

УДК 625.161.6:625.1.033

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН^{2*}, О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ³

¹Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОСТЕЙ КОЛІЇ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ

Мета. Перетин автомобільних доріг із залізницею в одному рівні – залізничний переїзд – є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниці та автодороги. Метою даної роботи є оцінка процесів виникнення та розвитку нерівностей колії у зоні переїзду й виявлення факторів, що їх спричиняють. **Методика.** Наявність відступів у плані й профілі в межах залізничного переїзду та на підходах до нього знижують плавність їзди і комфорт пасажирів. На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для проведення досліджень значної кількості ділянок за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все, враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагону. Однак цей засіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії, а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначити за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка складностей. **Результати.** Проведений статистичний аналіз показав стійку тенденцію накопичення нерівностей колії у зоні розташування переїзду. Як правило, рівень нерівностей у вертикальній площині зростає в 1,3–3,2 рази, та в 1,2–2,0 рази – в горизонтальній площині (у порівнянні з ділянками за межами переїзду). Під час прогину колії від дії рухомого складу в зоні переїзду залізобетонні плити працюють як ребра жорсткості, обмежуючи прогини рейкошпальної решітки. При розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи, приведені до точки контакту колеса, можуть відрізнятися до 3 разів. **Наукова новизна.** Набули подальший розвиток питання оцінки та дослідження розвитку нерівностей колії. Отримано статистичні дані щодо накопичення нерівностей колії у зоні переїзду. Надано аналітичні обґрунтування зміни характеристик напружено-деформаційної роботи колії в місці укладання переїзду. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів і підвищення рівня комфортабельності їзди.

Ключові слова: залізничний переїзд; верхня будова колії; нерівності колії; розрахунок колії на міцність; деформації колії; допустимі швидкості руху

Вступ

Нещодавно Україна підписала угоду про асоційоване членство України в Європейському Союзі (ЄС) [14]. Співробітництво між Україною та Європою має на меті сприяння реструктуризації, оновленню транспортного сектору України та входження його в європейську мережу залізниць, поступову гармонізацію чинних стандартів та політики до прийнятих у ЄС. Основним нормативним документом залізниць

Країн-членів є технічна специфікація інтероперабельності. Цей документ передбачає взаємодію між залізницями ЄС та встановлює жорсткі вимоги безпеки руху.

На сьогодні однією з умов розвитку економіки держави є підвищення ефективності функціонування транспортної системи. Першим кроком щодо підвищення якості транспортних послуг було введення прискореного руху поїздів на ділянках від Києва до Харкова, Донецька, Львова, а з 2014 року – на напрямках Київ – Одеса, Київ – Тернопіль, Дарниця – Трускавець

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

[4]. Разом з підвищенням швидкості руху поїздів виникла й інша проблема, пов'язана з обслуговуванням місць перетину залізничних і автомобільних транспортних потоків.

Перетин автомобільних доріг із залізницею в одному рівні – залізничний переїзд – є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниці і автодороги.

Відомо, що при реконструкції залізниці для впровадження швидкісного руху поїздів виконуються роботи з виправки колії в профілі і в плані. Якщо на ділянках між переїздами корегування плану виконується у межах основної площадки земляного полотна, то в зоні переїзду такі зсуви виконати складно, а тому часто перед і за переїзним настилом утворюються нерівності в плані, що призводить до зниження комфортабельності їзди. Іншою проблемою є додаткове навантаження на колію від автомобільного транспорту в зоні переїзду. У зв'язку з чим виникають ще й вертикальні нерівності. Якщо вони і не створюють небезпеки для руху поїздів, то впливають на плавність руху і знижують рівень комфортабельності їзди. Такі нерівності виявляються під час аналізу колієвимірювальних стрічок після проходження колієвимірювального вагона.

Мета

Метою цієї роботи є аналіз процесів виникнення і розвитку нерівностей в зоні переїзду та виявлення факторів, що їх спричиняють. А також розробка методики оцінювання характеру нерівностей в плані і профілі в зоні залізничного переїзду.

Методика

Під час здійснення модернізації колії повинні виконуватись такі роботи, як виправлення з постановкою колії у проектне положення в профілі, виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів, ремонт або перевлаштування переїздів [9]. Але за різних причин, перш за все фінансових, вищезазначені роботи не виконуються в повному обсязі, що впливає на плавність руху поїздів і не дозволяє

забезпечити якісний комфорт пасажиром. Запропоноване дослідження надає можливість порівнювати і оцінювати характер нерівностей в плані і профілі в зоні залізничного переїзду.

