

При поддержке:



Одесский национальный морской университет  
Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта  
Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт морского флота  
Институт морехозяйства и предпринимательства  
Луганский государственный медицинский университет  
Харьковская медицинская академия последипломного образования  
Бельцкий Государственный Университет «Алеку Руссо»  
Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук

Входит в международную наукометрическую базу  
РИНЦ SCIENCE INDEX

**Международное периодическое научное издание**

International periodic scientific journal

**SW** **Научные труды**  
Scientific papers  
**o r l d**

**Выпуск №3 (40), 2015**

Issue №3 (40), 2015

Том 1  
*Транспорт*  
*Технические науки*

Иваново  
«Научный мир»  
2015

УДК 08  
ББК 94  
Н 347

**Главный редактор:** *Гончарук Сергей Миронович*, доктор технических наук, профессор, Академик

**Редактор:** *Маркова Александра Дмитриевна*

**Председатель Редакционного совета:** *Шибает Александр Григорьевич*, доктор технических наук, профессор, Академик

**Научный секретарь Редакционного совета:** *Куприенко Сергей Васильевич*, кандидат технических наук

**Редакционный совет:**

*Аверченков Владимир Иванович*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Антонов Валерий Николаевич*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Быков Юрий Александрович*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Захаров Олег Владимирович*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Капитанов Василий Павлович*, доктор технических наук, профессор, Украина

*Калайда Владимир Тимофеевич*, доктор технических наук, профессор, Академик, Россия

*Коваленко Петр Иванович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Копей Богдан Владимирович*, доктор технических наук, профессор, Украина

*Косенко Надежда Федоровна*, доктор технических наук, доцент, Россия

*Круглов Валерий Михайлович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Россия

*Кудерин Марат Крыкбаевич*, доктор технических наук, профессор, Казахстан

*Ломотько Денис Викторович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Лебедев Анатолий Тимофеевич*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Макарова Ирина Викторовна*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Морозова Татьяна Юрьевна*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Рокочинский Анатолий Николаевич*, доктор технических наук, профессор, Украина

*Ромащенко Михаил Иванович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Павленко Анатолий Михайлович*, доктор технических наук, профессор, Украина

*Пачурин Герман Васильевич*, доктор технических наук, профессор, Академик, Россия

*Першин Владимир Федорович*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Пиганов Михаил Николаевич*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Поляков Андрей Павлович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Попов Виктор Сергеевич*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Семенов Георгий Никифорович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Сухенко Юрий Григорьевич*, доктор технических наук, профессор, Украина

*Устенко Сергей Анатольевич*, доктор технических наук, доцент, Украина

*Хабидуллин Рифат Габдулхакович*, доктор технических наук, профессор, Россия

*Червоный Иван Федорович*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Шайко-Шайковский Александр Геннадьевич*, доктор технических наук, профессор, Академик, Украина

*Щербань Игорь Васильевич*, доктор технических наук, доцент, Россия

*Кириллова Елена Викторовна*, кандидат технических наук, доцент, Украина

---

Н 347 **Научные** труды SWorld. – Выпуск 3(40). Том 1. – Иваново: Научный мир, 2015 – 80 с.

*Журнал предназначается для научных работников, аспирантов, студентов старших курсов, преподавателей, предпринимателей. Выходит 4 раза в год.*

*The journal is intended for researchers, graduate students, senior students, teachers and entrepreneurs. Published quarterly.*

**УДК 08  
ББК 94**

© Коллектив авторов, 2015



при одновременном решении актуальных проблем экологии. Это удалённые от центра труднодоступные регионы Севера и Дальнего Востока.

Планы по развитию Северного морского пути могут получить значительную энергетическую поддержку, по крайней мере, на начальных этапах при использовании мобильных плавучих ПЭС, оборудуемых на базе несамоходных судов, барж, в том числе бывших в употреблении. Изготовление таких МППЭС экономически не затратно. Они не требовательны к территории размещения, не имеют “привязки” к стационарным линиям электропередач, легко буксируемы и могут устанавливаться практически в любых районах промысла биоресурсов и разведки ископаемых, в труднодоступных прибрежных поселениях, в которых прокладка традиционных ЛЭП экономически нерентабельна или невозможна.

