія» і реалізована в програмному середовищі Matcat.

Для оцінки рівня сил, що діють на рейки від рухомого складу, для обраних дослідних ділянок колій КП «Харківський метрополітен», були проведені багатоваріантні розрахунки.

В якості розрахункових було прийнято наступні типи вагонів: Еж3; Ем-508Т; 81-718; 81-719; 81-717, 81-714. Швидкість руху прийнятих до розрахунку екіпажів змінювалась в межах до 80 км/год.

Для кожного типу екіпажів враховувалось 25 параметрів. Довжина прямої ділянки задавалось в межах від 100 до 150 метрів, кругової кривої 50-100 метрів. Довжина перехідних кривих та підвищення зовнішньої рейки в кругових кривих приймалась за діючими нормами

В розрахунках був прийнятий тип рейок Р-50 оскільки такий тип є основним для колії метрополітену. Але характеристики рейок цього типу, та моменти інерції, моменти опору та площі поперечного перетину приймались різними в залежності від зносу рейок.

Просторові жорсткості та приведені еквівалентні коефіцієнти дисипації рейкових опор приймались в залежності від термінів експлуатації колії, за результатами досліджень, які наведені в розділі 2 та 3.

Таким чином були виконані розрахунки більш ніж 100 варіантів взаємодії різних вагонів і колій з різними характеристиками.

*Вертикальні сили.* Значення вертикальних сил дії рухомого складу на колію залежить не тільки від типу вагонів, а і безперервно змінюються при русі екіпажів. Для порівняльного аналізу більш зручно та інформативно використовувати не їх абсолютні значення а коефіцієнти динаміки і амплітудні коефіцієнти. Коефіцієнт динаміки – це відношення максимальних вертикальних динамічних сил ( $P_{max}$ ) які виникають при русі, до величини статичного колісного навантаження ( $P_{cm}$ ):

$$Kd = \frac{P_{max}}{P_{cm}} \quad (9)$$

Оскільки при русі вагонів вертикальні сили змінюються не тільки в більший, а і в менший ( $P_{min}$ ) від статистичних значень бік, величину цих змін можна оцінювати значеннями амплітудного коефіцієнту:

$$Ka = \frac{P_{max}}{P_{min}}. \quad (10)$$

Слід зазначити, що при використанні прийнятої розрахункової схеми рейки, в динамічних розрахунках сил взаємодії рухомого складу і колії у вертикальній площині, при русі вагона у прямій ділянці колії без нерівностей, при сталому русі, коефіцієнт динаміки та амплітудний коефіцієнт будуть дорівнювати 1. Між тим, в реальних умовах вертикальні сили безперервно змінюються і ці коефіцієнти відрізняються від одиниці суттєво.

Встановлено, що на вертикальні динамічні сили впливають швидкість руху, жорсткість рейкових опор та термін служби рейок в колії. На рисунку 9 наведено графік залежності коефіцієнта динаміки і амплітудного коефіцієнтів від швидкості руху. З графіку видно, що термін експлуатації колії впливає на значення коефіцієнтів динаміки і амплітудних коефіцієнтів.

