

М.І. Горбунов, д.т.н., проф.
К.О. Кравченко, аспір.
М.А. Крисанов, студ.
М.В. Ковтанець, студ.
О.В. Кочура, ст. викл.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЯГОВИХ І ГАЛЬМІВНИХ ЯКОСТЕЙ ЛОКОМОТИВА

На основі експертних оцінок виявлені основні фактори, які впливають на коефіцієнт використання зчпної ваги локомотива. Розроблено авторський програмний комплекс з планування експерименту і визначення рівняння регресії за результатами статичного моделювання і експериментальних даних.

Вступ. Однією з умов соціального і економічного розвитку країн СНД є наявність ефективної транспортної системи. У вирішенні завдання її функціонування важливе значення належить залізничному транспорту як одному з найбільш могутніх і технічно розвинених видів вантажних і пасажирських перевезень. Збільшення обсягів і швидкості перевізного процесу, викликаних тенденцією зростання світової торгівлі й зовнішньоекономічної діяльності держав, вимагає створення рухомого складу, який відповідає світовим і європейським стандартам за основними техніко-економічними показниками. Недостатнє забезпечення залізничних ліній тяговими транспортними засобами для маневрової роботи призводить до заміни їх на станціях потужними магістральними локомотивами, що економічно невигідно. Згідно з даними Укрзалізниці парк маневрових тепловозів за останніх 10 років зменшився приблизно у два рази. У зв'язку з цим найважливішим завданням залізничної галузі є створення економічно виправданого маневрового локомотива як технічної системи, конструкція, тягові й гальмівні якості якої відповідають сучасному рівню розвитку транспорту.

Як показує аналіз науково-технічних джерел інформації [1–3], найбільш важливим і проблемним питанням при проектуванні й введенні в експлуатацію нового тягового засобу є створення і технічна реалізація екіпажної частини локомотива. При її конструюванні першочерговим завданням є підвищення *тягово-зчпних і гальмівних якостей*, які багато у чому зумовлюють техніко-економічну ефективність локомотива в цілому.

Викладення основного матеріалу. У процесі досліджень виявлено, що тягово-зчпні та гальмівні якості транспортного засобу залежать від його конструкції та умов експлуатації. При цьому навантаження на рейку є найважливішим фактором, від якого залежать величина сили тяги, що реалізується, гальмівні характеристики, а також рівень статичного і динамічного впливу на шлях. Нерівномірний перерозподіл навантажень від колісних пар на рейки призводить до зносу рухомого складу і рейок, що є причиною значних збитків, численних обмежень швидкості руху, вірогідністю сходу локомотивів з рейок [2].

До основних причин статичного і динамічного перерозподілу навантажень від колісних пар на рейки відносять: зміну в процесі експлуатації діаметра коліс, маси бандажу, вертикальної і поперечної жорсткості ресорного підвішування; порушення розважування локомотива; витрату екіпірувальних матеріалів; порушення регулювання ресорного підвішування; блокування ресорного підвішування при гальмуванні; зсув центра мас візка і кузова, у зв'язку зі зносом повідків і опор; зміну швидкості руху; вертикальні коливання екіпажу і крутильні коливання приводу (вібрації); поздовжні коливання від складу потягу; у кривих – поперечні сили від колісних пар; коливання від переміщення палива у баці; нерівномірність жорсткості шляху та інші.

Для визначення навантажень, які передаються від колеса на рейку, проведено ряд теоретичних і експериментальних досліджень. На основі цих досліджень розроблена блокова схема моделі прогнозування тягових та гальмових якостей локомотива (рис. 1), яка містить розширену статичну модель визначення коефіцієнта використання зчпної ваги локомотива η і програмний комплекс «Планування експерименту». Адекватність моделі перевірена порівнянням даних, отриманих у процесі статичного моделювання, з характеристиками тепловозу, що експлуатується.