Литература:

1. Усачев, И. Н. Приливные электростанции (ПЭС) - источник энергии, запаасаемый в водороде. / И. Н. Усачев, Ю. Б. Шполянский, Б. Л. Историк и др. // [http://h2forum2008.ru/docs/pdf/abstracts/5\\_3\\_21.pdf](http://h2forum2008.ru/docs/pdf/abstracts/5_3_21.pdf).

2. Бернштейн Л. Б, Силаков В. Н., Усачев И. Н. и др. Приливные электростанции. - М. : АО «Институт Гидропроект», – 1994.

Статья отправлена: 29.09.2015

© Борисова Л.Ф., Коробко А.Н.

**ЦИТ: 315-185**

**УДК 625.42**

**Фаст Д.А.**

## **РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНОЇ ШПАЛИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ У ТУНЕЛІ МЕТРОПОЛІТЕНУ**

*Український державний університет залізничного транспорту,  
Харків, пл. Фейербаха 7, 61050*

**Fast D.A.**

## **STRENGTH CALCULATION OF WOODEN RAILROAD TIE AND DETERMINATION OF ITS CARRYING CAPACITY IN THE TUNNEL OF UNDERGROUND**

*Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Feerbacha sq. 7, 61050*

*Анотація. Досліджено напружено-деформований стан дерев'яної шпали у тунелі метрополітену, яка омонолічена у колійному бетоні. Для цього було використано відому методу розрахунку згідно з Правилами розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. Складено модель та розрахункову схему для залізничної колії в умовах експлуатації в тунелі метрополітену. За допомогою програмного комплексу «Лира 9.6» було також розраховано шпалу з урахуванням заповнення порожнин і тріщин пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т в різних місцях її поперечного перерізу: у верхній половині поперечного перерізу; у нижній половині поперечного перерізу; у центрі*



поперечного перерізу.

Ключові слова: дерев'яна шпала метрополітену, розрахунок, міцність, напруження, модуль пружності

*Abstract. In this work investigational tensely deformed consisting of wooden railroad tie of tunnel of underground passage, what lies in a travel concrete. For this known technique has been used for calculating according to the "Rules of calculation of railway track for strength and stability". Compiled model and calculation scheme for railway tracks in operation in a tunnel underground. Using program complex «Lira 9.6» was also calculated railroad ties considering filling cavities and cracks acrylic plastic hardening AST-T in different parts of the cross-section, the upper half of the cross-section; in the bottom half of the cross-section; in the center of the cross section.*

*Key words: wooden railroad tie of underground passage, calculation, strength, tensions, elastic modulus*

### **Вступ.**

У великих містах найбільш зручним і економічним видом пасажирського транспорту є підземні залізниці, найважливішою перевагою яких є велика швидкість перевезення та здатність освоювати масові пасажиропотоки. Очевидні переваги підземного громадського транспорту створюють передумови для його безперервного розвитку та удосконалення.

На магістральних ділянках залізниць основну частину дерев'яних шпал замінено залізобетонними. Вони мають більші терміни служби, забезпечують постійну ширину колії, менше піддаються атмосферним впливам і вимагають менших витрат на утримання. Але в умовах експлуатації в тунелях метрополітену, де баластом під рейко-шпальну решітку є монолітна бетонна основа, використання залізобетонних шпал ускладнюється збільшеною жорсткістю основи. Тому для метрополітену найбільш ефективною є конструкція колії на дерев'яних шпалах.

### **Огляд літератури.**

Проблеми утримання колії у тунелях метрополітену були розглянуті у роботах М.Д. Кравченка [1], О.В. Замуховського [2], М.П. Бассарського [3], В.С. Лисюка [4]. Розрахунку залізничної колії на міцність у різних умовах присвячені роботи Е.І. Даніленка [5, 6], В.В. Рибкіна [5], М.Ф. Веріго, А.Я. Когана [7], Л.В. Клименка [8]. Однак, не розглядалися питання визначення несучої здатності дерев'яних шпал у тунелі метрополітену з урахуванням заповнення порожнин і тріщин полімерним матеріалом при відновленні їх експлуатаційних властивостей.

