

УДК 625.143.5

В. М. Твердомед
Р. М. Йосифович

ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ТА ЇХНІХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЛІНІЯХ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Проведено конструктивну характеристику улаштування залізничної колії на лініях Київського метрополітену. Встановлено найпоширенішу конструкцію верхньої будови колії та приведені пропозиції і заходи щодо її поліпшення.

Проведено конструктивную характеристику устройства железнодорожного пути на линиях Киевского метрополитена. Установлено наиболее распространенную конструкцию верхнего строения пути и приведены предложения и меры по ее улучшению.

To establish a dominant design IBD on the subway lines, conducted technical analysis of structures IBD underground. On the basis of technical analysis it is established that binding of type "Metro" is the most common design of the intermediate rail fasteners and is 41 %. On second fastening type KDP, which is 29 %. Because these structures are used with wooden sleepers, so the design of the upper structure on wooden sleepers has the largest distribution and amounts to 72.4 %. Podbelskogo bearings are mainly plot 1680 PCs/km, which is 54.9 percent of the total.

Ключові слова: метрополітен, рейки, рейкові скріплення, дерев'яні та залізобетонні шпали, залізобетонні опори, поздовжні лежні.

У великих містах країн світу при вирішенні міських транспортних проблем, метрополітен має вирішальну роль, як один із комфортабельних та зручних видів транспорту. В містах із інтенсивним будівництвом міської інфраструктури та збільшенням чисельності населення розбудовується інфраструктура метрополітену – вводяться в експлуатацію нові лінії, відкриваються нові станції, вдосконалюються з кожним роком конструкції інфраструктури.

Будівництво Київського метрополітену було розпочато у 1949 р, а в 1960 р. – перший поїзд проївав станціями: Вокзальна, Університет, Хрещатик, Арсенальна, Дніпро. На той час загальна довжина першої лінії метрополітену становила 5,2 км.

На даний час колійна інфраструктура метрополітену складається з трьох ліній, які мають підземні та наземні ділянки.

© **Твердомед В.М., Йосифович Р.М., 2014**

Розгорнута довжина головних колій метрополітену становить 191,8 км, з яких 17,1 км довжина наземних ділянок. На лініях метрополітену експлуатується рухомий склад з моделями вагонів: Е/Еж,

81-717, 81-714, 81-717.5м, 81-714.5м, 81-540.2к, 81-541.2к, 81-717.5к, 81-714.5к, 81-540.3к, 81-541.3к, 81-7021, 81-7022. Поїзд складається із п'яти вагонів, має довжину 95,83÷99,975 м, максимальну масу 242,5 – 274,42 т та максимальне осьове навантаження 150 кН. Встановлена швидкість руху поїздів на лініях метрополітену – 80 км/год. Вантажонапруженість на лініях метрополітену: Святошинсько-Броварська – 25,23 млн ткм/км на рік; Куренівсько-Червоноармійська – 21 млн ткм/км на рік; Сирецько-Печерська – 17,1 млн ткм/км на рік.

Залежно від часу будівництва кожної окремої лінії метрополітену, застосовувались різні конструкції верхньої будови колії (ВБК) з врахуванням експлуатаційного досвіду та змін умов експлуатації.

Будівництво київського метрополітену розпочиналось із лінії, яка має тепер назву «Святошинсько-Броварська». На той час як типова конструкція колії була використана конструкція ВБК із рейками типу Р50, прикріплених до замоноличених в колійний бетон дерев'яних шпал (на станціях напівшпал) з допомогою підкладкової конструкції рейкового скріплення типу «Метро»[1] (рис. 1). Конструктивна особливість улаштування вузла даного рейкового скріплення полягає у вільно-фіксованому переміщенні рейки у вертикальній площині без конструктивного створення сил притискання рейки до опори. Така система зв'язку забезпечує вільно-фіксоване переміщення рейки у вертикальній площині при дії вертикальних навантажень від рухомого екіпажу без надсмикування приєднувачів підкладки до опори і порушення міцності замоноличування шпали у колійний бетон. Основний конструктивний недолік такої конструкції відсутність пружного зв'язку рейки з підрейковою опорою у вертикальній площині, що погіршує динаміку взаємодії колії та екіпажу.

