

УДК 629. (431+432). 004.163

А.О. Сулим, О.О. Мельник, П.О. Хозя, Е.В. Третьяк, А.О. Катков

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВПЛИВУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ КОЛІЮ

У статті наведено структуру розробленого програмного забезпечення для виконання теоретичних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію. Виконано перевірку адекватності розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення шляхом порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень із впливу рухомого складу на залізничну колію.

Постановка проблеми. Одним з важливих етапів комплексної оцінки показників впливу рухомого складу на колію є виконання теоретичних доекспериментальних досліджень такого впливу. З джерел [1–3] відомо, що ці дослідження є непротистими, потребують численних математичних розрахунків та займають багато часу. Математичне забезпечення виконання таких досліджень загальновідоме. Його описання детально розкрито в роботах [1–3], тому зупинятись на ньому немає сенсу. Таким чином, важливим та актуальним питанням є скорочення часу та підвищення точності виконання цих досліджень.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення для виконання теоретичних доекспериментальних досліджень з визначення впливу рухомого складу на колію.

Матеріал і результати досліджень. З метою скорочення часу та підвищення точності виконання зазначених досліджень в середовищі LabView розроблено програмне забезпечення «Rail Load Calculation» (далі – КП «RLC»). Основний алгоритм її роботи в спрощеному вигляді можна представити у введенні основних налаштувань для розрахунку, визначенні відповідних коефіцієнтів, що будуть використані в розрахунках, та безпосередньо розрахунки. Інтерфейс КП «RLC» представлений у вигляді кнопок керування, кластера коефіцієнтів «M_Clus» та кластера результатів розрахунку «A_Clus». Загальний зовнішній вигляд інтерфейсу розробленого програмного забезпечення представлено на рис. 1.

Після запуску програма розпочинає роботу в режимі очікування. Для початку роботи оператор має натиснути регулятор «Инициализация» і вибрати відповідні вхідні параметри для розрахунку з діалогових вікон, що з'являються. У діалогових

© Сулим А.О., Мельник О.О., Хозя П.О., Третьяк Е.В., Катков А.О., 2017

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

вікнах параметри згруповані за логічним змістом, крім того, усі вони мають певні значення за замовчуванням, тому оператору не складе труднощів вибрати конкретні налаштування. Зовнішній вигляд діалогових вікон введення параметрів наведено на рис. 2 та 3. Усі діалогові вікна містять тільки один елемент керування – регулятор «Ввести», оскільки відмінити цю дію немає сенсу, бо без введених коефіцієнтів подальший розрахунок неможливий.

Після закінчення визначення коефіцієнтів програма знову переходить у режим очікування команди від оператора, якому необхідно послідовно натиснути регулятори «Вычисление №1» >> «Вычисление №2» >> «Вычисление №3». Результати всіх розрахунків будуть згруповані у вихідний кластер «A_Clus», розташований в правій частині інтерфейсу програми.