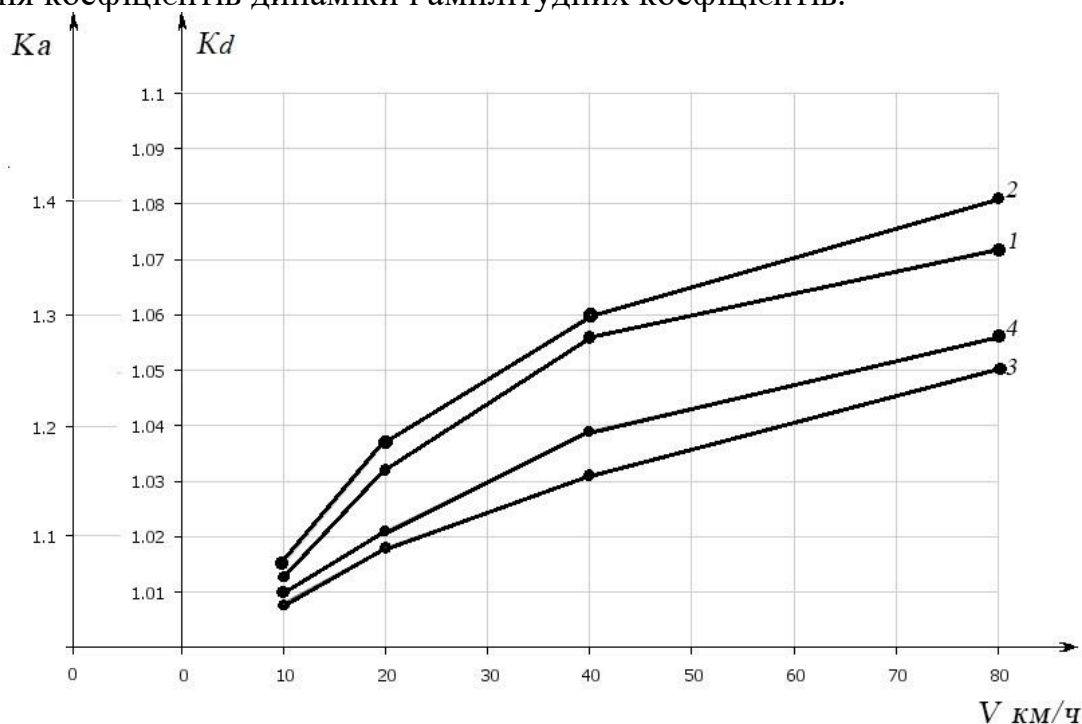


Рис. 9 – Графік залежності коефіцієнтів динаміки ( $Kd$ ) і амплітудних коефіцієнтів ( $Ka$ ) від швидкості руху для різних термінів служби ( $t_{сл}$ ) колії  
 1 –  $Kd$   $t_{сл}=0$  років; 2–  $Kd$   $t_{сл}=10$  років; 3 –  $Ka$   $t_{сл}=0$  років; 4–  $Ka$   $t_{сл}=10$  років

Вочевидь, що на процеси динаміки має вплив не тільки швидкість руху та співвідношення жорсткостей ресорних комплектів вагонів і колії, а і параметри дисипації в цих підсистемах.

При зміні швидкості руху від 10 до 80 км/год коефіцієнт динаміки змінюється від 1,01-1,014 до 1,072-1,081, а значення амплітудного коефіцієнта – від 1,008-1,01 до 1.06-1,26. Термін експлуатації колії вносить зміни цих коефіцієнтів на 15-20%.

На рисунку 10 наведено графік змін вертикальних сил, які діють від колеса на рейку. Ці дані були отримані в результаті розрахунків для вагонів типу Еж3 і 81-718 для швидкості руху 60 км/год.

*Горизонтальні поперечні сили.* На рисунку 11 наведені графіки змін горизонтальних поперечних сил які діють на колію від першої, по напрямку руху, колісної пари, при русі по дільниці колії, яка складається з прямою ділянкою довжиною 50 метрів, перехідною кривою та кругової кривої з радіусом 400 м, підвищення зовнішньої рейки 120 мм. Швидкість руху в цьому розрахунку складала 80, 60, та 40 км/год, максимальні значення горизонтальних поперечних сил складають від 4,57 до 9,89 кН.

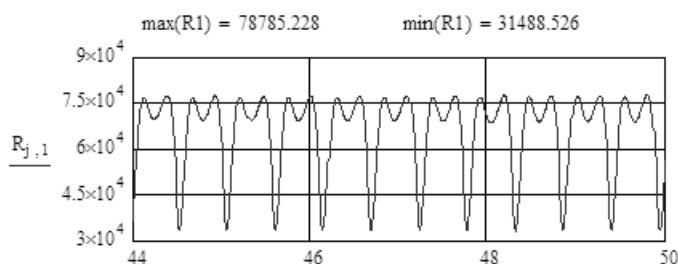


Рис. 10 – Приклад графіка вертикальних сил при русі вагону типу 81-718 зі швидкістю 60 км/год в прямій ділянці