### **Вхідні дані і методи.**

В інженерній практиці часто зустрічаються балки, що лежать на суцільній пружній основі. До таких конструкцій відносяться шпали й рейки залізничної колії, стрічкові фундаменти будинків, що опираються на ґрунти та ін. Дерев'яні шпали у тунелі метрополітену частково омонолічені у колійний бетон, тому по довжині мають змінний коефіцієнт постелі [9]. Вони мають вигляд балки, що опирається на бетонну основу уздовж 2/3 довжини шпали (рис. 1).



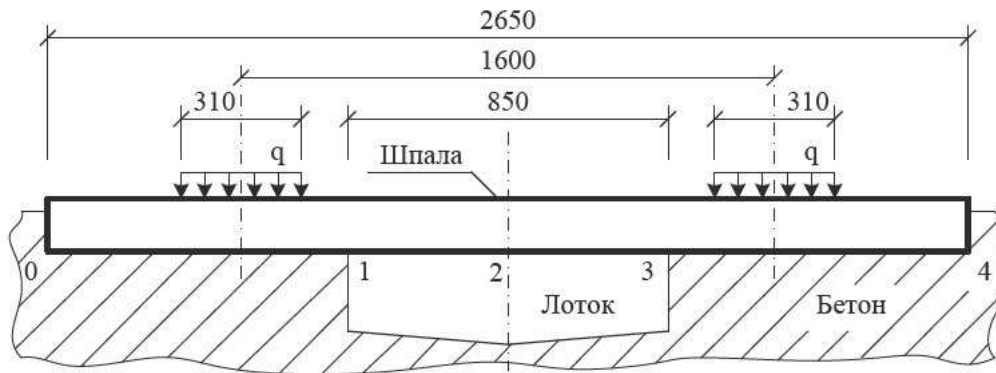


Рис. 1. Поздовжній розріз дерев'яної шпали у тунелі метрополітену

Розрахунок даної конструкції необхідно виконувати на міцність при роботі шпали на стиск згідно "Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість" [5]. Теоретичними дослідженнями в цій галузі займалося багато вчених, серед яких професори В.І. Ангелейко, Н.М. Біляєв, М.Ф. Веріго, В.Н. Данілов, Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін, О.П. Єршков, А.Я. Коган, М.А. Фрішман, Г.М. Шахунянц, В.Ф. Яковлев, М.А. Чернишов, Л.В. Клименко [6-9].

Під дією рухомого складу в елементах верхньої будови колії виникають напруження та деформації. Залежність їх від сил, що впливають на колію, є складною та не піддається точному визначенню. Тому у розрахунку залізничної колії у тунелі метрополітену на міцність приймаються передумови відповідно до існуючих Правил [5].

Для вирішення завдання з її розрахунку необхідно створити розрахункову схему та модель колії метрополітену, які показано на рис. 2.

Для визначення вертикальних сил, що діють на підрейкову підкладку проміжного рейкового скріплення типу "Метро", для наступного конструювання альтернативних конструкцій підрейкової основи, замість заміни дерев'яних шпал (гнилих і трухлявих), необхідно, по-перше, підрахувати величину вертикального модуля пружності підрейкової основи  $U$  безбаластної залізничної колії на дерев'яних шпалах у тунелі метрополітену.