Аналіз проектів капітальних ремонтів і модернізації колії, а також натурні обслідування показали, що на підходах в зоні розташування переїздів виникають нерівності в плані, так звані «злами», які в деяких проектах не показують із-за відсутності відповідної нормативної бази. В той же час «злами», або кутове з'єднання прямих ділянок колії дозволяються на більшості залізниць світу. Наприклад, в Бельгії прийнято показувати «злами» з кутом до 2'4", в Німеччині – до 5'24". При куту повороту більше вказаних значень в нього повинна бути вписана кругова крива максимального радіуса з перехідними кривими. В Росії нормативи по кутових з'єднаннях є тільки на Октябрьській залізниці, на ділянці С-Петербург–Москва – при куті більше 7' вписується крива радіусом 10 000 м.

В нормативних документах Російської Федерації, наприклад у Технічних умовах на роботи з реконструкції (модернізації) і ремонту залізничної колії [12], рекомендуються малі кути повороту, що виникають під час експлуатації залізниці, усувати за умови збереження осі колії. У разі неможливості усунення «зламів» улаштовують криві радіусом не більше 4 000 м і довжиною не менше 20 метрів. В багатьох випадках, щоб виконати цю вимогу, вимушені улаштовувати S-подібні злами з вписуванням кривих радіусом по 4 000 м для виходу на малий кут повороту.

В нормативному документі ЦПТ-46/2 (РФ) [8] рекомендується криволінійні ділянки між прямими довжиною не менше 200 м і кутом повороту від 5 до 30 кутових мінут класифікувати як «кути повороту осі колії», а повороти більш коротких відрізків класифікувати як «нерівності плану колії». У другому випадку оцінку відступів в плані і профілі можна виконувати за технічними вказівками щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (ЦП-0267) [13]. Аналіз колієвимірювальних стрічок у межах переїздів і виконані розрахунки показали, що наявність нерівностей

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

у межах залізничного переїзду та на підходах до нього погіршують бальність залізничної колії: при III ступені відступу в плані і профілі – на 40 балів, при IV ступені – до 550 балів. Наявність відступів в плані і профілі в межах залізничного переїзду та на підходах до нього знижують плавність їзди і комфорт пасажирів з гарного на помірний.

При можливості вписування кривих максимального радіуса (в дослідженні прийнято радіуси від 4 000 до 10 000 метрів при мінімальній довжині кривої 20 м) і кутах повороту відповідно від 17 до 7 хвилин перехідні криві улаштувати неможливо. В такому випадку настає обмеження швидкості руху по критерію зміни непогашеного прискорення на довжині бази екіпажа [6, 10], а це означає, що максимальна швидкість руху не перевищує 125, 140, 155 і 165 км/год при радіусах кривої 4 000, 6 000, 8 000 і 10 000 метрів відповідно.

Зміна конструкції колії в межах переїзду буде впливати на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність руху і комфортабельність їзди. Такі задачі, як правило, вирішуються засобами сучасного математичного моделювання. Наприклад, відповідна модель взаємодії саме для умов наявності переїзду описана в роботах [19, 20]. Але для можливості таких розрахунків необхідні вихідні дані, що адекватно описують геометрію колії.

На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для виконання досліджень за значною кількістю ділянок і за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагона. Однак слід зазначити, що цей засіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії [13], а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначити за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка труднощів [5, 11, 15, 16].

Нерівності в плані колієвимірювального вагона визначає виміром стріли від несиметричної хорди. Якщо розглядати окрему локальну нерівність в колії з обрисом напівхвилі, то на стрічці вона буде відображатися трьома напівхвилями зі знаками, що чергуються. Причому амплітуда навіть центральної напівхвилі на запису,

а також її початок та кінець можуть не співпадати з дійсною нерівністю. В загальному вигляді обрис запису стріли при вимірюванні хордою можна подати як функцію відносно обрису нерівності

$$f(x) = y(x) - y(x+a) \frac{b}{a+b} - y(x-b) \frac{a}{a+b}, \quad (1)$$

де $y(x)$ – обрис нерівності в колії; a , b – довжини пліч хорди.

Співвідношення обрису нерівності в колії і її запису на стрічці перш за все буде залежати від відношення довжини нерівності до довжин пліч хорди. Для несиметричної хорди можливі чотири варіанти. Числові приклади наведені в табл. 1. Розміри плечей хорди були прийняті округлено 4 і 17 метрів (a і b у рівнянні (1) відповідно). Нерівність в колії задавалася у вигляді рівняння

$$y(x \in [0..e]) = A \sin^2 \left(\frac{x\pi}{e} \right), \quad (2)$$

де A і e – амплітуда і довжина нерівності відповідно.

Для вимірювання нерівності у вертикальній площині в колієвимірювальних вагонах зазвичай застосовується система з трьох роликів, яку можна подати як симетричну вимірювальну хорду. Числові приклади співвідношення обрису вертикальної нерівності на колії і обрису запису на колієвимірювальній стрічці наведено у табл. 2. Розміри плечей хорди було прийнято по 2,7 м.

Наведені у табл. 1 і 2 приклади показують відсутність однозначних правил повернення реального обрису нерівності в колії відносно запису на колієвимірювальній стрічці.