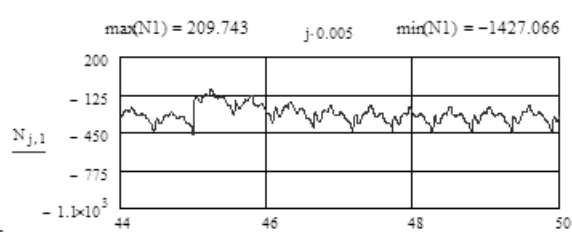


Рис. 11 – Графік змін горизонтальних поперечних сил які діють на колію при русі вагону зі швидкістю 60 км/год

На рисунку 12 наведені графіки залежностей горизонтальних поперечних сил від швидкості руху, які діють на колію в кругових кривих при відсутності нерівностей. Рівень горизонтальних поперечних сил при швидкостях руху, що реалізуються на коліях метрополітену знаходиться в межах 0,29-11,183кН

Залежності змін горизонтальних поперечних сил від амплітуди горизонтальних нерівностей довжиною 2 та 4 м наведено на рисунку 13. Радіус кривої був прийнято рівним 400 м. При змінах швидкості руху від 40 до 80 км/год горизонтальні поперечні сили досягають значень 12,5-14,8 кН в залежності від амплітуди і довжини нерівностей.

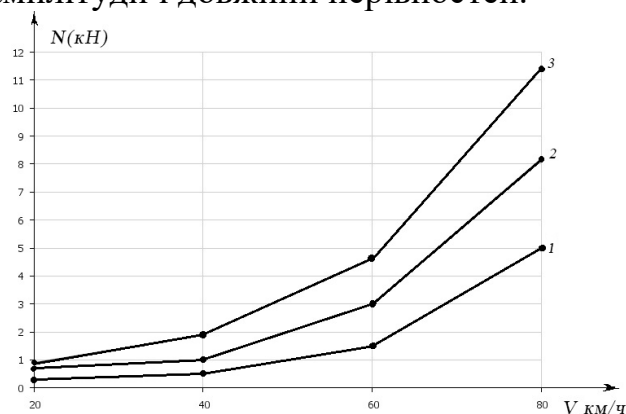


Рис. 12 –Графік залежності горизонтальних поперечних сил від швидкості руху

1 – R=400 м h=120 мм;  
2 – R=600 м h=120мм;

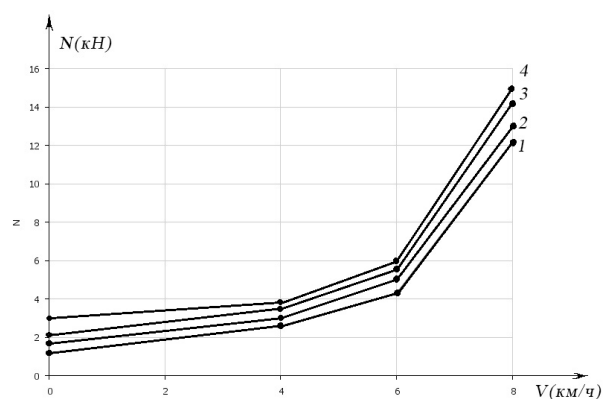


Рис. 13 – Графіки залежностей горизонтальних поперечних сил при русі вагона Еж-3 з радіусом 400 м при наявності нерівностей

3 – R=800 м h=120мм

На рисунку 13, 1 – довжина нерівності 4м, стріла вигину 6мм; 2– довжина нерівності 4м, стріла вигину 9мм; 3– довжина нерівності 2м, стріла вигину 6мм; 4– довжина нерівності 2м, стріла вигину 4мм

Матеріали, які викладено в розділі опубліковано[7,11].

**У п'ятому розділі:** запропоновано метод визначення реальних ресурсів рейок з використанням методів математичної статистики та теорії надійності.

Був зроблений статистичний аналіз виходу рейок в дефектні. Було визначено, що найпоширенішим є дефект по рисунку 11, що склав 70% від загальної кількості дефектних рейок.

За допомогою кореляційного аналізу встановлено, що визначальна причина виникання дефектів контактно-втомлювального походження є дія горизонтальних поперечних сил (таблиця 4).