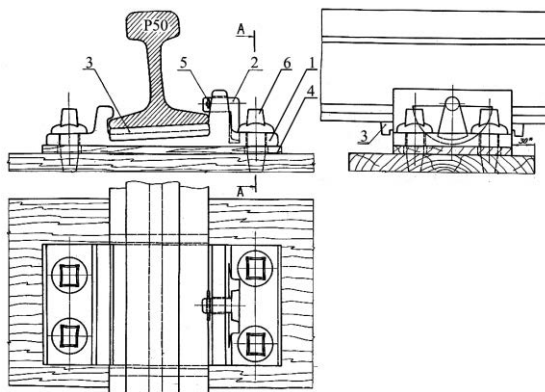


Рис. 1. Конструкція скріплення «Метро»:

*1 - металева підкладка; 2 - маятниковий фіксатор; 3 – підрейкова прокладка;
4 – прокладка під підкладку; 5 – шплінт; 6 – шуруп*

Для покращення зв'язку рейки і опори була розроблена конструкція скріплення КДП для дерев'яних шпал із пружними пластинчатими клемами, які дозволяли здійснювати хвилеподібне вигинання рейки під дією вертикальних на-

вантажень без утворення залишкових деформацій у зв'язках підкладки і основи, основи і колійного бетону. Так, при подальшому будівництві ліній почали використовувати конструкцію ВБК із рейками типу Р65, прикріплених до замонолічених в колійний бетон дерев'яних шпал з допомогою підкладкової конструкції рейкового скріплення з пружними пластинчатими клемами типу КДП (рис. 2). Недоліки такої конструкції пов'язані з технологічною недосконалістю виготовлення пластинчатих клем з пружної сталі, наявністю різьбо-гайкових з'єднань, відносно великою металоємністю та багатодетальністю.

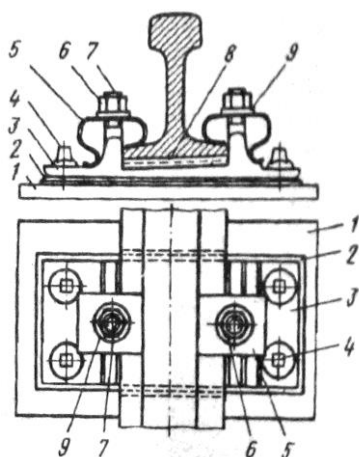


Рис. 2. Конструкція скріплення КДП на дерев'яних шпалах: 1 – дерев'яна шпала; 2 – прокладка під підкладку; 3 – металева підкладка; 4 – шуруп; 5 – пружна пластинчатая клема; 6 – гайка; 7 – клемний болт; 8 – підрейкова прокладка; 9 – плоска шайба

го метрополітену, – це конструкція ВБК із рейками типу Р50, Р65, прикріплених до залізобетонних поздовжніх лежнів з допомогою підкладкової конструкції рейкового скріплення КБ. При цьому поздовжні лежні опираються та упираються на пружні підрейкові прокладки і кріпляться до бетонної тунельної основи з допомогою поздовжніх та поперечних упорів (рис. 4).

За результатами полігонних досліджень на Експериментальному кільці ВНИИЖТа [2], при збільшених осьових навантаженнях, які у 2 рази перевищують навантаження на лініях київського метрополітену, дана конструкція зарекомендувала себе, як досить надійна, довговічна та економічно ефективна. Але нерационально з такою конструкцією застосовувати жорстке рейкове скріплення КБ на лініях київського метрополітену.

До вібро- та шумозахисної конструкції належить також колія на ізольованих рейкових опорних блоках (система ЕВБ (Embedded Block System)) – це безбаласна конструкція ВБК. У цій системі рейки прикріплюються не до обрізних шпал, а до окремих бетонних опорних блоків, установлених у готових бетонних або композитних лотках, з використанням пружної заливної маси. Смоляна маса

Технологія заміни замоноліченої дерев'яної шпали у колійний бетон на коліях метрополітену дуже складний процес, який потребує великих затрат праці, часу та використання досить дорогої будівельної деревини.

Для вирішення такої проблеми були розроблені КВБ колії із застосуванням залізобетонної підрейкової основи. Дані конструкції ВБК почали застосовуватися на нових збудованих лініях київського метрополітену починаючи з 90-х років минулого століття. Так в кінці 1994 р. на двох ділянках Сирецько-Печерської лінії була укладена конструкція ВБК із рейками типу Р50 (Р65), прикріплених до замонолічених в колійний бетон залізобетонних опор БПО з допомогою безпідкладкової конструкції рейкового скріплення з пружними пластинчатими клемами типу КДП-1 (рис. 3).