Результати

На колієвимірювальних стрічках, що були прийняті до аналізу, відокремлювались ділянки довжиною 30 м в зоні переїзду та на відстані 100 м до і після нього. Обчислення виконувались для нерівностей в горизонтальній (в плані) і у вертикальній площині. Приклад такої обробки наведено на рис. 1 і 2.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

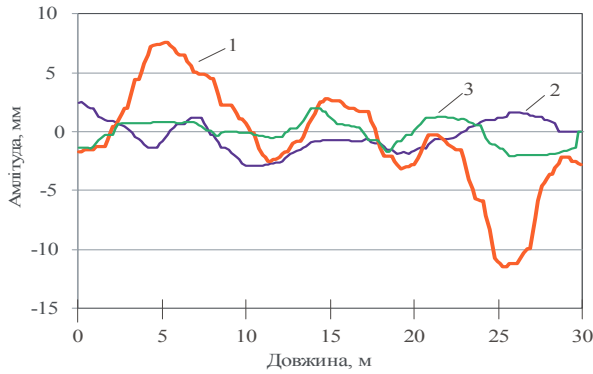


Рис. 1. Приклад запису нерівності в вертикальній площині:

1 – в зоні переїзду; 2, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

Fig. 1. An example of entry irregularities in the vertical plane:

1 – in the area of relocation; 2, 3 – at a distance of 100 m before and after moving accordingly



Рис. 2. Приклад запису нерівності в плані:

1 – в зоні переїзду; 2, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

Fig. 2. An example of entry inequality in terms of:

1 – in the area of relocation; 2, 3 – at a distance of 100 m before and after moving accordingly

Таблиця 1

Варіанти співвідношення обрису горизонтальної нерівності на колії і обрису запису на колісвимірвальній стрічці

Table 1

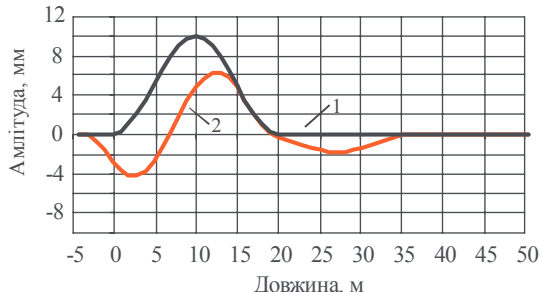
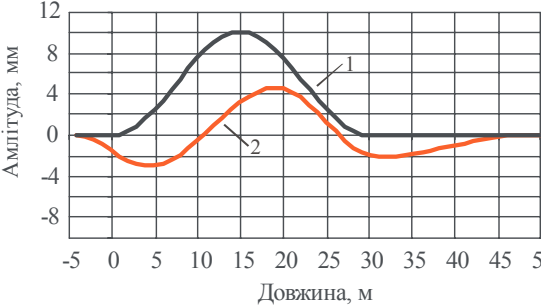
Variants of outlines ratio of the horizontal bumps in the road to outline recording on the track measuring tape

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
1	$e < a$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 3 \text{ м}$	
2	$e > a, e < b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 10 \text{ м}$	

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Закінчення табл. 1

End of table 1

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
3	$e > b, e < a + b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 20 \text{ м}$	
4	$e > a + b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 30 \text{ м}$	

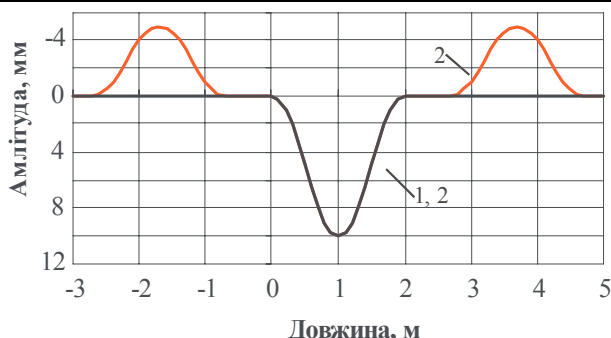
Примітка: 1 – обрис горизонтальної нерівності на колії; 2 – обрис запису на колієвимірювальній стрічці.

Таблица 2

Варіанти співвідношення обрисів вертикальної нерівності на колії і обрисів запису на колієвимірювальній стрічці

Table 2

Variants of outlines ratio the vertical bumps in the road to outline recording on the track measuring tape

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
1	$e < a/2$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 2 \text{ м}$	

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
2	$e > a/2, e < a$	$A = 10$ мм $e = 5$ м	
3	$e > a$	$A = 10$ мм $e = 10$ м	

Примітка: 1 – обрис вертикальної нерівності на колії; 2 – обрис запису на колієвимірювальній стрічці.