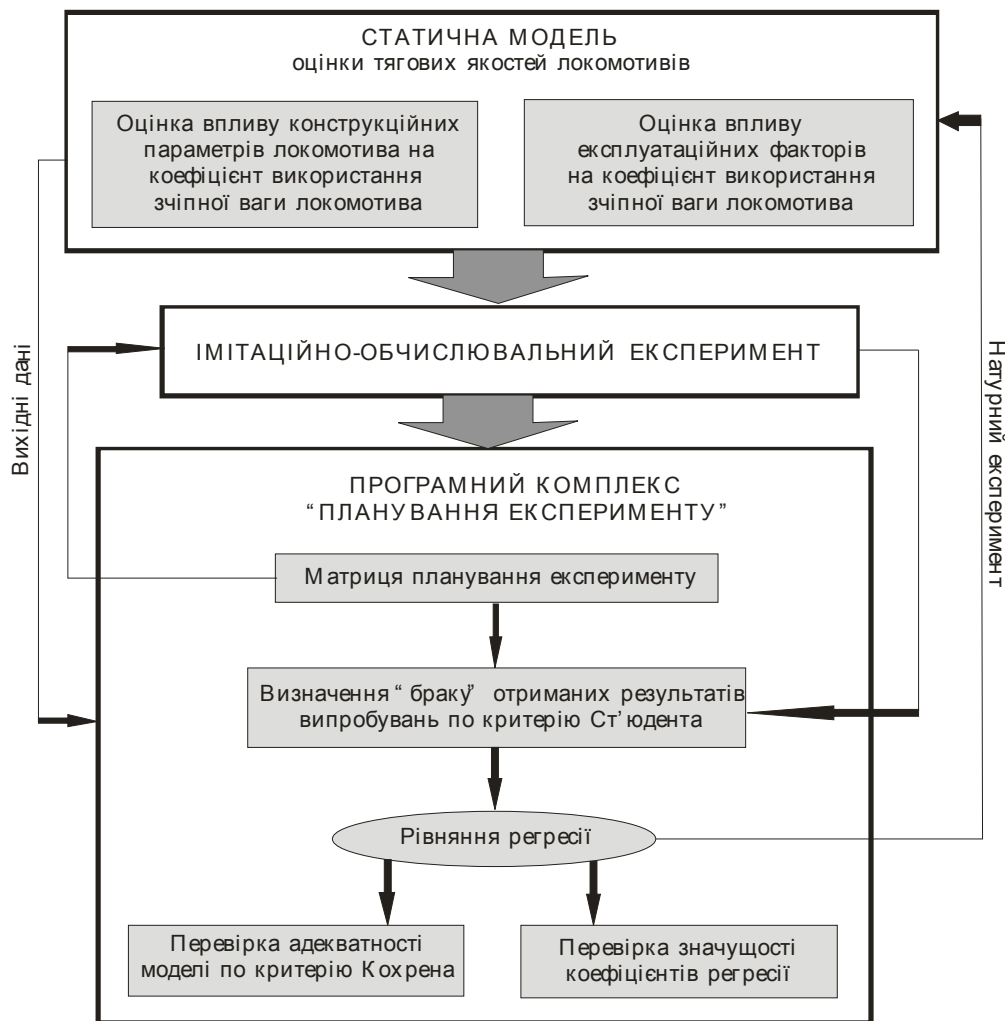


Рис. 1. Блокова схема моделі прогнозування тягових якостей локомотивів

Вивчення рівня впливу окремо взятих факторів і їх сукупності вимагає проведення численних експериментів. Наприклад, якщо число факторів, що розглядається, – п'ятнадцять, тоді кількість дослідів, необхідних для дослідження процесу, складає 32768 [4]. Для скорочення кількості експериментів із знаходженням оптимального рішення доцільно застосовувати планування експерименту (рис. 1).

Значний інтерес дослідників до планування експерименту зрозумілий: розробити стратегії експериментування (від отримання апріорної інформації до отримання працездатної математичної моделі або визначення оптимальних умов), скоротити кількість дослідів до мінімуму, знайти оптимальні рішення, отримати кількісні оцінки впливу факторів, визначити помилки, створити цілеспрямоване управління експериментом, що реалізовується в умовах неповного знання механізму явища, що вивчається.