При сучасному будівництві нових ліній метрополітену, особливо неглибокого закладання, які проходять поруч з житловими масивами міста, велика увага відводиться вібро- та шумозахисним конструкціям. Одна з таких конструкцій колії, що застосовується на лініях київського метрополітену, – це конструкція ВБК із рейками типу Р50, Р65, прикріплених до залізобетонних поздовжніх лежнів з допомогою підкладкової конструкції рейкового скріплення КБ. При цьому поздовжні лежні опираються та упираються на пружні підрейкові прокладки і кріпляться до бетонної тунельної основи з допомогою поздовжніх та поперечних упорів (рис. 4).

За результатами полігонних досліджень на Експериментальному кільці ВНИИЖТа [2], при збільшених осьових навантаженнях, які у 2 рази перевищують навантаження на лініях київського метрополітену, дана конструкція зарекомендувала себе, як досить надійна, довговічна та економічно ефективна. Але нерационально з такою конструкцією застосовувати жорстке рейкове скріплення КБ на лініях київського метрополітену.

До вібро- та шумозахисної конструкції належить також колія на ізольованих рейкових опорних блоках (система ЕВБ (Embedded Block System)) – це безбаласна конструкція ВБК. У цій системі рейки прикріплюються не до обрізних шпал, а до окремих бетонних опорних блоків, установлених у готових бетонних або композитних лотках, з використанням пружної заливної маси. Смоляна маса

забезпечує міцне і пружне кріплення опорних блоків у лотку (рис. 5). Бетонний опорний блок, на якій встановлено пружне рейкове скріплення з клемами SKL-21, відповідає вимогам міцності як для двоблокової шпали. Під бетонним блоком для поліпшення пружності колії використовуватися пружна віброізоляційна прокладка. Дана конструкція ВБК забезпечує низький коефіцієнт динамічної жорсткості, що сприятливо впливає на розподіл вертикальних і горизонтальних сил від коліс, зменшуючи хвилеподібний знос рейок.

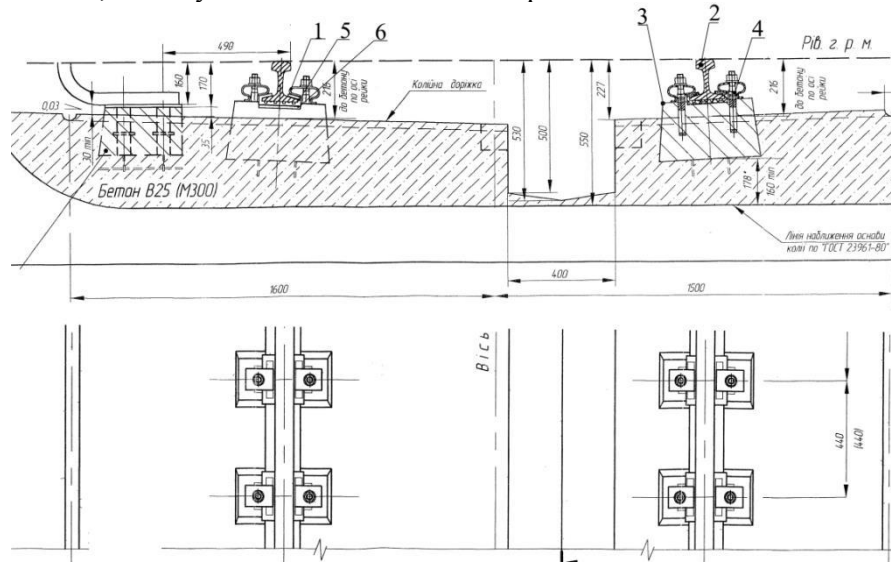


Рис. 3. Конструкція скріплення КДП-1 на опорах БПО: 1 – клема пружна пластинчата; 2 – рейка; 3 – опора БПО; 4 – металева реборда; 5 – підрейкова гумова підкладка; 6 – додаткова ізолююча регулююча прокладка