Відповідно до Технічних вказівок щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів [13] для якісної оцінки стану колії використовується бальна оцінка кілометра в цілому, для встановлення обмеження швидкості руху – окремі відступи або їх поєднання за ступенями. Для вирішення деяких задач, особливо пов'язаних з дослідними напрямками, такого підходу недостатньо [15, 16]. Для вирішення задачі дослідження впливу наявності переїзду на стан колії аналізувався такий показник, як площа, що обмежується нерівністю, записаною на стрічці колієвимірювального вагона, приведена до 1 м довжини. Надалі будемо називати цю характеристику показником відхилення.

Як приклад, для трьох ділянок з різними значеннями вантажонапруженості на рис. 3 і 4 наведено показники відхилення для вертикальної і горизонтальної площини.

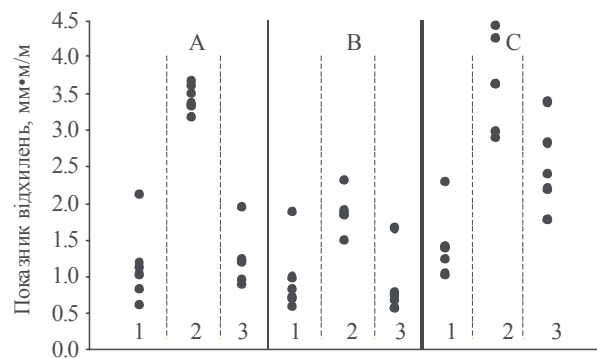


Рис. 3. Показник відхилення у вертикальній площині: 2 – в зоні переїзду; 1, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно; A, B, C – ділянки з вантажонапруженістю 75, 72 і 84 млн ткм/км бруто

Fig. 3. The rate of deviations in the vertical plane: 2 – in the area of relocation; 1, 3 – at a distance of 100 m before and after the move, accordingly; A, B, C – areas with working capacity 75, 72 and 84 million tkm/km gross

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

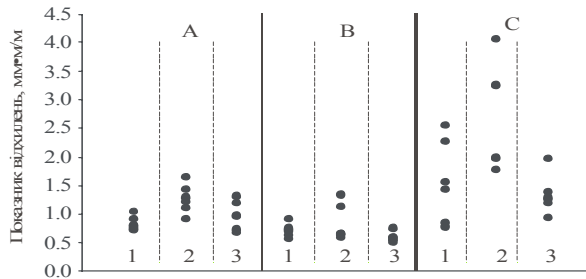


Рис. 4. Показник відхилень у горизонтальній площині:
2 – в зоні переїзду;
1, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно;
A, B, C – ділянки з вантажонапруженістю 75, 72 і 84 млн ткм/км бруто

Fig. 4. The rate of deviations in the horizontal plane:
2 – in the area of relocation;
1, 3 – at a distance of 100 m before and after the move, accordingly;
A, B, C – areas with working capacity 75, 72 and 84 million tkm/km gross

Виконаний статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання показника відхилень в зоні розташування переїзду. Як правило, показник відхилень зростає в 1,3–3,2 рази в вертикальній площині та в 1,2–2,0 рази у горизонтальній площині порівняно з ділянками за межами переїзду.

Вивчення процесів накопичення деформацій в залізничній колії в цілому і, звісно, оптимізація конструкції колії для їх мінімізації на сьогодні є важливою задачею, яка висвітлюється як у вітчизняних, так і закордонних працях, наприклад [7, 17, 18].

Дослідження показали, що для зони переїзду поява і розвиток відхилень в колії в основному є наслідком двох факторів: особливості виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

Розглянемо особливості конструкції колії в зоні переїзду, які впливають на характеристики її напружено-деформованого стану. Настил сучасного залізничного переїзду, як правило, складається з трьох рядів залізобетонних плит. Для двоколійної ділянки кожен ряд має шість плит, які укладаються до і після рейки і мають обпирання з жорстким кріпленням до залізобетонної шпали спеціальної конструкції, рис. 5. По довжині колії кожна плита прикріплена до п'яти шпал.

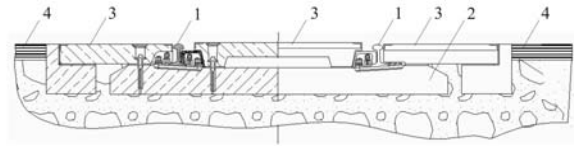


Рис. 5. Схема з'єднання плит зі шпалою на залізничному переїзді:

1 – рейка; 2 – залізобетонна шпала;
3 – залізобетонна плита; 4 – тротуарні плити

Fig. 5. The scheme of connecting the slabs with the sleeper at a railroad crossing:
1 – rake; 2 – concrete sleeper; 3 – concrete slab;
4 – paving slabs

Під час прогину колії від дії рухомого складу плити переїзду будуть працювати як ребра жорсткості, поєднуючи вздовж плити вертикальні переміщення шпал і відповідно рейки (з невеликою вільністю за рахунок наявності підкладок). Оцінити обриси прогину рейки в місці переїзду можна за допомогою залежностей, що використовуються в розрахунках колії на міцність [1]. Врахувати спільну роботу на прогин описаної вище конструкції можна представивши її як балку з відповідним значенням моменту інерції. В приведенні до однієї рейки і враховуючи чергування шпал і міжшпального простору було визначено значення моменту інерції поперечного перерізу у вертикальному напрямку $4 \cdot 10^5 \text{ см}^4$.

