

## ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ

Показано тенденції застосування сучасної цифрової техніки для проведення експериментальних досліджень впливу на колію рухомого складу. Розглянута можливість визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами вимірювань напружень в рейках.

*Ключові слова:* цифрова техніка, напруження в рейках, модуль пружності

Показаны тенденции применения современной цифровой техники для проведения экспериментальных исследований воздействия на путь подвижного состава. Рассмотрена возможность определения модуля упругости подрельсового основания по результатам измерений напряжений в рельсах.

*Ключевые слова:* цифровая техника, напряжения в рельсах, модуль упругости

Tendencies application of modern digital technics for carrying out of experimental researches of influence on a rolling stock way are shown. Possibility definition of the module elasticity of the basis under a rail by results of measurements pressure in rails is considered.

*Keywords:* digital technics, pressure in rails, elasticity module

Колієвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія ДНУЗТу проводить переобладнання технічної бази для виконання експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу за допомогою сучасної вимірювальної техніки. Вимірювання напружень в елементах колії і їх деформацій відтепер відбувається за допомогою сучасного тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц», рис. 1.

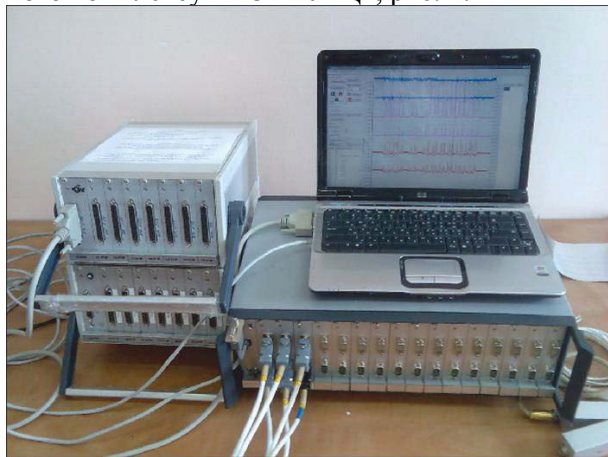


Рис. 1. Елементи тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц»

Розроблений тензометричний комплекс «ПОНІЛ-Ц» на даний час не уступає за своїми характеристикам обладнанню таких відомих виробників як «НВМ», «DaqScribe», «L-Card».

Але дуже важливим є той факт, що дане обладнання розроблено в Україні і має можливість реєструвати різні фізичні величини: напруження, лінійні переміщення, навантаження, сили. При необхідності можливо додатково ви-

мірювати прискорення, вібрацію та кутові переміщення.

На базі тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц» можливо реалізовувати рейкові стенди для виявлення повзунів, визначення фактичного завантаження вагонів, визначення «шальних» візків, несправностей рухомого складу та інше.

Даний тензометричний комплекс повністю керується за допомогою програмного забезпечення, яке розроблене силами Колієвипробувальної лабораторії та кафедри «Колія та колійне господарство», фрагмент інтерфейсу з відображенням осцилограм показано на рис. 2.

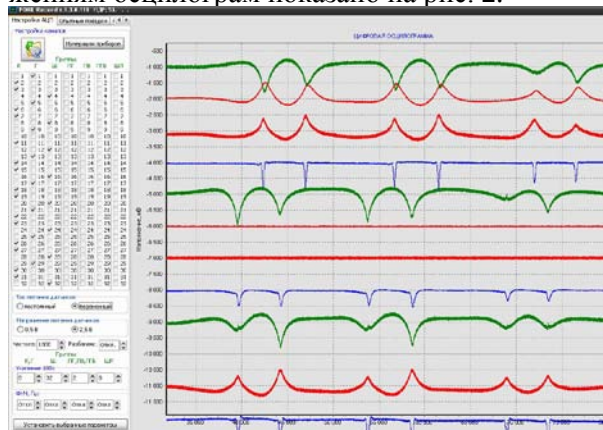


Рис. 2. Цифрова осцилограма отримана за допомогою тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц»

На тензометричний комплекс «ПОНІЛ-Ц» отримано свідоцтво про державну метрологічну атестацію. Зафіксована загальна похибка вимірювань  $\pm 2\%$  є достатньою для проведення експериментальних досліджень пов'язаних з ви-

пробуванням нових конструкцій колії та нових або модернізованих одиниць рухомого складу, в тому числі для швидкісного.