Існують різні методи стратегічного планування експерименту [4–8]:

- рандомізований план – пропонує вибір поєднань для прогону випадковим чином. Застосовуємо тільки за відсутності взаємодії між факторами;
- латинський план – використовується у разі, коли експеримент проводиться з одним первинним і декількома вторинними факторами. Латинський експеримент значно скорочує кількість дослідів. Застосовуємо тільки за відсутності взаємодії між факторами;
- експеримент із зміною факторів поодиночці – суть полягає у тому, що один з факторів проходить усі рівні, а решта $n - 1$ факторів підтримується постійними. Такий план забезпечує дослідження ефектів кожного фактора окремо. Застосовуємо тільки за відсутності взаємодії між факторами;
- ресамплінг-метод – інтенсивний комп'ютерний непараметричний метод статистики. Вільний від помилок у виборі видів розподілів випадкових величин; базується на прямій імітації даного процесу, у зв'язку з чим застосовується у випадках, коли аналітичний опис і аналіз процесу неможливі. Найбільш ефективно застосування у разі малих обсягів випадкових вибірок;

- повний факторний експеримент – містить усі можливі комбінації усіх факторів, на певному числі рівнів, рівне число разів. Такий план має певні властивості, що забезпечують підвищення якості експериментів, які виконуються. Застосовуємо при взаємодіях між факторами;
- дробовий факторний експеримент – побудований на складанні дробових реплік повного факторного експерименту, застосування яких значно скорочує число прогонів експерименту. Доцільність його застосування зростає зі зростанням кількості факторів. Застосовуємо при взаємодіях між факторами.

Для знаходження функції відгуку (залежності коефіцієнта використання зчіпної ваги від варійованих факторів), кількість факторів якої вище десяти, краще усього застосовувати модель дробового факторного експерименту. Він значно скорочує кількість дослідів, що проводяться. Наприклад для 12-ти факторів кількість таких дослідів буде зменшена з 4096 до 16 [4].

Дослідження показали, що на першому етапі створення екіпажної частини локомотива як параметр, за допомогою якого можна оцінювати тягові та гальмові якості локомотива доцільно використовувати коефіцієнт використання зчіпної ваги [1–3]. Згідно з проведенням авторами експертним оцінюванням факторів [1], що спричиняють вплив на перерозподіл навантажень від колісних пар на рейки, виділено 12 найбільш істотних: X_1 – зміна навантажень на першій колісній парі при застосуванні довантажуючих пристроїв, кН; X_2 – жорсткість другого ступеня ресорного підвішування, кН/мм; X_3 – зміна кута нахилу повідків до горизонталі, рад.; X_4 – різниця діаметрів коліс, мм; X_5 – сила тяги, кН; X_6 – жорсткість першого ступеня ресорного підвішування, кН/мм; X_7 – сила тертя гасителя, кН; X_8 – зміна маси піску, кг; X_9 – зміна маси палива, кг; X_{10} – база візка, м; X_{11} – база екіпажу, м; X_{12} – зміна навантажень від коливань палива в паливному баці, кг.

Для оперативного прогнозування тягових і гальмових якостей локомотивів створений програмний комплект (ПК) для планування 12-ти факторного дробового експерименту, складання функції відгуку (рівняння регресії). ПК складається з 3-х частин: «Визначення браку», «Планування експерименту», «Дослідження».

При плануванні експерименту першочерговим завданням є визначення для кожного фактора двох рівнів, на яких він варіюватиметься в експерименті. Початковими даними для визначення рівнів є ДСТУ і граничні допустимі значення в експлуатації. Знайдені значення рівнів факторів заносяться у розроблену програму (табл. 1).

На наступному етапі розроблена матриця планування експерименту в програмі Excel (рис. 1, табл. 2) для дробового факторного експерименту, яка включає деяку частину комбінацій факторів повнофакторного плану.