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів кореляції між кривизною колії, величинами горизонтальних поперечних сил і виходом рейок в дефектні.

Параметр	Значення коефіцієнтів кореляції			
	I лінія	II лінія	III лінія	в цілому по метрополітену
Кривизна колії	0,302	0,200	0,262	0,323
Рівень горизонтальних поперечних сил	0,748	0,262	0,394	0,354

Були визначені параметри потоку відмов рейок за дефектами контактно-втомлювального походження в залежності від рівня пропущеного тоннажу з урахуванням рівня бічних сил.

Інтегральна функція виходу рейок в дефектні при використанні нормального розподілу цієї випадкової величини була отримана у вигляді:

$$F(T, P_y) = \sum_1^t \omega(T, P_y) = \frac{N_0}{\sigma(P_y)\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{[t(P_y)-T(P_y)]^2}{2\sigma^2(P_y)}} dt \quad (11)$$

де  $N_0$  – нормуючий множник;

$P_y$  – горизонтальні поперечні сили;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення пропущеного тоннажу;

$T$  – середнє значення пропущеного тоннажу до відмови;

$i, j$  – фактори впливу на вихід рейок, відповідно: рівень бічних сил колії та пропущений тоннаж.

Для оцінки середнього терміну рейки було використано метод квантилів.

Зроблено припущення, що після пропуску тоннажу  $t_i$  імовірність виходу з ладу рейок дорівнює  $P_i = \frac{i}{n}$ .

Для цієї імовірності були визначені квантили  $u_p$  та побудовано « $r$ » рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} T + u_{p1} \cdot \sigma_1 &= t_1 \\ T + u_{p2} \cdot \sigma_2 &= t_2 \\ &\dots \\ T + u_{pr} \cdot \sigma_r &= t_r \end{aligned} \right\} \quad (12)$$



З наведеної системи рівнянь (12) були отримані два так звані нормальні рівняння:

$$T \sum_{i=1}^r u_{pi} + \sigma \sum_{i=1}^r u_{pi}^2 = \sum_{i=1}^r u_{pi} t_i \quad (13)$$

$$T \cdot r + \sigma \sum_{i=1}^r u_{pi} = \sum_{i=1}^r t_i \quad (14)$$

Після розв'язання рівнянь (13), (14) можна отримати  $T$  та  $\sigma$ , відповідно середнє значення пропущеного тоннажу та його середньоквадратичне відхилення відповідно для побудови інтегральної функції виходу рейок (11).

Запропонована модель була реалізована в програмному середовищі Matcad за допомогою якої і робилися всі розрахунки.

Для приведення роботи рейок до єдиних умов залежно від рівня поперечних сил та пропущеного тоннажу, прийнято єдиний показник, який являє собою площину ( $S$ ) між інтегральною кривою виходу рейок для рівня горизонтальних поперечних сил.

Така площа за своєю фізичною сутністю є робота зовнішніх сил (поїзного навантаження), яка необхідна для утворення такої кількості дефектів в рейках, при яких буде вичерпано ресурс їх роботи. Застосовуючи це положення, можливо розрахувати допустимі значення сумарного поодинокого виходу рейки в дефектні та рекомендувати нормативні терміни служби рейки КП Харківський метрополітен. Ця площа була розрахована по формулі:

$$S_{R>1000m} = \int_0^{557} \frac{80}{387 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{[t(R)-557]^2}{2 \cdot 387^2}} dt \quad (15)$$

Встановлено, що є технічна можливість підвищення нормативного ресурсу роботи рейок на 5,5 – 11,8%, ці параметри були прийняті при розробці «Технічних вказівок на використання старопритатних рейок довжиною 12,5 та 25 метрів в коліях КП Харківський метрополітен», які введені в дію з 2015 року.

Результати розрахунків наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку нормативного терміну служби рейок КП «Харківський метрополітен».