Окрім безумовних переваг, що дає застосування цифрової вимірювальної техніки, таких як мобільність, простота і надійність зберігання отриманої інформації, швидкість обробки даних, це розкриває низьку додаткових можливостей, наприклад, вилучення з сигналу «шуму» від змінного електричного струму, рис. 3.

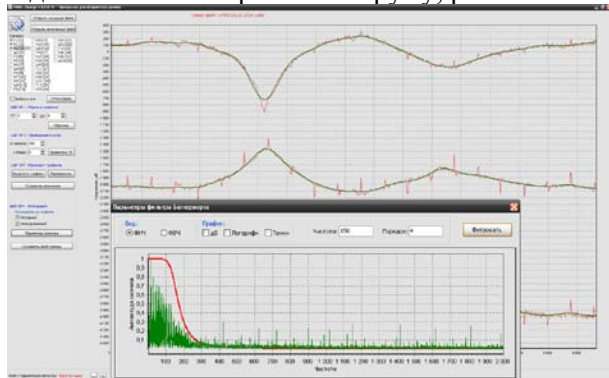


Рис. 3. Обробка сигналів за допомогою цифрових фільтрів

Розроблено програмне забезпечення дало змогу автоматизувати розшифровку і подальший аналіз отриманих даних, рис. 4. Такий підхід майже виключає можливість помилки по причині людського фактору і дає змогу отримувати вичерпну інформацію ще на місці проведення експерименту. Таким чином є можливість одразу корегувати умови проведення досліджень для більш якісного вирішення задач, що були поставлені, а у випадках одержання наднормованих величин – призупиняти проведення експерименту.

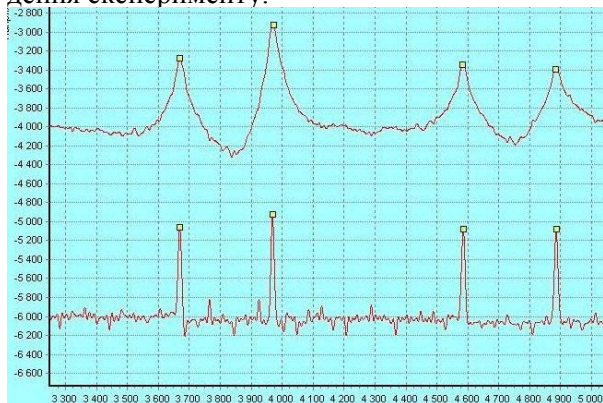


Рис. 4. Цифрова осцилограма після розшифрування

Нове обладнання та запропоновані методи обробки отриманих результатів набули використання в експериментальних дослідженнях, що проводились Колієвипробувальною лабораторією останнім часом. Вимірювання цифровою технікою було частково застосовано під час випробування дослідного стрілочного пере-

воду проекту ДН345 та повністю для проведення експериментів по впливу рухомого складу на безстикову колію з наявністю відступів з утримання III ступеня. Під час експериментів швидкість руху досягала 176 км/год.

Висока частота дискретизації запису (4 кГц) робить можливим отримувати не тільки пікові значення величин, що вимірюються, а й досліджувати зміну напружень і деформацій у часі під впливом рухомого навантаження практично як безперервний процес. Це дає змогу визначати деякі додаткові характеристики залізничної колії. Наприклад, зміна напружень в перерізі рейки до або після проходження колеса залежить від жорсткості конструкції і дає можливість експериментального дослідження такого показника, як модуль пружності підрейкової основи.

Модуль пружності підрейкової основи є однією з основних характеристик для визначення напружено-деформаційного стану залізничної колії. Він визначає зв'язок між діючою силою і деформацією – одне з положень, на якому базується сучасний метод інженерного розрахунку колії на міцність [1]. Його значення впливає на точність розрахунку напружень в елементах колії, що відбивається на правильності встановлення експлуатаційних характеристик ділянки [2], в тому числі допустимої швидкості руху і строків призначення ремонтів. Існують пропозиції використовувати модуль пружності підрейкової основи як один з показників оцінки стану залізничної колії [3, 4].