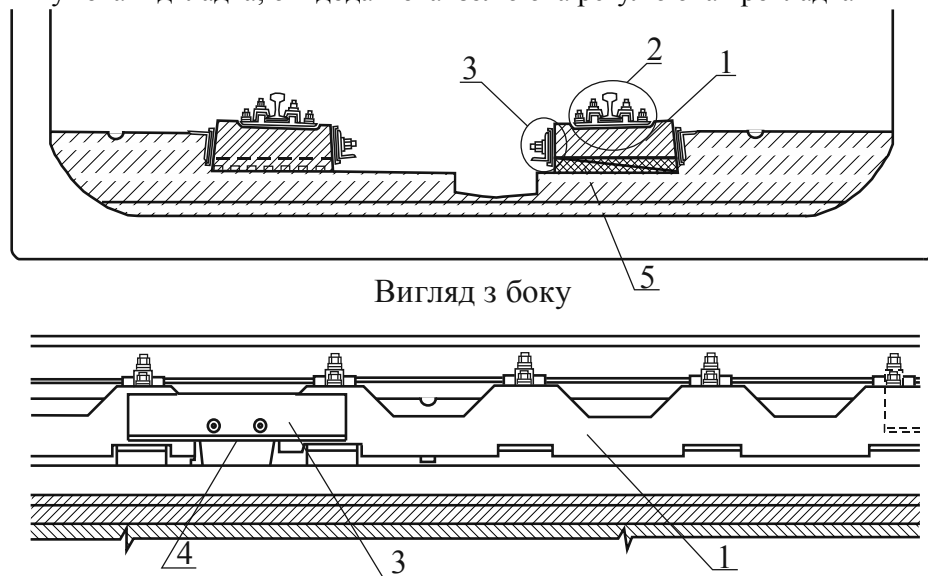


Рис. 4. Конструкція скріплення КБ на поздовжніх лежнях: 1 – поздовжній лежень; 2 – рейкове скріплення КБ; 3 – кріплення притисного кутника до поздовжнього упору і поздовжнього упору до основи; 4 – металевий поздовжній упор; 5 – прокладка гумова регулююча

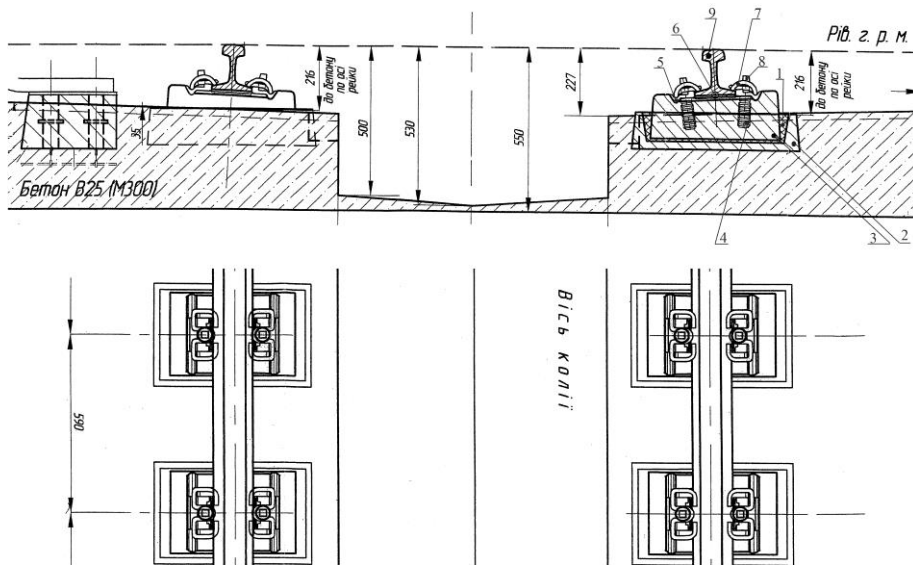


Рис. 5. Ізольований рейковий опорний блок – варіант зі збірним бетонним лотком: 1 – ізоляція опорного блоку; 2 – збірний лоток опорного блоку; 3 – збірний бетонний опорний блок; 4 – гвинтовий дюбель; 5 – кутова напрямна; 6 – підрейкова прокладка; 7 – пружна клема SKL-21; 8 – гвинт; 9 – рейка

На надземних ділянках метрополітену застосовується конструкція ВБК в якій рейки типу Р 50 прикріплені скріпленням типів Д2 чи КБ до дерев'яних чи відповідно залізобетонних шпал (рис. 6, 7). Утворена рейко-шпальна решітка укладається на баласт і заглиблюється у баластну призму. За відсутності можливості заміни дефектних дерев'яних шпал новими, проводиться їх заміна новими чи старопридатними залізобетонними шпалами, в результаті чого утворюється «комбінована» конструкція ВБК із хаотичним розміщенням дерев'яних та залізобетонних шпал. Така конструкція має занадто велику нерівнопружність колії по довжині, що призводить до утворення додаткових сил взаємодії колії та рухомого екіпажу.