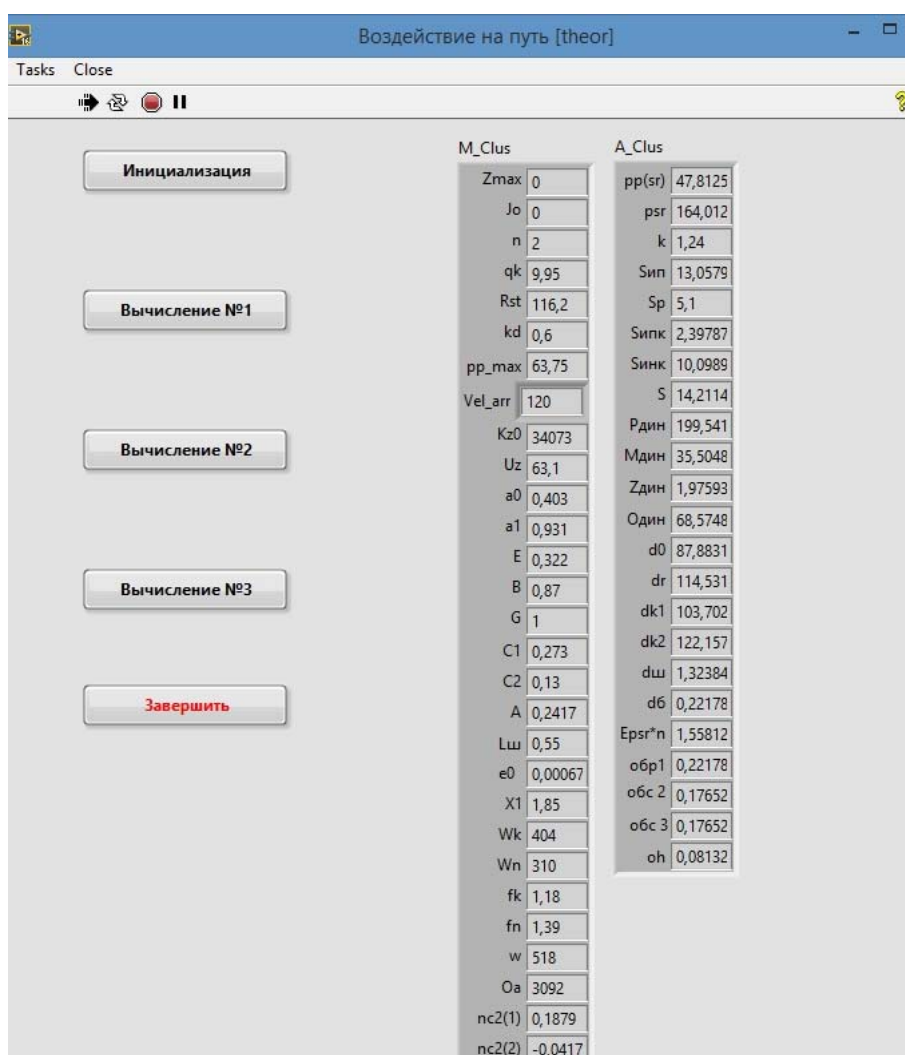


Рис. 1 - Загальний вид інтерфейсу КП «RLC»

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

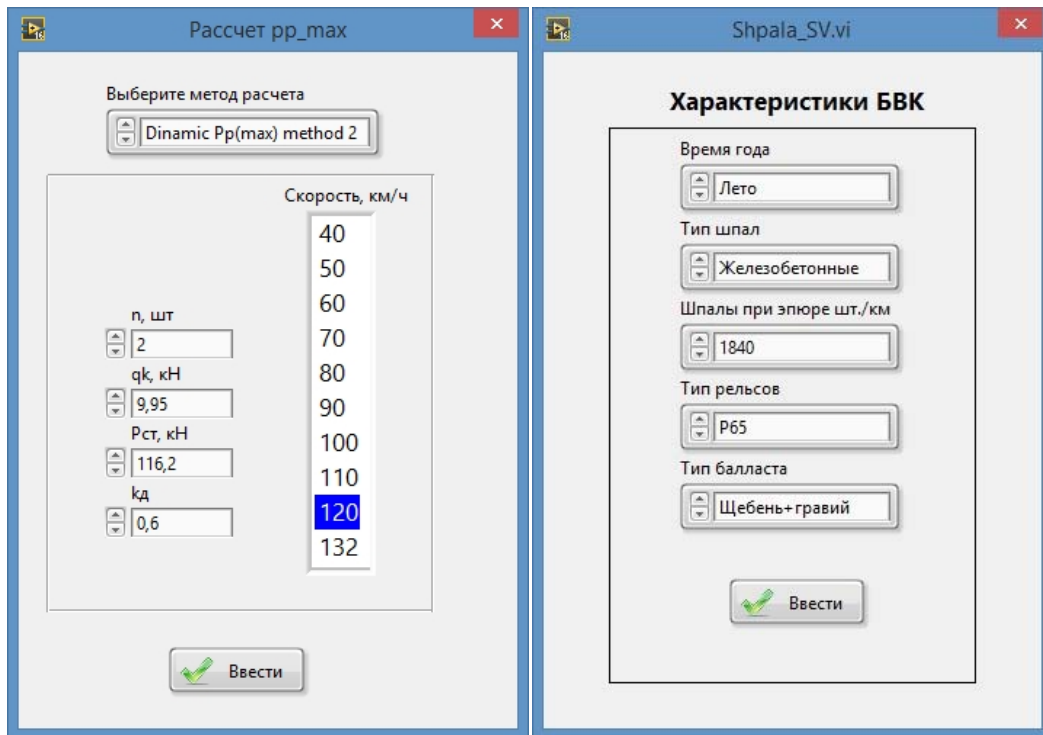


Рис. 2 - Діалогові вікна КП «RLC»