Тоді прогин рейки можна визначити за формулою

$$z(x) = \frac{Pk}{2U} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx), \quad (3)$$

де P – вертикальна сила, діюча на рейку; z – вертикальний прогин; x – відстань по рейці від точки прикладання сили; U – модуль пружності підрейкової основи; k – коефіцієнт відносної жорсткості

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (4)$$

де I – момент інерції балки; E – модуль пружності балки.

Приклад прогину рейки від вертикальної сили 100 кН для модуля пружності підрейкової основи 50 МПа наведено на рис. 6.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

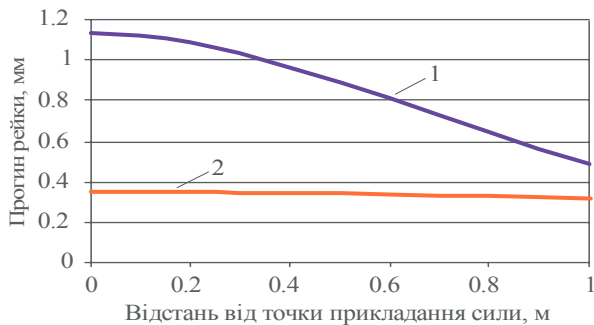


Рис. 6. Прогин рейки по довжині:

1 – звичайна колія; 2 – в межах переїзду

Fig. 6. The deflection of the rail length:

1 – normal gauge; 2 – within the move

Дійсний модуль пружності підшпальної основи в зоні переїзду буде залишатися таким самим, як і на іншій протяжності колії. При розташуванні навантаження в зоні переїзду можна прийняти розрахунковий модуль пружності підрейкової основи, який буде відповідати співвідношенню прогину (див. рис. 6) і діючої сили. Виходячи з цих міркувань, при розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи для них будуть відрізнятися приблизно в 3 рази. Така різниця набагато менша порівняно з тією, що має місце в зоні переходу від баластної конструкції колії до безбаластної (наприклад, залізничний міст). Все ж таки це може бути причиною появи і розвитку залишкових вертикальних деформацій колії (просадок) [3].

Вплив конструкції колії в зоні переїзду на формування модуля пружності колії в горизонтальній площині [2] не такий суттєвий. Основну роль у зростанні відповідного показника відхилень відіграють особливості в технології виконання рихтовочних робіт. Якщо на ділянках між переїздами корегування плану виконується у межах основної площадки земляного полотна, то в зоні переїзду такі зсуви виконати складно, а тому часто перед і за переїзним настилом утворюються нерівності в плані.

Наукова новизна і практична значимість

Набули подальший розвиток питання оцінки та дослідження розвитку нерівностей колії.

За результатами обробки статистичних даних отримані числові показники збільшення

рівня нерівностей колії в зоні переїзду. Обґрунтовано основні причини їх появи.

Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів і підвищення рівня комфортабельності їзди.

Висновки

Залізничний переїзд є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. У зонах переїзду виникають вертикальні і горизонтальні нерівності колії. Якщо вони і не створюють небезпеки для руху поїздів, то впливають на плавність руху і знижують рівень комфортабельності їзди.

На сьогодні основним засобом для зйомки натурної геометрії залізничної колії залишається стрічка колієвимірального вагона. Однак цей засіб ускладнює безпосереднє визначення точного геометричного положення колії.

Виконаний статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання нерівностей колії в зоні розташування переїзду. Як правило, рівень нерівностей в вертикальній площині зростає в 1,3–3,2 рази та в 1,2–2,0 рази у горизонтальній площині порівняно з ділянками за межами переїзду.

Дослідження показали, що поява і розвиток нерівностей в колії у зоні переїзду в основному є наслідком двох факторів: особливості технології виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

Під час прогину колії від дії рухомого складу в зоні переїзду його плити працюють як ребра жорсткості, обмежуючи прогини рейкошпальної решітки. При розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи, приведені до точки контакту колеса, можуть відрізнятися до 3 разів.