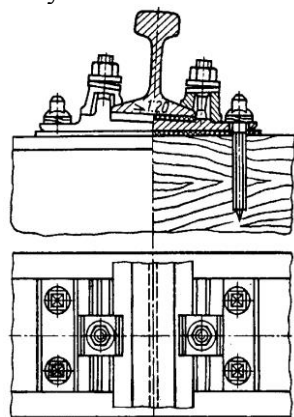


Рис. 6. Роздільне скріплення типу Д2

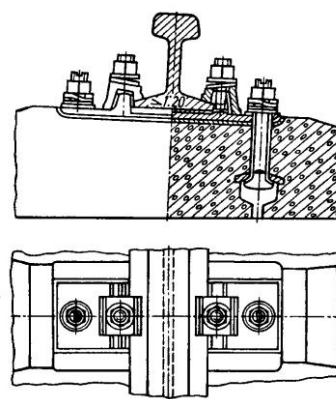


Рис. 7. Роздільне скріплення типу КБ

Варіанти конструкцій верхньої будови колії на лініях київського метрополітену наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Конструктивна характеристика верхньої будови колії ліній метрополітену

№	Тип рейки	Тип скріплення	Вид підрейкової опори	Епора рейкових опор
Святошинсько-Броварська лінія				
1	P50 (нетермозміцнені)	Метро	Дерев'яні шпали	1680, 1840
2		КДП-1	БПО (бетонна підрейкова опора)	1680
3		КБ	Лежні	1840
4		Д-2	Дерев'яні шпали	1840, 2000
5		Д-2, КБ	Комбіновані (дерев'яні та залізобетонні)	1840, 2000
6		КБ	Залізобетонні шпали	1840, 2000
Куренівсько-Червоноармійська лінія				
1	P50 (нетермозміцнені)	КДП-1	БПО	1600, 1680
2		Д-2	Дерев'яні шпали	1680
3		SKL 21	Блоки EBS	1600
4		Метро	Дерев'яні шпали	1680, 1840
5		КБ	Лежні	1680, 1840
Сирецько-Печерська лінія				
1	P50	КДП-1	БПО	1680
2	P65	КДП	Дерев'яні шпали	1680, 1840
3	P65	КДП-1	БПО	1600, 1680
4	P50	КБ	Лежні	1840
5	P65	КБ	Лежні	1840

З табл. 1 видно, що конструкції ВБК метрополітену постійно удосконалюються із експлуатаційним досвідом та розвитком науково-технічного прогресу в країні та світі в цілому. Кожна з наведених конструкцій має свої механічні параметри, які впливають на характер взаємодії колії та рухомого екіпажу і появу дефектів, пошкоджень, залишкових деформацій на колії та в окремих конструктивних елементах ВБК. Для встановлення частки застосування кожної із наведених конструкцій ВБК на лініях метрополітену, був проведений технічний аналіз конструкцій ВБК метрополітену. На рис. 8 – 10 наведено результати досліджень на Святошинсько-Броварській лінії метрополітену. Як видно з зазначених рисунків на даній лінії метрополітену найпоширеніша конструкція ВБК, це конструкція із скріпленням типу «Метро» на замоноличених в колійний бетон дерев'яних шпалах з епорою укладання 1680, 1840 шт/км. Друге місце посідає конструкція ВБК із скріпленням типу КБ на залізобетонних шпалах, яка застосовується на наземних ділянках.

На рисунках 11 – 13 наведено результати досліджень на Куренівсько-Червоноармійській лінії метрополітену. Як видно з зазначених рисунків на даній лінії метрополітену найпоширенішою конструкцією ВБК є конструкція на замоноличених в колійний бетон дерев'яних шпалах з епорою укладання 1680, 1840 шт/км з рейковими скріпленнями типу «Метро».