Кожен експеримент (рядок в таблиці 2) повторюється 4 рази для точнішого результату. Результати повторних експериментів заносяться у програму «Визначення браку», за якою обчислюється, який з чотирьох результатів «непридатний» – «брак» (рис. 2). «Брак» визначається за критерієм Ст'юдента [4, 5]. Дані, отримані програмою (параметр T), порівнюються з таблицею Ст'юдента. Так перевіряються усі експерименти, вказані у матриці планування.

Результати розрахунків за визначенням «браку» заносяться у програму «Планування експерименту» (рис. 3). Експеримент, який був визначений як «брак», не заноситься, на його місце умовно ставиться «-1». Програма обчислює середній результат для кожного виду дослідів (для кожного рядка), дисперсію і середньоквадратичне відхилення, а також дисперсію параметра оптимізації і результат перевірки однорідності для нього, дисперсію коефіцієнта регресії і Delta V . Якщо кількість повторюваних дослідів скрізь однакова, для результату перевірки однорідності програма використовує критерій Кохрена; у випадку неоднакової кількості повторних дослідів – критерій Бартлета.

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання

№ фактору	Рівні факторів		Інтервал варіювання
	-1	0	
X1	-1	0	1
X2	-1	0	1
X3	-1	0	1
X4	-1	0	1
X5	-1	0	1
X6	-1	0	1
X7	-1	0	1
X8	-1	0	1
X9	-1	0	1
X10	-1	0	1
X11	-1	0	1
X12	-1	0	1

Таблиця 2

Матриця планування 12-факторного дробового експерименту

№	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1
4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
5	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
6	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
7	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
9	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
10	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
11	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
12	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
13	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
14	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
15	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
16	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y=1+(0<x1)<n(0<x2)<n(0<x3)<n(0<x4)<n(0<x5)<n(0<x6)<n(0<x7)<n(0<x8)<n(0<x9)<n(0<x10)<n(0<x11)<n(0<x12))														

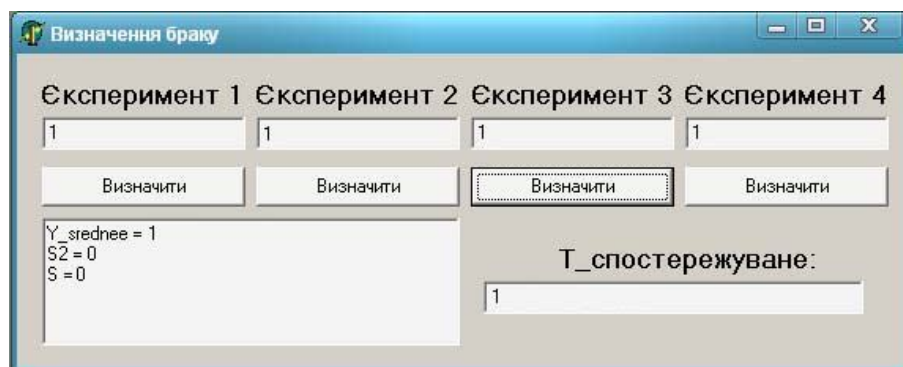


Рис. 2. Вікно програми для визначення «браку»

Усі результати, отримані програмою, заносяться у файл типу Excel (табл. 2). Файл включає макрос, який виведений на екран у вигляді кнопки «Start». Після занесення усіх результатів запускається макрос. Він прораховує коефіцієнти для функції відгуку і заносить їх в таблицю у вигляді: $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{12}$ (табл. 2). Програмою виводиться функція відгуку (табл. 2), за якою оцінюються тягові й гальмівні якості локомотива. Таким чином, планування експерименту зводиться до отримання функції відгуку (рівняння регресії).

Важливе питання, яке цікавить після обчислення коефіцієнтів моделі – це перевірка її придатності або адекватності моделі. Перевірка адекватності й значущості отриманих коефіцієнтів виконується тим же макросом, необхідні дані для якого (Delta B, Дисперсія оптимізації й ін.) вже були занесені з програми «Планування експерименту» (рис. 3).

Перевірка значущості кожного коефіцієнта відбувається незалежно за t -критерієм Ст'юдента методом побудови довірчого інтервалу.