З наведених результатів випливає, що локальні зміни жорсткості колії, які мають місце на залізничних переїздах, мають вплив на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність руху і комфортабельність їзди.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Даниленко, Э. И. Теоретическое решение задачи по определению реального бокового модуля упругости пути, при совместном действии на рельсовую нить горизонтальных и вертикальных сил / Э. И. Даниленко, В. П. Велинец // Транспортні системи і технології : зб. наук. пр. Держ. економ.-технол. ун-ту трансп. – 2014. – № 24. – С. 106–122.
3. Курган, Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи / Д. М. Курган // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 90–99. doi: 10.15802/stp2015/38250.
4. Курган, Н. Б. Предпосылки создания высокоскоростных магистралей в Украине / Н. Б. Курган // Укр. залізничні. – 2015. – № 5–6. – С. 16–21.
5. Лапина, Л. Г. Анализ статистических характеристик просадок рельсовых нитей и построение базовых неровностей пути / Л. Г. Лапина // Техн. механика. – 2013. – № 1. – С. 17–24.
6. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізничі / М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 83–94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
7. Научные основы моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в современных условиях эксплуатации / М. М. Железнов, В. О. Певзнер, В. П. Соловьев, С. С. Надежин // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2014. – № 4. – С. 21–29.
8. Положение по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами-путеизмерителями, расчету рациональных параметров устройства кривых для их паспортизации : ЦПТ-46/2. – Москва : ОАО «РЖД», 2009. – 43 с.
9. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-коліїних робіт на залізницях України : ЦП-0287 / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко [та ін.]. – Київ : Деалта, 2015. – 45 с.
10. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236 / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов [та ін.]. – Київ, 2011. – 52 с.
11. Результаты эксплуатационных испытаний геометрически-силового метода оценки состояния пути. / В. С. Коссов, А. Л. Бидуля, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 97–104. doi: 10.15802/stp2013/17971.
12. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 02.05.2012 № 859 р. – Москва, 2012. – 310 с.
13. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірвальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук [та ін.] : затв. Наказом Укрзалізничі від 1.02.2012 № 033-Ц. – Київ : Транспорт України, 2012. – 25 с.
14. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/kmu/docs/EA/00_Ukraine-EU_Association_Agreement_%28body%29.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 7.09.2015.
15. Уманов, М. И. Совершенствование оценки состояния пути с использованием среднеквадратических отклонений его геометрических параметров / М. И. Уманов, А. М. Патласов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 109–114.
16. Ушкалов, В. Расчетные возмущения для оценки динамических качеств грузовых вагонов / В. Ушкалов, Л. Лапина, И. Машченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 135–144. doi: 10.15802/stp2013/16600.
17. Fischer, S. A vasúti zúzottkő ágyazat és a szemcsés kiegészítő rétegek alá beépített georácsok belső nyírési ellenállásának vizsgálata / S. Fischer // Sínek Világa. – 2014. – № 4. – P. 22–27.
18. Fischer, Sz. Investigation of the reinforcement and stabilisation effect of geogrid layers under railway ballast / Sz. Fischer, F. Horvát // Slovak J. of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 22–30. doi: 10.2478/v10189-011-0015-y.
19. Quantifying Rail-Highway Grade Crossing Roughness: Accelerations and Dynamic Modeling / T. Wang, R. R. Souleyrette, D. Lau [et al.] // Transportation Research Board : 94nd Annual

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- Meeting : № TRB15-4825. – Washington DC, USA. – 2015. – P. 2–11.
20. Rose, J. G. Rehabilitation Assessment and Management Practices to Ensure Long-Life, High-Performance Highway-Railway At-Grade Crossings / J. G. Rose, B. R. Malloy, R. R. Souleyrette // Proc. of the Joint Rail Conf. JRC 2014 (2.04–4.04.2014). – USA, 2014. – P. 3–14. doi: 10.1115/jrc2014-3761.

Н. Б. КУРГАН¹, Д. Н. КУРГАН^{2*}, О. Ф. ЛУЖИЦКИЙ³

¹Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта kunibog@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс. +38 (056) 373 15 42, эл. почта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ В ПРЕДЕЛАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

Цель. Пересечение автомобильных дорог с железной дорогой в одном уровне – железнодорожный переезд – является зоной повышенной опасности для железнодорожного и автомобильного транспорта. Почти половина всех переездов расположена на маршрутах основных пассажирских перевозок. Отсюда возникает проблема содержания и обслуживания мест пересечения железной дороги и автодороги. Целью данной работы является оценка процессов возникновения и развития неровностей пути в зоне переезда и выявление факторов, которые их вызывают. **Методика.** Наличие отступлений в плане и профиле в пределах железнодорожного переезда и на подходах к нему снижают плавность езды и комфорт пассажира. На сегодня существуют разные способы съемки натурной геометрии железнодорожного пути. Для проведения исследований большого количества участков за длительный срок их эксплуатации наиболее удобным, прежде всего, учитывая регулярность заездов, остается лента путеизмерительного вагона. Однако этот способ направлен на оценку состояния железнодорожного пути, а не для определения точного геометрического положения. Так, при попытке определить по путеизмерительным лентам действительные очертания неровностей пути возникает ряд сложностей. **Результаты.** Проведенный статистический анализ показал устойчивую тенденцию накопления неровностей пути в зоне расположения переезда. Как правило, уровень неровностей в вертикальной плоскости возрастает в 1,3–3,2 раза, и в 1,2–2,0 раза – в горизонтальной плоскости (по сравнению с участками, находящимися за пределами переезда). Во время прогиба пути от действия подвижного состава в зоне переезда железобетонные плиты работают как ребра жесткости, ограничивая прогиб рельсошпальной решетки. При расположении колес тележки до (или после) и в пределах переезда расчетные модули упругости подрельсового основания, приведенные к точке контакта колеса, могут отличаться до 3 раз. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие вопросы оценки и исследования развития неровностей пути. Получены статистические данные по накоплению неровностей пути в зоне переезда. Предоставлены аналитические обоснования изменения характеристик напряженно-деформационной работы пути в месте расположения переезда. **Практическая значимость.** Полученные результаты будут полезны для проведения мероприятий по улучшению плавности движения поездов и повышению уровня комфортабельности езды.