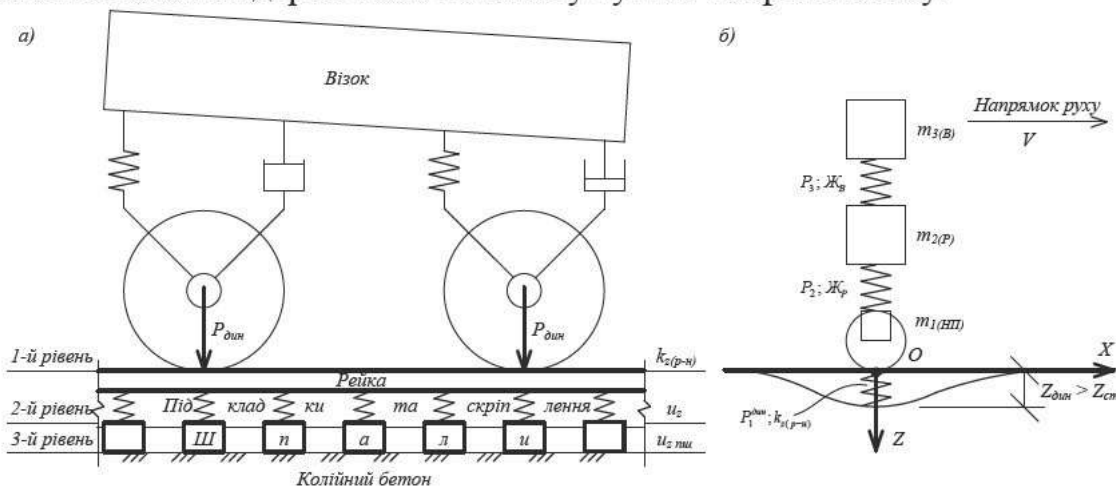


Рис. 2. Модель колії метрополітену для розрахунків на міцність (а) та розрахункова схема (б)



Якщо розглянути одношарову конструкцію підрейкової основи, то на підставі закону Гука можна записати, що напруження, які виникають у матеріалі  $\sigma_i$  є пропорційними величині відносної деформації матеріалу  $\varepsilon_i$

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_i, \quad (1)$$

де  $E_i$  – модуль пружності матеріалу.

Відомо, що відносна деформація може бути визначена як відношення абсолютної деформації  $y_i$  до початкового лінійного розміру матеріалу  $h_i$

$$\varepsilon_i = \frac{y_i}{h_i}. \quad (2)$$

Якщо об'єднати вирази (1) і (2), то одержимо наступне

$$\sigma_i = \frac{y_i}{h_i} \cdot E_i. \quad (3)$$

Але відношення  $E_i / h_i = C_i$  – коефіцієнт постелі матеріалу. Якщо матеріал або конструкція розглянутого матеріалу не мав певних пружних характеристик  $E_i$ , що знаходиться під дією сили  $D$ , яка створює його деформацію  $y = 1$  см, то можемо записати

$$D_i = C_i \cdot \omega_i, \quad (4)$$

де  $\omega_i$  – площа обпирання конструкції.

За наявності декількох шарів у конструкції рейкового скріплення – дерев'яної прокладки, гумової прокладки і самої дерев'яної шпали, можна записати, що справедливо буде визначити загальну величину сили  $D$  наступним чином

$$D = \frac{1}{\sum \frac{1}{D_i}} = \frac{1}{\frac{h_{pn}}{\omega_{pn} \cdot E_{pn}} + \frac{h_{dn}}{\omega_{dn} \cdot E_{dn}} + \frac{h_{uu}}{\omega_{uu} \cdot E_{uu}}}, \quad (5)$$

де  $\omega_{dn}$  – площа дерев'яної прокладки,  $\omega_{dn} = 510 \text{ см}^2$ ;

$\omega_{pn}$  – площа підрейкової прокладки,  $\omega_{pn} = 210 \text{ см}^2$ ;

$\omega_{uu}$  – площа опорної поверхні частини шпали, на яку поширюється навантаження,  $\omega_{uu} = 2500 \text{ см}^2$ ;

$E_{pn}$  – модуль пружності гуми при стисканні,  $E_{pn} = 111 \text{ кг/см}^2$ ;

$E_{dn}$  – модуль пружності дерев'яної фанерної прокладки,  $E_{dn} = 27000 \text{ кг/см}^2$ ;

$E_{uu}$  – модуль пружності деревини при стисканні поперек волокон,  $E_{uu} = 5700 \text{ кг/см}^2$ ;

$h_{pn}$  – товщина гумової прокладки,  $h_{pn} = 0,5 \text{ см}$ ;

$h_{dn}$  – товщина дерев'яної прокладки,  $h_{dn} = 1 \text{ см}$ ;

$h_{uu}$  – товщина дерев'яної шпали,  $h_{uu} = 16 \text{ см}$ .

$$D = \frac{1}{\frac{0,5}{210 \cdot 111} + \frac{1}{510 \cdot 27000} + \frac{16}{2500 \cdot 5700}} = 44159 \text{ кгс/см} = 43305 \text{ кН/м}.$$

Величина вертикального модуля пружності підрейкової основи безбаластної залізничної колії на дерев'яних шпалах у тунелі метрополітену без урахування пружних характеристик колійного бетону марки 150 і тунельного оброблення становить наступну величину



$$U = \frac{D}{L}, \quad (6)$$

де  $L$  – відстань між осями сусідніх шпал у кривих ділянках колії при епюрі 1840 шт./км.,  $L = 0,54$  м.

$$U = \frac{43305}{0,54} = 80194,5 \text{ кН/м}^2.$$

Для визначення розрахункового навантаження на півшпалу використовуємо загальноприйнятту методику розрахунку колії на міцність від дії рухомого складу метрополітену. За відомих характеристик верхньої будови колії та параметрів рухомого складу метрополітену було виконано необхідні розрахунки для визначення максимально-ймовірного динамічного тиску колеса на головку рейки та нормальних напружень, що виникають на шпалі.