В 60...80 роках в ДПТІ для натурного виміру модуля пружності застосовувався спеціальний гідравлічний навантажувальний пристрій, змонтований на базі чотиривісного вагона. При цьому сили, що діють на рейку, вимірювалися за допомогою встановлених у головці домкратів силомірів, а прогини рейок – за допомогою електричних прогиномірів. Пристрій дозволяв одержувати безпосередньо графіки залежності прогинів рейок від прикладеної вертикальної сили в кожному циклі навантаження й розвантаження [5, 6]. Для його застосування необхідно надавати тривалі «вікна».

Сьогодні відбувається пошук сучасного оперативного засобу вимірювання модуля пружності. Існуючи пропозиції, наприклад [7, 8], не знайшли загального практичного застосування. Вони ґрунтувалися на вимірюванні прогинів колії під проїздом поїзда. Основні труднощі виникають від неможливості забезпечити достатню точність вимірювання динамічного прогину – величини яка має невелике значення та швидко змінюється у часі. Також на точність результатів впливає те, що прогинається не

тільки безпосередньо рейка, а й земляне полотно навколо залізничної колії.

Наявність цифрового обладнання для виміру напружень в рейках, яке завдяки високій частоті дискретизації вимірювань дає змогу отримувати майже безперервний запис, відкриває можливість визначити модуль пружності за співвідношення напружень в різних перерізах рейки.

Відповідно до «Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [1] напруження в рейках можна розрахувати аналітичним методом

$$\sigma_{п-о} = \frac{M}{W}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{п-о}$  – осьові напруження в підшві рейки;

$M$  – згинальний момент в рейці;

$W$  – момент опору по підшві рейки.

Напруження в інших місцях перерізу рейки можна розрахувати використовуючи відповідні коефіцієнти [1].

Згинальний момент в рейці визначається за формулою

$$M = \frac{P_{екв}^I}{4k}, \quad (2)$$

де  $P_{екв}^I$  – перша еквівалентна сила (враховує одночасну дію на переріз рейки декількох коліс);

$k$  – коефіцієнт відносної жорсткості:

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (3)$$

де  $U$  – модуль пружності підрейкової основи;

$E$  – модуль пружності рейкової сталі;

$I$  – момент інерції поперечного перерізу рейки у вертикальній площині.

В загальному вигляді перша еквівалентна сила визначається за формулою

$$P_{екв}^I = \sum P_i \mu_i, \quad (4)$$

де  $P_i$  – сила від  $i$ -го колеса, що діє на розрахунковий переріз рейки;

$\mu_i$  – коефіцієнт, що враховує відстань ( $x_i$ ) від розрахункового перерізу до діючої сили

$$\mu_i = e^{-kx_i} (\cos kx_i - \sin kx_i). \quad (5)$$

Якщо відомі напруження в двох перерізах рейки, що виникли в момент часу від дії зовнішньої сили, можливо розв'язання зворотної задачі – розрахунок модуля пружності підрейкової

вої основи. Розрахункова схема показана на рис. 5.

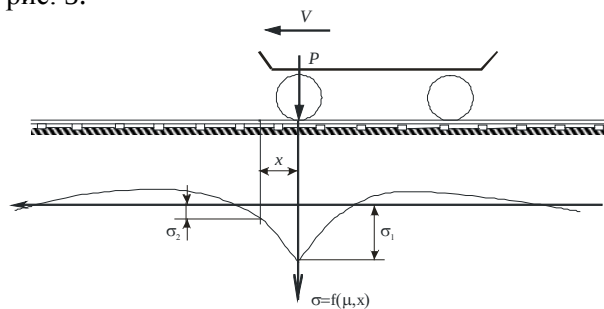


Рис. 5. Розрахункова схема

Послідовність розрахунків наведено в формулах (6...8):

$$\mu = \frac{\sigma_{p2}}{\sigma_{p1}}, \quad (6)$$

де  $\sigma_{p1}$  і  $\sigma_{p2}$  – напруження в першому і другому перерізу рейки відповідно (див. рис. 5);

$$k = f(\mu, x), \quad (7)$$

де  $x$  – відстань між перерізами рейки, в яких визначено напруження  $\sigma_{p1}$  і  $\sigma_{p2}$ ;

$$U = 4EI k^4. \quad (8)$$

Таким чином, для визначення модуля пружності підрейкової основи достатньо знати відношення напружень в рейках в двох перерізах, навіть без розрахунку значення сили, яка спричинила їх появу.