План лінії	Результати розрахунків нормативного тоннажу, млн.т.	Величина нормативного тоннажу згідно з діючих Технічних вказівок, млн.т.	Збільшення величини пропущеного тоннажу, %
Криві радіусом до 500 м. (включно)	353	325	8,6
Криві радіусом 501 – 650 м.	422	400	5,5
Криві радіусом 651 – 800 м.	503	450	11,8
Криві радіусом 801 – 1000 м.	543	500	8,6
Криві радіусом більше 1000 м. та прямі	609	550	10,7

Матеріали які викладені в розділі опубліковані в роботах [10,8].

**В додатках** наведені технічні характеристики вагонів, які брали участь в дослідженні; характеристики рейок; наведені розрахунки більш ніж 100 варіантів взаємодії різних вагонів і колій з різними характеристиками; вагомі результати та графіками, які їх ілюструють.

### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

В дисертації сформульовано та вирішено важливу науково-технічну проблему: прогнозування реального ресурсу роботи рейок в умовах колії Харківського метрополітену.

На підставі проведених досліджень зроблені такі висновки:

1. Аналіз норм улаштування, та фактичного стану колії Харківського метрополітену показав, що основними їх особливостями є наявність значної кількості кривих з радіусами до 300 м.

В таких умовах повинні виникати значні поперечні сили, які є основною причиною розвитку контактно-втомлювальних дефектів, але в сучасній вітчизняній та закордонній літературі відсутні дані про фактичний рівень таких сил.

2. Створені наукові підходи до вирішення проблеми прогнозування ресурсу роботи рейок в умовах колії Харківського метрополітену з урахуванням впливу горизонтальних поперечних сил.

3. Отримано подальший розвиток концепції багатошарової підрейкової основи для визначення просторових жорсткостей рейкових опор при застосуванні традиційної конструкції у вигляді дерев'яних шпал, які замонолічено в колійний бетон, та скріпленнями типу «метро». Встановлено перелік пружних елементів рейкових опор колії метрополітену, які формують зазначені жорсткості. Виконані експериментальні дослідження жорсткості пружних елементів, встановлені їх статичні та динамічні жорсткості, та їх зміни під час експлуатації. Вперше в практиці досліджень встановлено, що вертикальна жорсткість рейкових опор зменшується на 49-61%, а горизонтальна поперечна на 6-9%.

4. Запропонована методика визначення еквівалентних коефіцієнтів дисипації рейкових опор колії. Вперше в практиці досліджень колії метрополітену одержані дані про дисипативні характеристики рейкових опор у горизонтальній поперечній та вертикальній площині.

Отримані емпіричні залежності зміни еквівалентних коефіцієнтів дисипації рейкових опор, при вертикальних та горизонтальних поперечних навантаженнях, від термінів експлуатації колії метрополітену на основі даних експериментальних робіт з використанням сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

5. Для умов колії Харківського метрополітену виконано чисельними методами дослідження дії на колію основних типів вагонів, які експлуатуються на всіх лініях. В основу досліджень була покладена математична модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія», в якій колія розглянута, як просторова конструкція у вигляді рейок які спираються на дискретні рейкові опори з не лінійними пружно-дисипативними характеристиками. В модель чотирьох вісного

екіпажу були внесені особливості улаштування рухомого складу метрополітену, наявність двоступеневого ресорного підвішування, гідравлічні гасники коливань та інше. В моделі колії враховані особливості улаштування колії метрополітену, такі як відсутність пружного притискання рейок до опор, та спирання шпал на монолітний бетон. Також, в модель були внесені рівняння, які враховували зміни швидкості під час руху.

6. Чисельними дослідженнями сил дії рухомого складу на колію встановлено, що дискретність спирання рейок на опори, нерівнопружність рейкових опор, викликає виникнення динамічних сил, через що виникає статичне навантаження в 1,2 рази. Вертикальні нерівності колії збільшують значення вертикальних динамічних сил в 1,08-1,15 рази.

Вперше в практиці досліджень було оцінено рівень горизонтальних поперечних сил в умовах метрополітену, встановлено вплив дискретності спирання нерівнопружності опор нерівностей колії. Встановлено, що при швидкостях руху, які реалізуються на коліях метрополітену можуть виникати горизонтальні поперечні сили величина яких сягає 12,5-14,8 кН.