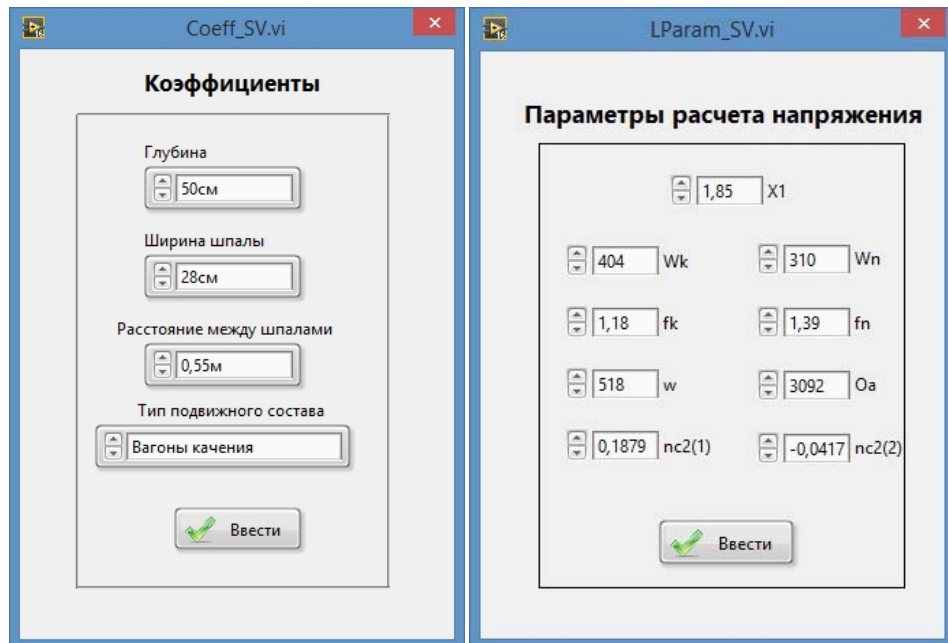


Рис. 3 - Діалогові вікна КП «RLC»

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Послідовність роботи з програмою наступна:

1. Запустити КП «Rail Load Calculation» на виконання.
2. Натиснути регулятор «Инициализация» інтерфейсу КП.
3. За допомогою діалогів вікон визначити параметри для розрахунків.
4. Проконтролювати адекватність обраних коефіцієнтів в кластері «M_Clus» і, в разі виявлення помилки, повторити п. 1–3.
5. Натиснути регулятор «Вычисление №1».
6. Натиснути регулятор «Вычисление №2».
7. Натиснути регулятор «Вычисление №3».
8. Оцінити результати теоретичних розрахунків у кластері «A_Clus».
9. Для завершення роботи з КП «Rail Load Calculation» необхідно натиснути регулятор «Завершить».

Фрагменти КП «RLC» приведено на рис. 4–6.