Формула (7) може не визначатися в аналітичному вигляді у зв'язку з необхідністю розв'язання складних тригонометричних залежностей. Коефіцієнт відносної жорсткості розраховувався шляхом апроксимації набору пар значень відношення напружень-відстань за критерієм найменших квадратів функцією (5). Такий підхід дає змогу не обмежуватись двома перерізами на рейці.

При виконанні експериментів на ділянці Баришівка – Бориспіль Південно-Західної залізниці було обладнано датчиками дві ділянки, кожна з котрих мала три послідовних перерізи рейки, рис. 6, 7.

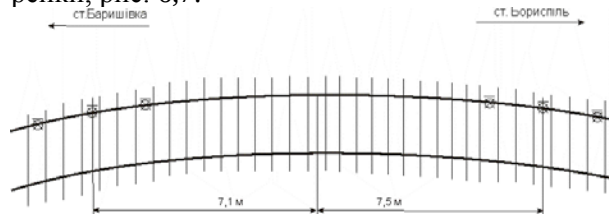


Рис. 6. Схема розташування датчиків на дослідній ділянці





Рис. 7. Послідовність трьох перерізів рейки, обладнаних датчиками

Напруження і відстані між точками визначалися автоматизовано за результатами цифрового запису, рис. 8. Для зменшення впливу суміжних коліс розглядалися тільки такі варіанти розташування рухомого складу, коли перше колесо першого локомотива заїжджає на перший переріз рейки, або, навпаки, останнє колесо останнього локомотива з'їжджає з останнього перерізу рейки. Взагалі, в даному експерименті по дослідній ділянці рухався поїзд, що складався з такої послідовності: локомотив ЧС-7, два пасажирських вагона, локомотив ЧС-7. Заїзди виконувалися в обидва напрямки з різними швидкостями руху. Напруження в рейках розглядалися на зовнішній кромці головки та на зовнішній і внутрішній кромці підшви.

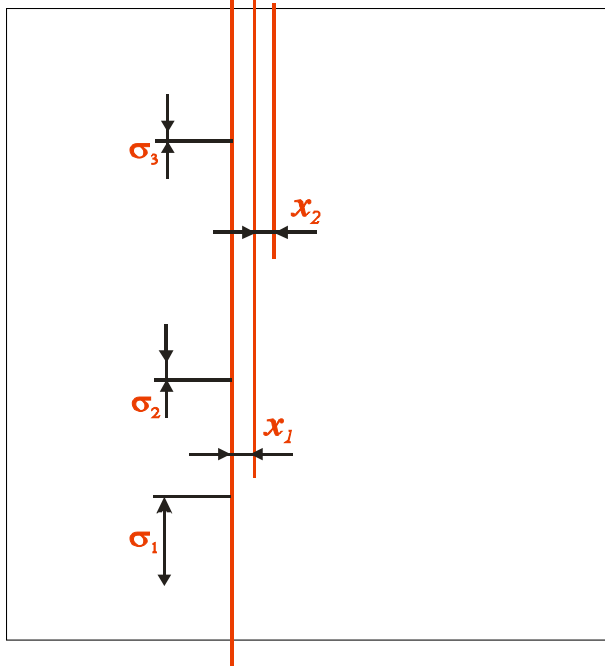


Рис. 8. Визначення напружень і відстаней за результатами цифрового запису

Таким чином було отримано близько 300 результатів визначення модуля пружності підрейкової основи, рис. 9. Обробка виконувалась автоматично за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення. Враховуючи значну кількість матеріалу, результати, які з різних причин не були оброблені автоматично, не розглядалися. Їх кількість склала близько 10 %.