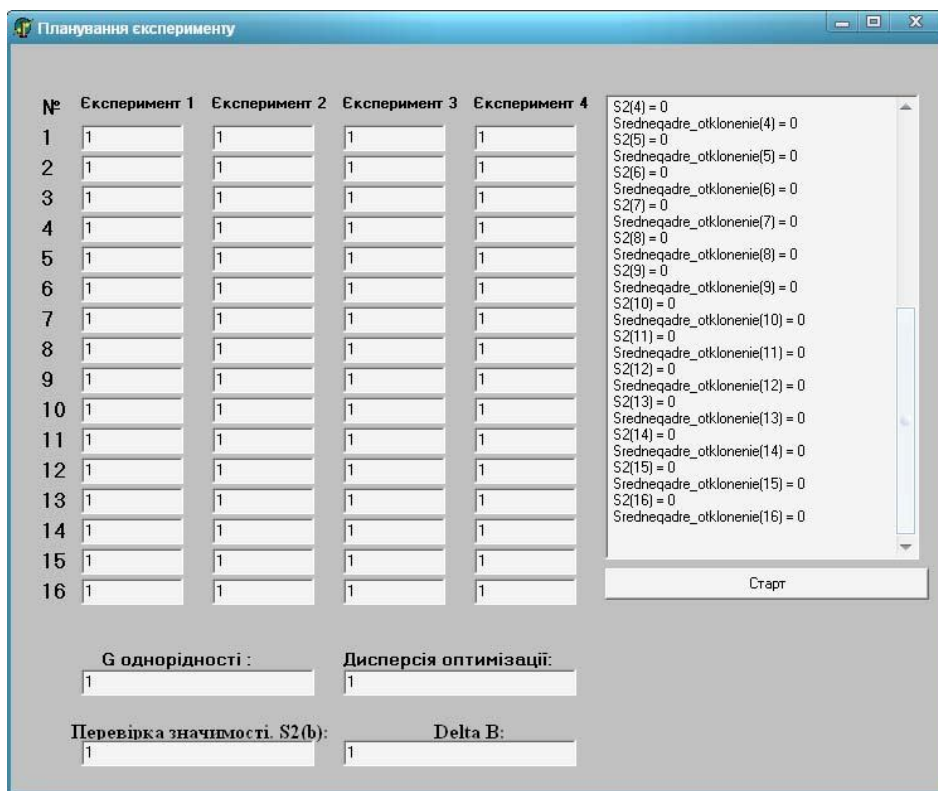


Рис. 3. Вікно програми “Планування експерименту”

Для перевірки гіпотези про адекватність у статистиці розроблений *F*-критерій Фішера, що визначається за формулою:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{(y)}^2},$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, $S_{(y)}^2$ – дисперсія відтворюваності.

За цим критерієм програмою оцінюється адекватність моделі й заноситься макросом у таблицю 3.

Таблиця 3

Перевірки адекватності вибраної моделі

Передбачена Y	N для обчислення адекватності
0	3
0	4
0	4
0	4
0	3
0	4
0	4
Delta B	0
1	0
S адекватності	0
19,33333333	0
S відтворюваності	0
1	0
F критерій Фішера	0
19,33333333	0
	0
	0

Зручність використання критерію Фішера полягає у тому, що перевірку можна звести до порівняння з табличним значенням [1–3]. Якщо розраховане програмою значення *F*-критерію не перевищує табличного значення, тоді, з відповідною довірчою вірогідністю, модель вважаємо адекватною. При перевищенні табличного значення цю гіпотезу доводиться відкидати.

Дані щодо перевірки значущості коефіцієнтів заносяться складовою програми – макросом у таблицю 4 автоматично.