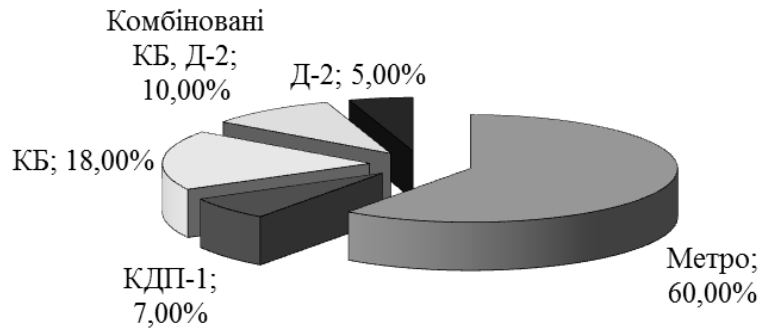


Рис. 8. Застосування конструкцій проміжних скріплень на Святошинсько-Броварській лінії

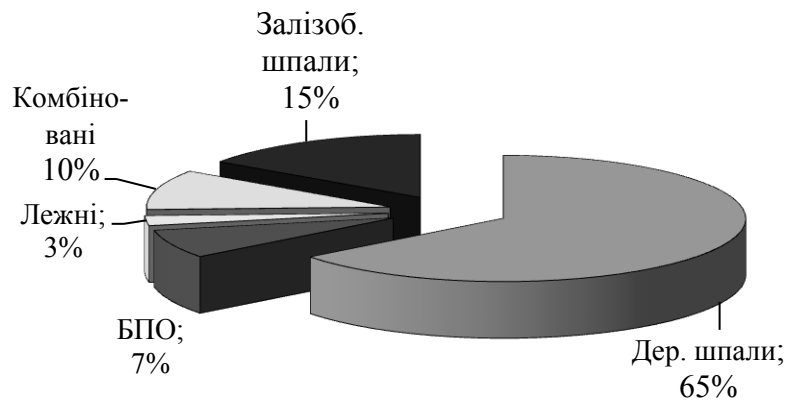


Рис. 9. Застосування конструкцій підрейкових опор на Святошинсько-Броварській лінії

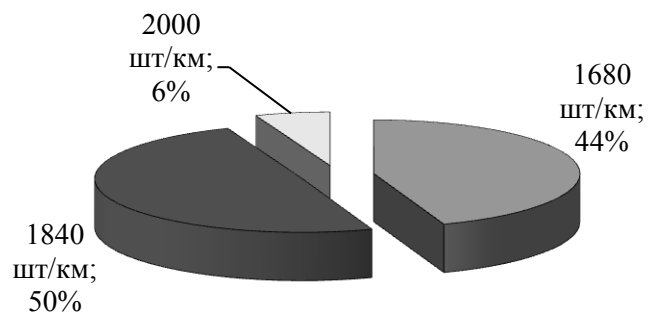


Рис. 10. Застосування епюр розміщення підрейкових опор на Святошинсько-Броварській лінії

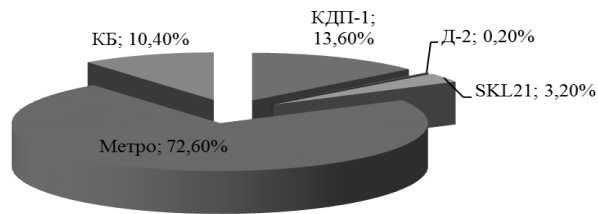


Рис. 11. Застосування конструкцій проміжних скріплень на Куренівсько-Червоноармійській лінії

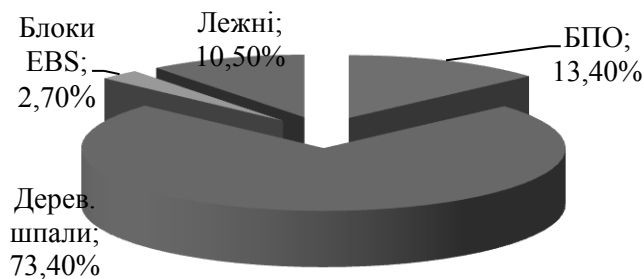


Рис. 12. Застосування конструкцій підрейкових опор на Куренівсько-Червоноармійській лінії