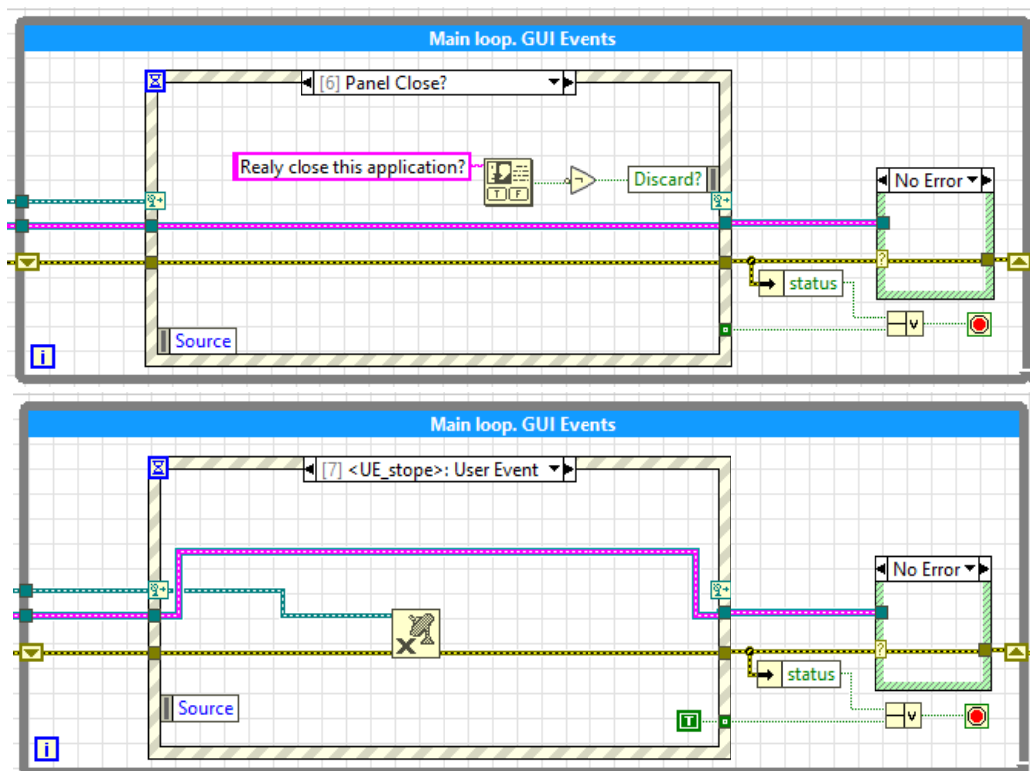


Рис. 4 - Загальний вигляд фреймів головного циклу програми, що відповідають за події інтерфейсу користувача КП «RLC»

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

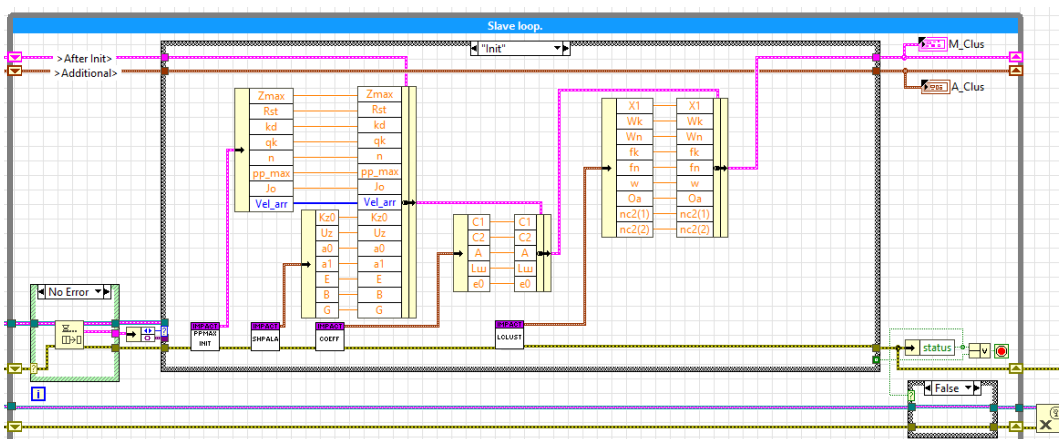


Рис. 5 - Загальний вигляд фрейму ініціалізації допоміжного циклу програми, що відповідає за введення основних коефіцієнтів для розрахунку КП «RLC»