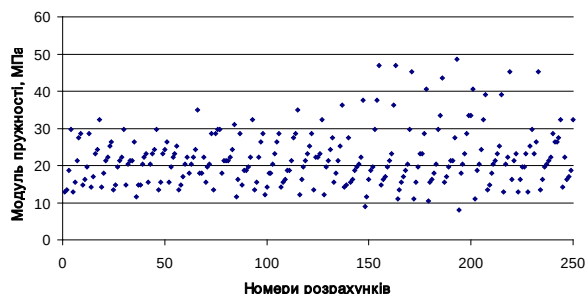


Рис. 9. Результати розрахунку модуля пружності підрейкової основи

Середнє значення модуля пружності підрейкової основи (див. рис. 9), яке і рекомендовано прийняти як розрахункове для розглянутої ділянки, дорівнює 22 МПа. При цьому відношення середньоквадратичного відхилення до середнього значення склало 0,34, що не перевищує рекомендованого інтервалу довіри 0,4 [9]. Достовірність отриманих даних може бути поліпшена, якщо відстань між датчиками вимірювати безпосередньо на місцевості та збільшити кількість розглянутих перерізів рейки.

Аналіз отриманих даних не виявив різниці в результатах для двох ділянок розташованих на відстані близько 15 м (див. рис. 6). Також не спостерігалось впливу на результат таких факторів, як напрямок та швидкість руху поїзда. Однак слід відмітити, що майже всі заїзди зі швидкостями руху 160 км/год і вище було виключено з розглядання під час автоматичної обробки даних.

Запропоновану методику розрахунку можна використовувати й для аналогічних вимірів прогинів замість напружень. Звичайно, у цьому випадку, замість першої еквівалентної сили буде використовуватися друга з відповідним коефіцієнтом  $\eta$  [1]. Але такий підхід приведе до збільшення похибки отриманого значення модуля пружності. По-перше, по причині складності розмежування прогину рейки й прогину підрейкової основи. По-друге, в наслідок положості функції  $\eta = f(x)$  на відміну від функції  $\mu = f(x)$ , що зробить різницю вихідних даних для суміжних перерізів рейки менш чіткою.

## Висновки

1. Використання цифрової техніки дає безперечні переваги: мобільність, простота і надійність зберігання отриманої інформації, швидкість обробки даних.

2. Висока частота дискретизації вимірювань дає змогу отримувати не тільки пікові значення напружень, а майже безперервний запис, що дає низьку додаткових можливостей для аналізу результатів досліджень.

3. Запропоновано і апробовано метод визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань напружень в рейках.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст] / Е. І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Бондаренко, И. А. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости [Текст] / Транспортні системи і технології, вип. 5, К.: КУЕТТ. 2004. – С. 16-27.
3. Курган, Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоку на життєвий цикл колії [Текст] / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. – Вісник ДНУЗТу № 19. Д. 2007. С. 78-83.
4. Гавриленко, А.К. Учет жесткости железнодорожного пути [Текст] / Путь и путевое хозяйство: научно-популярный, производственно-технический журнал. – 2007. – №4. – С.37–39.
5. Фришман, М. А. Исследование изменения вертикальной жесткости пути по его длине

[Текст] / М. А. Фришман, И. С. Леванков. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. – Труды ДИИТ вып.138, Д., 1972. – С. 48-57.

6. Малявко, А.М. Устройство для экспериментального определения упругих характеристик пути [Текст] / Вопросы исследования пути. – Труды МИИТ, вып.210, М., 1965. – С. 80-93.
7. Сисин, М. П. Вимірювання жорсткості колії із використанням відео зйомки [Текст] / М. П. Сисин, М. І. Уманов. Труды 67 Международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта".– Д., 2007. – С. 189-190.
8. Гавриленко, А. К. Использование данных современных путеизмерительных средств для определения вертикальной жесткости пути [Текст] / А. К. Гавриленко, М. Н Смердов. Труды научно-практической конференции «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог» – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 199.
9. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними [Текст]. Затверджено наказом Держстандарту України №31 від 22.01.1995р. Київ, Держстандарт України 1995. – 124 с.

Надійшла до редколегії 27.05.2011.  
Прийнята до друку

И. А. БОНДАРЕНКО, Д. Н. КУРГАН, А. М. ПАТЛАСОВ, В. Е. САВЛУК

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

I. O. BONDARENKO, D. M. KURGAN, O. M. PATLASOV, V. E. SAVLUK

## USE OF DIGITAL MEASURING TECHNIQS FOR EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INTERACTION OF THE RAILWAY AND THE ROLLING STOCK