7. Виконано аналіз експлуатаційної стійкості рейок в умовах Харківського метрополітену. Встановлено, що основними дефектами є дефекти контактнo-втомлювального походження у вигляді викришування металу на бічній робочій частині рейок. За допомогою методів математичної статистики встановлено, що головною причиною появи таких дефектів є горизонтальні поперечні сили. З використанням методів теорії надійності розроблена математична модель визначення ресурсів роботи рейок, з урахуванням дії горизонтальних поперечних сил. В основу моделі покладено критерій загальної роботи зовнішніх сил, яка необхідна для утворення гранично-допустимої кількості дефектів.

Встановлено, що є технічна можливість підвищення нормативного ресурсу роботи рейок на 5,5 – 11 %. Рекомендовані значення нормативних термінів служби рейок в умовах харківського метрополітену були включені до «Технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 метрів в коліях КП «Харківський метрополітен» (затверджено наказом № 73 від 11.02.15).

## **СПИСОК ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Основні праці:**

1. Малішевська А.С. Аналіз особливостей улаштування норм проектування та утримання колій Українських метрополітенів [Текст] / А.С. Малішевська // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.-2015. - Т. 2. - №151 - С.113-117.

2. Малішевська А.С. Формування просторової жорсткості рейкових опор метрополітену [Текст] / А.С. Малішевська, Д.А. Фаст // Іваново: Научний мир. – 2015. - Т. 1. - № 2. - С.48-55.

3. Малішевська А.С. Експериментальне визначення характеристик жорсткості підрейкових прокладок для проміжних рейкових скріплень типу «Метро» [Текст] / А.С. Малішевська // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. - 2016. - №161. - С. 55-60.

4. Тулей Ю.Л. Жорсткість прикріплювачів проміжних скріплень дерев'яних шпал при дії горизонтальних поперечних сил [Текст] / Ю.Л. Тулей, Д.О. Потапов, А.С. Малішевська // Вістник ДНУЗТ. - 2016. - №6. - С.96-104.

5. Малішевська А.С. Експериментальне визначення характеристик жорсткості підрейкових прокладок для проміжних рейкових скріплень типу «метро» [Текст] / А.С. Малішевська // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. - 2016. - №160 (додаток) С.92 -93.

6. Tuley Y. Research into parameters of energy loss when trains influence the track with wooden sleepers [Text] / Y. Tuley, N. Bugaets, A. Malishevskaya // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2016. - №А6/1(84). – С. 9-13.

7. Даренський О.М. Математична модель системи «екіпаж-колія» для умов метрополітену [Текст] / О.М. Даренський, А.С. Малішевська // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. - №6 С. 56-61.

8. Darenskiy A.N. Empirical data for numerical studies of the interaction track and rolling stock [Text] / A.N. Darenskiy, A.S. Malyshevskaya Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. // тези доп. 29 міжнародної наук.-практ. конф. «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 27-29 вересня 2016 року 27-29 вересня 2016 року.– 2016. - №4. – С.3.

9. Особливості взаємодії рухомого складу і колії в умовах метрополітену "[Текст] / А.Л.Бортовік, Д.А.Фаст, Н.В.Бугаєць, А.С. Малішевська // тези доп. 6-ї міжнародної наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. – 2017. – С.190.

10. Даренський О.М. Використання математичної моделі динамічної системи «екіпаж-колія» для досліджень сил взаємодії рухомого складу та колії метрополітенів [Текст] / О.М. Даренський, А.С. Малішевська // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017.-№1. – С. 43-51.

11. Darenskiy, A.N, (2017). Revisiting the reasons for contact fatigue defects in rails [Text] / A. Darenskiy, D. Potapov, Y. Tuley, N. Bugaets, A. Malishevskaya // МАТЕС Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Т. 116. – С. 03001

#### **Додаткові праці:**

Розробка технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 в коліях КП «Харківський метрополітен», тема №67/1-14, державний обліковий номер №0216U006885, Харків, УкрДУЗТ, 2014-2016р

#### **АНОТАЦІЯ**

Малішевська А.С. Вплив рівня горизонтальних поперечних сил на ресурси роботи рейок в умовах Харківського метрополітену.– на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія. Державний університет інфраструктури та технологій, МОН України, Київ, 2018.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню та практичному вирішенню проблеми підвищення експлуатаційному ресурсу рейок з урахуванням специфіки харківського метрополітену.