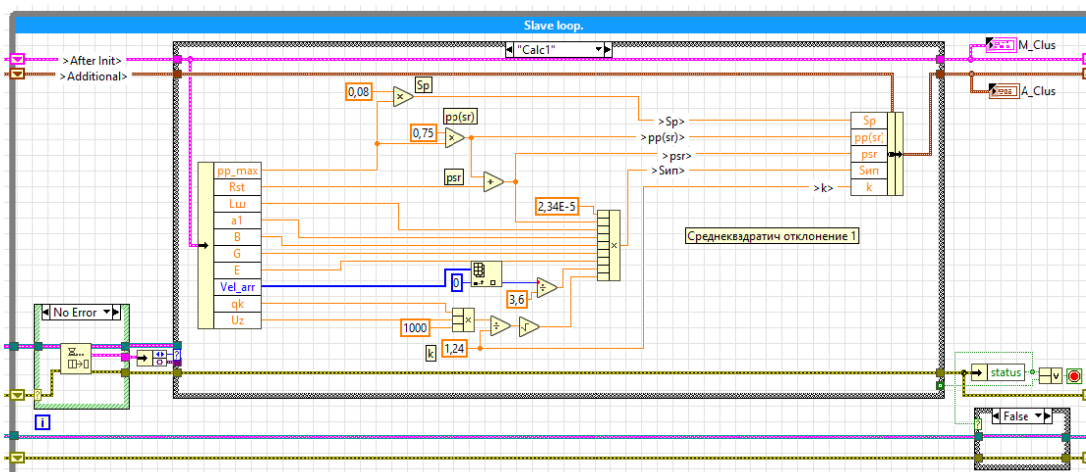


Рис. - Загальний вигляд фрейму розрахунку допоміжного циклу КП «RLC»

Вхідні дані, що задаються або розраховуються в кластері «M_Clus» після натиснення регулятора «Инициализация»:

- максимальний динамічний прогин ресорного підвішування – Z_{max} , м;
- жорсткість ресорного підвішування візка – J_o , кН/м;
- кількість осей у візку – n , шт;
- необресорене статичне навантаження від колеса на рейку – q_k , кН;
- повне статичне навантаження від колеса на рейку – R_{st} , кН;
- коефіцієнт вертикальної динаміки екіпажу – k_d ;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- динамічне максимальне навантаження від колеса на рейку – P_{p_max} , кН;
 - швидкість руху – V_{el_arr} , км/год;
 - вертикальна жорсткість (сумарна) точечної опори – K_{z0} ;
 - модуль пружності підрейкової основи – U_z , МПа;
 - коефіцієнт впливу маси колії на взаємодію – α_0 ;
 - коефіцієнт, що залежить від типу шпал – α_1 ;
 - коефіцієнт впливу матеріалу та конструкції шпали – E ;
 - коефіцієнт впливу типу рейок при виникненні динамічної нерівності – B ;
 - коефіцієнт роду баласту – G ;
 - коефіцієнти, що залежать від ширини шпали та глибини земляного полотна – A, C_1, C_2 ;
 - відстань між осями шпал – $L_{ш}$, м;
 - розрахункова глибина ізольованої нерівності на колії – e_0 , м;
 - відстань між колісними парами візка – X_1 , м;
 - момент опори рейки по низу подошви – W_k , см³;
 - момент опори по верху головки рейки – W_n , см³;
 - коефіцієнти, що враховують дії горизонтальних поздовжніх сил та нецентрове прикладання вертикального навантаження – f_k, f_n , см³;
 - площа підрейкової підкладки – w , см²;
 - ефективна опорна площа напівшпали з урахуванням поправки на її вигин – O_a , см²;
 - коефіцієнт впливу сусідніх коліс на розрахункову шпалу – $\eta_{c2}(1), \eta_{c2}(2)$.
- Основні вихідні дані, які розраховуються та відображаються в кластері «A_Clus»:
- максимально імовірне значення динамічного навантаження від колеса на рейку – $P_{дин}$, кН;
 - максимальне значення динамічного прогину рейки – $Z_{дин}$, мм;
 - максимально імовірне значення напружень у кромках подошви рейки – d_{k1} , МПа;
 - максимально імовірне значення напружень у баласті під підкладками – $d_{ш}$, МПа;
 - максимально імовірне значення напружень у баласті під шпалою – d_6 , МПа.

Перевірка правильності та адекватності розробленого програмного забезпечення виконано шляхом порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень із визначення показників впливу рухомого складу на колію. Теоретичні дослідження проведено за допомогою КП «RLC», експериментальні – за допомогою випробувального комплексу. В якості дослідного рухомого складу обрано пасажирський вагон локомотивної тяги з осьовим навантаженням 15,8 тс (155 кН). Дослідження виконано для швидкостей руху вагона 30; 45; 60; 75; 90 км/год. За результатами проведення досліджень визначались наступні показники: максимальні ймовірні значення динамічного навантаження, максимальні динамічні прогини рейки, максимальні навантаження в кромках подошви рейки, максимальні навантаження в шпалах під підкладками, максимальні навантаження в баласті під шпалою.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Результати порівняння показників впливу пасажирського вагона на колію, виконаних за допомогою КП «RLC» та випробувального комплексу, наведено у табл. 1–5.