Таблиця 4

Перевірка значущості коефіцієнтів

	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12
b+Delta B	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b-Delta B	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Межа	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Значимість	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Висновок. Розроблено і подано на реєстрацію авторських прав ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС на основі програмного середовища Delphi6 і Excel, який дозволяє при проектуванні й експлуатації рухомого складу оцінювати тягові й гальмівні якості локомотива. Проведено розрахунки і розроблено конструктивні рішення для підвищення тягових якостей маневрових тепловозів ТЕМ103, ТЕМ107.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Горбунов Н.И., Кашура А.Л., Попов С.В., Кравченко Е.А., Фесенко А.И. Пути решения проблемы повышения тяговых качеств локомотивов // Локомотивинформ. – № 5. – 2008. – С. 8–11.
2. Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Грищенко С.Г., Осенин Ю.Ю. Повышение тяговых свойств локомотивов за счет усовершенствования связей кузова с тележками: VIII Международная конференция “Трибология и Надежность”. – 23–25 октября 2008 г. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 20–33.
3. Горбунов Н.И., Кашура А.Л., Попов С.В., Кравченко Е.А., Фесенко А.И. Использование методов теории принятия решений при создании транспортных средств: V Всероссийская научно-техническая конференция “Политранспортные системы”. – Ч. 1. – Красноярский государственный технический университет. – Красноярск, 2007. – С. 14–20.
4. Адлер Ю.И., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971. – 283 с.
5. Круг Г.К., Кабанов В.А., Фомин Г.А., Фомина Е.С. Планирование эксперимента в задачах нелинейного оценивания и распознавания образов. – М.: Наука, 1981. – 192 с.
6. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения.
7. <http://elib.ispu/lidrary/lessons/Kazakov/index.htm/>
8. Карпов А.Н. Обработка данных на параллельных вычислительных комплексах: Автореф. дис...канд. физ.-мат. наук. – Тула, 2006. – 20 с.

ГОРБУНОВ Микола Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри залізничного транспорту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- системний підхід при створенні екіпажної частини локомотива;
- математичне моделювання просторових коливань локомотива;
- трибосистема «колесо–рейка».

Тел.: 8(0642)418093.

КРАВЧЕНКО Катерина Олександрівна – аспірантка кафедри залізничного транспорту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- підвищення тягових та гальмівних якостей локомотива;
- перерозподіл навантаження від колісних пар на рейки.

Тел.: 8(0642)418093.

E-mail: kkatherina@ukr.net

КРИСАНОВ Максим Андрійович – студент кафедри математики та інформатики Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- комп’ютерне програмування.

Тел.: 8(0642)418093.

КОВТАНЕЦЬ Максим Володимирович – студент кафедри залізничного транспорту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- методи вдосконалення зв’язку кузова з візком.

Тел.: 8(0642)418093.

КОЧУРА Олександр Васильович – старший викладач кафедри організації перевезень та управління на залізничному транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- експлуатаційні характеристики рухомого складу;
- підвищення ефективності роботи залізниць.

Тел.: 8(0642)415137.

Подано 20.01.2009

Горбунов М.І., Кравченко К.О., Крисанов М.А., Ковтанець М.В., Кочура О.В. Комп'ютерне програмування для прогнозування тягових і гальмівних якостей локомотива

Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Крисанов М.А., Ковтанець М.В., Кочура А.В. Компьютерное программирование для прогнозирования тяговых и тормозных качеств локомотива

Gorbunov N., Kravchenko K., Krisanov M., Kovtanec M., Kochura A. Programming on a computer for prognostication of hauling and brake qualities of locomotive.

УДК 629.4:519.242

Компьютерное программирование для прогнозирования тяговых и тормозных качеств локомотива / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, М.А. Крисанов, М.В. Ковтанець, А.В. Кочура.

На основе экспертных оценок выявлены основные факторы, которые влияют на коэффициент использования сцепного веса локомотива. Разработан авторский программный комплекс по планированию эксперимента и определению уравнения регрессии по результатам статического моделирования и экспериментальных данных.

УДК 629.4:519.242

Programming on a computer for prognostication of hauling and brake qualities of locomotive / N. Gorbunov, K. Kravchenko, M. Krisanov, M. Kovtanec, A. Kochura

On the basis of expert estimations basic factors which influence on the coefficient of the use of coupling weight of locomotive are exposed. An author programmatic complex is developed on planning of experiment and determination of equalization of regression to on by the results of static design and experimental information.