В роботі на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень визначені просторові жорсткості рейкових опор, які застосовуються в умовах

колії Харківського метрополітену. Встановлені залежності змін, цих параметрів, під час експлуатації колії. Виконано теоретичне обґрунтування, проведені експериментальні дослідження, та визначені еквівалентні коефіцієнти дисипації рейкових опор колій метрополітену при вертикальних та горизонтальних поперечних навантаженнях, визначено рівень вертикальних та горизонтальних поперечних сил дії на колію рухомого складу метрополітену. Запропонований метод прогнозування ресурсу рейок метрополітену, який враховує дії бічних горизонтальних поперечних сил.

*Ключові слова:* рейки метрополітену, експлуатаційний ресурс, вертикальні сили, горизонтальні поперечних сили, рейкові опори, коефіцієнт дисипації.

## АННОТАЦИЯ

Малишевская А.С. Влияние уровня горизонтальных поперечных сил на ресурсы работы рельсов в условиях Харьковского метрополитена.- на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – Железнодорожный путь. Государственный университет инфраструктуры и технологий МОН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена научному обоснованию и практическому решению проблемы повышение эксплуатационного ресурса рельсов

В работе на основе теоретического анализа и экспериментальных исследований определены пространственные жесткости рельсовых опор, применяемых в условиях колеи Харьковского метрополитена. Установлены зависимости изменения, этих параметров, при эксплуатации пути. Выполнено теоретическое обоснование, проведены экспериментальные исследования, и определенные эквивалентные коэффициенты диссипации рельсовых опор путей метрополитена при вертикальных и горизонтальных поперечных нагрузках, определен уровень вертикальных и горизонтальных поперечных сил воздействия на путь подвижного состава метрополитена. Предложенный метод прогнозирования ресурса рельсов метрополитена, который учитывает действия боковых горизонтальных поперечных сил.

*Ключевые слова:* рельсы метрополитена, эксплуатационный ресурс, вертикальные силы, горизонтальные поперечные силы, рельсовые опоры, коэффициент диссипации.

## SUMMARY

Malishevskaya A. Influence of the level of horizontal transverse forces on the resources of rails in the conditions of the Kharkov underground- the manuscript.

Dissertation for the candidate of technical sciences degree on specialty 05.22.06 – Railway track. State University of Infrastructure and Technology, Ukraine, Ministry of Education and Science, Kyiv, 2018.

In the work on the basis of theoretical analysis and experimental studies, the spatial stiffness of the rail supports, which are used in the conditions of the Kharkov metro track, are determined. The dependencies of the changes, these parameters, during the operation of the track have been established. The theoretical substantiation was carried

out, experimental researches were carried out, and the equivalent coefficients of the dissipation of the rail bearings of the metro trains were determined at vertical and horizontal transverse loads, and the level of vertical and horizontal strut forces on the tracks of the rolling stock of the underground was determined. An analysis of the operational stability of rails in the conditions of the Kharkov metro is carried out. The basic types of defects are established. Using the methods of mathematical statistics, the main reasons for the appearance of these defects are established. Using the methods of reliability theory, a mathematical model for determining the resources of the rails has been developed, taking into account the effect of horizontal transverse forces.

*Key words:* underground rail, operational resource, vertical forces, horizontal hammered forces, rail supports, coefficient of dissipation.

Малішевська Аліна Сергіївна

ВПЛИВ РІВНЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ НА РЕСУРСИ  
РОБОТИ РЕЙОК В УМОВАХ ХАРКІВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано для друку 04 травня 2018 р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.  
Папір офсетний. Умовн. друк. арк. 0,9.  
Гарнітура Times New Roman.  
Замовлення № 415 Наклад 110 прим.

---

Видавництво УкрДУЗТ.  
Свідоцтво про реєстрацію ДК № 61000 від 21.03.2018 р.  
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7  
Друкарня УкрДУЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7