Таблиця 1. Результати порівняння максимально ймовірних значень динамічного навантаження

Досліджуваний параметр	КП «RLC»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
$P_{дин}$, кН (30)	88,57	86,24	2,33	2,63	7,4
$P_{дин}$, кН (45)	91,14	90,04	1,1	1,21	
$P_{дин}$, кН (60)	94,13	88,25	5,85	6,22	
$P_{дин}$, кН (75)	98,43	91,15	7,28	7,4	
$P_{дин}$, кН (90)	101,25	94,82	6,43	6,35	

Таблиця 2. Результати порівняння динамічних прогинів рейки

Досліджуваний параметр	КП «RLC»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
$Z_{дин}$, мм (30)	7,0	6,7	0,3	4,29	4,29
$Z_{дин}$, мм (45)	7,2	7,0	0,2	2,78	
$Z_{дин}$, мм (60)	7,6	7,7	0,1	1,3	
$Z_{дин}$, мм (75)	8,0	7,7	0,3	3,75	
$Z_{дин}$, мм (90)	8,5	8,6	0,1	1,16	

Таблиця 3. Результати порівняння навантажень у кромках підшви рейки

Досліджуваний параметр	КП «RLC»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %	
1	2	3	4	5	6	
$d_{к1}$, Мпа (30)	45,57	53,0	7,43	14,02	14,7	
1	2	3	4	5		6
$d_{к1}$, Мпа (45)	46,55	52,3	5,75	10,99		
$d_{к1}$, Мпа (60)	48,31	41,6	6,71	13,89		
$d_{к1}$, Мпа (75)	50,76	43,3	7,46	14,7		
$d_{к1}$, Мпа (90)	52,33	45,0	7,33	14,01		

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 4. Результати порівняння напружень в баласті під підкладками

Досліджуваний параметр	КП «RLC»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
$d_{ш}$, Мпа (30)	0,6	0,56	0,04	6,67	14,93
$d_{ш}$, Мпа (45)	0,61	0,59	0,02	3,28	
$d_{ш}$, Мпа (60)	0,62	0,58	0,04	6,45	
$d_{ш}$, Мпа (75)	0,65	0,57	0,08	12,31	
$d_{ш}$, Мпа (90)	0,67	0,57	0,1	14,93	

Таблиця 5. Результати порівняння напружень в баласті під шпалою

Досліджуваний параметр	КП «RLC»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
$d_{б}$, Мпа (30)	0,098	0,094	0,004	4,01	13,27
$d_{б}$, Мпа (45)	0,101	0,102	0,001	0,98	
$d_{б}$, Мпа (60)	0,105	0,1	0,005	4,76	
$d_{б}$, Мпа (75)	0,109	0,099	0,01	9,17	
$d_{б}$, Мпа (90)	0,113	0,098	0,015	13,27	

За результатами порівняльного аналізу отриманих даних в ході теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що їх розбіжність не перевищує 15 %.

Висновки. На основі загальновідомих розрахункових формул розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для виконання теоретичних доекспериментальних досліджень з визначення показників впливу рухомого складу на колію.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє отримати економічний ефект за рахунок автоматизації обробки даних, значного скорочення часу такої обробки, зменшення суб'єктивної похибки, що в цілому забезпечить більшу точність отриманих результатів зазначених досліджень та покращить умови праці оператора.

Адекватність розробленої КП «RLC» перевірено шляхом порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень з визначення показників впливу рухомого складу на колію. За результатами порівняння встановлено, що максимальна розбіжність результатів, отриманих за допомогою КП «RLC» та випробувального комплексу, складає 14,93 %, що не перевищує заданих вимог встановлених в [4].

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність та стійкість : ЦП-0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом: підруч. для вищ. навч. закл.: у 2 т. / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
3. Курган Д.М. Визначення динамічного навантаження від колеса на рейку для швидкісних поїздів / Д.М. Курган // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – Д., 2015. – № 3 (57) – С. 118–128.
4. Програма і методика оцінки придатності комп'ютерної програми для виконання теоретичних досліджень з визначення показників впливу рухомого складу на колію. – 4 с.