Розрахункові нормальні напруження під підкладкою визначаються за формулою

$$\sigma_u = \frac{Q}{\omega_n}, \quad (7)$$

де  $\omega_n$  – площа підкладки,  $\omega_n = 0,0496 \text{ м}^2$ .

$$\sigma_u = \frac{43}{0,0496} = 867 \text{ кН/м}^2 < [\sigma_u] = 2200 \text{ кН/м}^2.$$

Для підтвердження результатів, отриманих при розрахунку дерев'яної шпали метрополітену за "Правилами розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість", виконаємо моделювання верхньої будови колії у тунелі на колійному бетоні та її розрахунок за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі "Лира 9.6".

За допомогою програмного комплексу було також розраховано шпалу з урахуванням заповнення порожнин і тріщин пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т в різних місцях її поперечного перерізу: у верхній половині поперечного перерізу; у нижній половині поперечного перерізу; у центрі поперечного перерізу.

**Результати. Обговорення і аналіз.** Для отримання значень напружень використовується теорія міцності найбільших нормальних напружень. В результаті отримаємо величини найменших, середніх та найбільших головних напружень у вигляді ізополів. Для оцінки міцності та порівняння з результатами ручного розрахунку вибираємо найбільші значення, що відповідають ізополям найбільших головних напружень. Результати розрахунків зводимо у табл. 1.

Таблиця 1

**Напруження у розрахунковій шпалі за результатами ручного розрахунку та у програмному комплексі "Лира 9.6"**

Вид поперечного перерізу	Максимальне напруження, кН/м <sup>2</sup>	Місце концентрації максимальних напружень у шпалі
Шпала, розрахована вручну	867	Під підкладкою



Шпала із суцільної деревини	884	По всій площі підкладки на половину товщини шпали
Шпала з полімером у верхній частині	881	
Шпала з полімером у нижній частині	879	
Шпала з полімером у центрі перерізу	879	

**Заклучення і висновки.** Порівнюючи отримані результати за допомогою програмного комплексу "Лира 9.6" з результатами розрахунку колії метрополітену на міцність згідно "Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість", можна зробити висновок, що похибка становить не більше 2%. Виходячи з цього, використання методики розрахунку залізничної колії, відповідно до даних правил, правомірним для верхньої будови колії у тунелі метрополітену на дерев'яних шпалах. Порівняння результатів, отриманих для дерев'яних шпал із суцільної деревини та із заповненням порожнеч і тріщин пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т, показує можливість її використання для відновлення їх експлуатаційних властивостей.

#### Література:

1. Кравченко Н. Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов / Н. Д. Кравченко. – М. : Транспорт, 1994. – 143 с.
2. Замуховский А. В. Шпалы-коротыши в путевом бетоне / А. В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 24–26.
3. Бассарский М. П. Эксплуатация деревянных шпал в тоннелях метрополитена / М. П. Бассарский // Совершенствование конструкции железнодорожного пути метрополитенов : труды ВНИИЖТ. – М., 1981. – С. 63–75.
4. Лысюк В. С. Износ деревянных шпал и борьба с ним : труды ЦНИИ МПС / В. С. Лысюк. – М., 1971. – № 445. – 224 с.
5. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України. – 2006. – 168 с.
6. Даніленко Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]: в 2 т. / Даніленко Е. І. – К. : Інпрес, 2010. – Том 2. – 456 с.
7. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 559 с.
8. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь: учеб. [для студ. высш. учеб. завед. ж.-д. трансп.] / Шахунянц Г. М. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.
9. Клименко Л. В. Расчет пути с учетом неравноупругости подрельсового основания / Л. В. Клименко // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 9. – С. 34–35.

Стаття відправлена: 29.09.2015 р.

© Фаст Д.А.