Ключевые слова: железнодорожный переезд; верхнее строение пути; неровности пути; расчет пути на прочность; деформации пути; допустимые скорости движения

M. B. KURHAN¹, D. M. KURHAN^{2*}, O. F. LUZHITSKYI³

¹Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 48, e-mail oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

INEQUALITIES RESEARCH OF THE TRACK AT THE RAILROAD CROSSINGS

Purpose. The intersection of highways and railways in one level – railway crossing, is a zone of increased danger for rail and road transport. Nearly half of all crossings are available on the main directions of passenger transportation. From this comes the problem of maintenance and service locations of intersection roads and railways. The purpose of this work is to evaluate the processes of emergence and development of inequalities in the area of railroad crossings and identify the factors that cause them. **Methodology.** The presence of derogation from the plan and profile within the railway crossing and approaches to it reduces evenness of riding and passenger comfort. Today, there are various possibilities for shooting natural geometry of a railway track. For research on a large number of areas during long service life, the tape of a track measuring car remains the most convenient. However, this tool is directed to assess the state of the railway line and does not determine the exact geometrical position. When trying to determine valid outlines of the track inequalities on track measuring tape, some difficulties arise. **Findings.** Performed statistical analysis showed a steady trend of growth of inequalities in the area of the railway crossings. Generally, the level of inequalities in the vertical plane increases in 1.3–3.2 times and in 1.2–2.0 times in the horizontal plane (compared with areas that are outside crossing). During the deflection lines of action in the area of railroad crossing concrete slabs work as ribs that limit deflections of rail-tie grating. When placing the wheels of the bogie before (or after) and within crossing the calculated modulus of elasticity under the rail base, brought to the point of wheels contact can vary up to 3 times. **Originality.** Issues of the assessment and investigation of inequalities on track started to be developed. The resulting statistics on inequalities accumulation gauge in the zone of crossing were obtained. Analytical research changes in the characteristics of stress and deformation of the track at the site of the conclusion of the railway crossing were presented. **Practical value.** Obtained results will be useful for measures to improve the evenness riding of trains and increase the comfort level of passengers.

Keywords: railroad crossings; permanent way; inequalities of a track; the strength calculation of a track; deformation of a track; the permissible speed of movement.

REFERENCES

1. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [Calculation rules of a railway track for strength and stability. TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 64 p.
2. Danilenko E.I., Velinets V.P. Teoreticheskoye resheniye zadachi po opredeleniyu realnogo bokovogo modulya uprugosti puti, pri sovmestnom deystvii na relsovyuyu nit gorizontalnykh i vertikalnykh sil [The theoretical solution to the problem of the real side of the elastic modulus of the track determination, in a joint action on a rail thread horizontal and vertical forces]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu «Transportni systemy i tekhnologii»* [Proc. of the State Economic and Technological University «Transport Systems and Technologies»], 2014, no. 24, pp. 106-122.
3. Kurhan D.M. Do vyrishennia zadach rozrakhunku kolii na mitsnist iz urakhuvanniam nerivnopruzhnosti pidreikovoї osnovy [To the solution of problems about the railways calculation for strength taking into account unequal elasticity of the subrail base]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 1 (55), pp. 90-99. doi: 10.15802/stp2015/38250.
4. Kurgan N.B. Predposylki sozdaniya vysokoskorostnykh magistralej v Ukraine [Background of the high-speed railways establishment in Ukraine]. *Ukrainski zaliznytsi – Ukrainian Railways*, 2015, no. 5-6, pp. 16-21.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