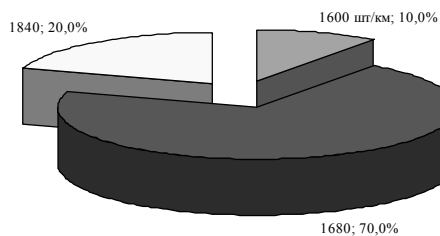


Рис. 13. Застосування епюр розміщення підрейкових опор на Куренівсько-Червоноармійській лінії

На рисунках 14 – 16 наведено результати досліджень на Сирецько-Печерській лінії метрополітену. Як видно з наведених рисунків на даній лінії метрополітену найпоширенішою конструкцією ВБК є підкладкове скріплення типу КДП з пружною клемою на замоноличених в колійний бетон дерев'яних шпалах з епюрою укладання 1680, 1840 шт/км. Друге місце посідає конструкція ВБК із підкладковою пружною конструкцією скріплення типу КДП-1 на замоноличених в колійний бетон залізобетонних блоках.

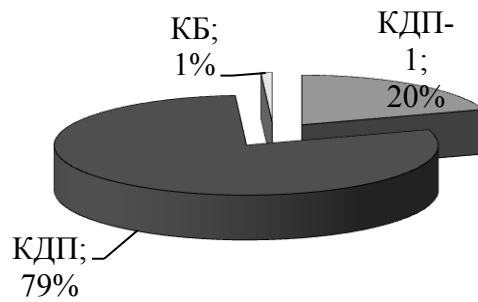


Рис. 14. Застосування конструкцій проміжних скріплень на Сирецько-Печерській лінії

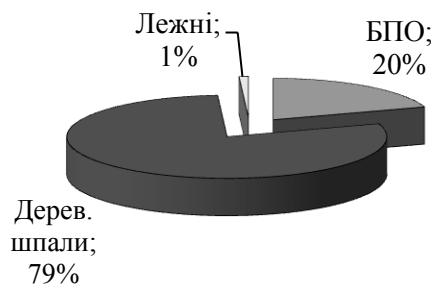


Рис. 15. Застосування конструкцій підрейкових опор на Сирецько-Печерській лінії

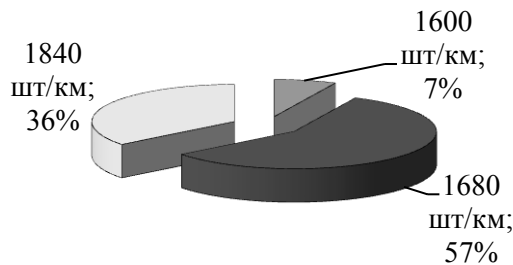


Рис. 16. Застосування епор розміщення підрейкових опор на Сирецько-Печерській лінії

На рисунках 17 – 18 наведено результати досліджень в цілому на лініях метрополітену. Як видно з зазначених рисунків на лініях метрополітену скріплення типу «Метро» є найпоширенішою конструкцією проміжного рейкового скріплення, що становить 41 %. На другому місці скріплення типу КДП, що становить 29 %. Оскільки зазначені конструкції застосовуються при дерев'яних шпалах, тому конструкція верхньої будова на дерев'яних шпалах є найпоширенішою і складає 72,4 %. Підрейкові опори розміщуються переважно з епурою 1680 шт/км, що становить 54,9 % від загальної кількості.

Рейки є основним конструктивним елементом ВБК, який безпосередньо сприймає динамічні сили від коліс рухомого екіпажу і передає їх на інші елеме-

нти ВБК. Тум саме від технічних характеристик рейок буде залежати в цілому періодичність проведення ремонтних робіт.

На лініях київського метрополітену застосовуються рейки тупу Р65 та Р50. Рейки типу Р65 застосовуються тільки на Сирецько-Печерській лінії. Довжина колій з рейками типу Р50 складає 98,8 км, а рейок типу Р65 відповідно 41,4 км. Рейки застосовуються нетермозміцнені та виготовлені металургійним комбінатом «Азовсталь» відповідно до ГОСТ 7174-75, ГОСТ 24182-80, ДСТУ 4344:2004.

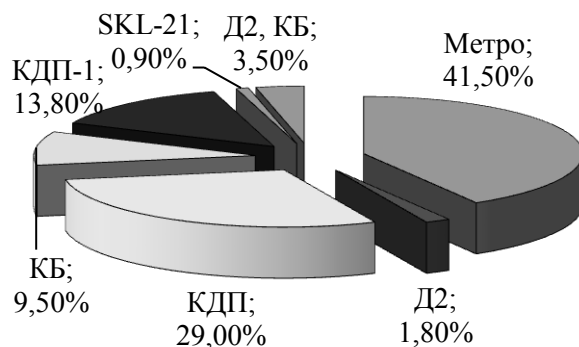


Рис. 17. Застосування конструкцій проміжних скріплень на лініях метрополітену

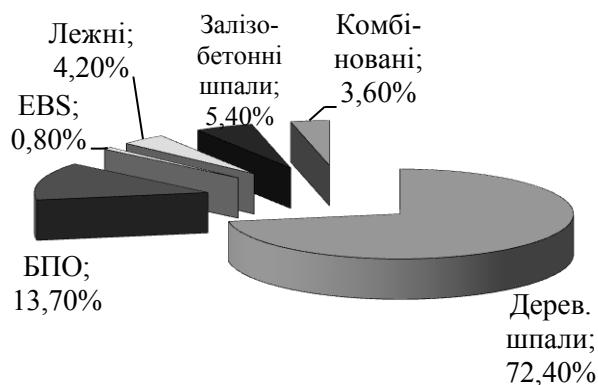


Рис. 18. Застосування конструкцій підрейкових опор на лініях метрополітену

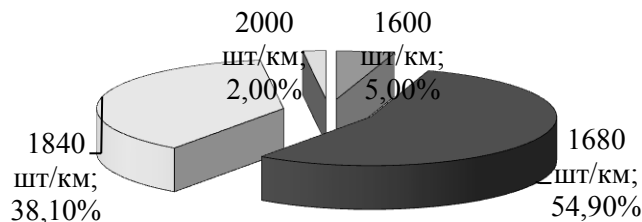


Рис. 19. Застосування епюр розміщення підрейкових опор на лініях метрополітену

Висновки та пропозиції

1. Основний тип рейки, що експлуатується на лініях метрополітену, Р 50 (70,5 %). Перехід на рейки типу Р65, які мають більший ресурс експлуатації, занадто складний технологічний процес з технічного та економічного боку. Тому для подовження строку експлуатації рейок типу Р 50 потрібно розробити низку технічних та технологічних заходів.

2. Як типову підрейкову основу на лініях київського метрополітену застосовуються дерев'яні шпали, які, незважаючи на цілу низку відомих переваг, мають один основний недолік – досить незначний термін служби, що спричиняє до великих затрат праці на їхню заміну та використання досить дорогої будівельної деревини. Для зменшення витрат на ремонтні роботи, витрат на закупівлю нових матеріалів, треба розглянути можливість поступового переходу на залізобетонні підрейкові опори. Особливо це стосується наземних ділянок колії, де проводиться місцева заміна непридатних дерев'яних шпал на залізобетонні, що призводить до створення різної вертикальної жорсткості колії по довжині та погіршення динаміки взаємодії з рухомим екіпажем.

3. На даний час у світовій практиці експлуатації рейкових скріплень переважають конструкції з пружними прутковими клемами без різьбо-гайкових з'єднань. На нових збудованих ділянках ліній метрополітену дані конструкції починають застосовуватися і складають 0,9 % від загальної кількості.

На лініях київського метрополітену переважають конструкції типу «Метро», КДП, які не достатньою мірою забезпечують оптимальну просторову пружність колії, витрати на поточне утримання і останнім часом досить актуальну вимогу – вібро-, шумоізоляцію, особливо на ділянках неглибокого закладання. Розроблення технічних заходів поступової заміни застарілих та неефективних конструкцій рейкових скріплень на нові, більш ефективні, дозволить зменшити витрати праці на поточне утримання та подовжити ресурс експлуатації інших конструктивних елементів ВБК.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Кравченко Н.Д.* Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов / Н.Д. Кравченко. – М.: Транспорт, 1994. – 143 с.
2. *Круглов М.В.* Унифицированный виброзащитный путь для метрополитенов / М.В. Круглов, Н.Д. Кравченко, Аксёнов Ю.Д., Богачёв А.Ю. // Путь и путевое хозяйство. – М., 2012. – Вып. 12. – С. 27 – 29.