5. Lapina L.G. Analiz statisticheskikh kharakteristik prosadok relsovykh nitey i postroeniye bazovykh nerovnostey puti [The analysis of the statistical characteristics of the rail lines sag and the construction of the track irregularities base]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical Mechanics*, 2013, no. 1, pp. 17-24.
6. Kurhan M.B., Kurhan D.M., Khmelevska N.P., Baidak S.Yu. Metodyka vyznachennia dopustymykh shvydkostei rukhu poizdiv na skladnykh diliankakh planu zaliznytsi [Methodology of determination of admissible speeds of train movement on difficult sections of railroad plan]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 83-94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
7. Zheleznov M.M., Pevzner V.O., Solovev V.P., Nadezhin S.S. Nauchnyye osnovy modelirovaniya vzaimod-eystviya puti i podvizhnogo sostava v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii [The scientific basis of modeling the interaction of the way and rolling stock in modern conditions]. *Byulleten Obedinennogo Uchenogo Soveta OAO «RZhD»* [Bulletin of the United Scientific Council of JSC «RR»], 2014, no. 4, pp. 21-29.
8. *Polozheniye po otsenke fakticheskikh parametrov ustroystva krivykh uchastkov puti vagonami puteizmeritelyami, raschetu ratsionalnykh parametrov ustroystva krivykh dlya ikh pasportizatsii. TsPT-46/2* [Statutes for the assessment of actual parameters of the device curves sections of track by the track recording cars, the rational parameters calculation of the device curves for their certification. TsPT-46/2]. Moscow, OAO «RZhD» Publ., 2009. 43 p.
9. Babenko A., Lynnyk H., Moiseienko K. *Polozhennia pro provedennia planovo-zapobizhnykh remontno-koliinykh robit na zaliznytsiakh Ukrainy. TsP-0287* [Statutes of scheduled preventive maintenance repair and track work on the railways of Ukraine. TsP-0287]. Kyiv, Devalta Publ., 2015. 45 p.
10. Kurhan M.B., Orlovskiy A.M., Patlasov O.M. *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh diliankakh kolii. TsP-0236* [The rules for determining the elevation of the outer rail and the establishment of permissible velocities in the curved track. TsP-0236]. Kyiv, 2011. 52 p.
11. Kossov V.S., Bidulya A.L., Krasnov O.G., Akashev M.G. Rezultaty ekspluatatsionnykh ispytaniy geometricheski-silovogo metoda otsenki sostoyaniya puti [The field test results of geometric-force method for track state estimation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 97-104. doi: 10.15802/stp2013/17971.
12. *Tekhnicheskyye usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti* [Technical specifications for the reconstruction (modernization) and repair of railway tracks]. Moscow, 2012. 310 p.
13. Patlasov O.M., Rybkin V.V., Paleichuk Yu.V. *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy koliivymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii. TsP-0267* [Technical guidance on the assessment of the rail track condition on indicators track measuring cars and ensure the safe movement of trains with departures from the norms of the track. TsP-0267]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2012. 25 p.
14. *Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, yevropeiskym spivtovarystvom z atomnoi enerhii i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony* [The Association agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, with the European Atomic Energy Community and their member States, on the other hand]. Available at: http://www.kmu.gov.ua/kmu/docs/EA/00_Ukraine-EU_Association_Agreement_%28body%29.pdf (Accessed 7 September 2015).
15. Umanov M.I., Patlasov A.M. Sovershenstvovaniye otsenki sostoyaniya puti s ispolzovaniyem srednekvadrateskikh otkloneiy yego geometricheskikh parametrov [Improving the estimation of track condition using standard deviations of its geometrical parameters]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 109-114.
16. Ushkalov V., Lapina L., Mashchenko I. Raschetnyye vozmushcheniya dlya otsenki dinamicheskikh kachestv gruzovykh vagonov [Calculated disturbances for the evaluation of dynamical properties of freight cars]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 135-144. doi: 10.15802/stp2013/16600.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

17. Fischer Sz, Horvát F. Investigation of the reinforcement and stabilisation effect of geogrid layers under railway ballast. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2011, vol. 19, issue 3, pp. 22-30. doi: 10.2478/v10189-011-0015-y.
18. Fischer S. A vasúti zúzottkő ágyazat és a szemcsés kiegészítő rétegek alá beépített georácsok belső nyírási ellenállásának vizsgálata. *Sínek Világa*, 2014, no. 4, pp. 22-27.
19. Wang T., Souleyrette R.R., Lau D. Quantifying Rail-Highway Grade Crossing Roughness: Accelerations and Dynamic Modeling. Transportation Research Board 94nd Annual Meeting. № TRB15-4825. Washington DC, USA, 2015. 11 p.
20. Rose J.G., Malloy B.R., Souleyrette R.R. Rehabilitation Assessment and Management Practices to Ensure Long-Life, High-Performance Highway-Railway At Grade Crossings. Proc. of the Joint Rail Conf. JRC 2014 (2.04–4.04.2014). USA, 2014. 14 p. doi: 10.1115/jrc2014-3761.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. А. Босовим (Україна); д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна)

Надійшла до редколегії 18.06.2015

Прийнята до друку 31.08.2015