

**О.М. Сафронов**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: safronov.am84@gmail.com  
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-5865-7756>

**Ю.Я. Водянніков**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м.Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

**Д.І. Єськов**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-8950>

**С.В. Кукін**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-003-1323-8205>

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ  
ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

*Запропоновано алгоритм визначення передаточного числа важільної передачі гальмівної системи вантажного вагона в залежності від: початкової швидкості гальмування, осевого навантаження і гальмівного шляху вантажного поїзда. Алгоритм складається з двох етапів: на першому визначається дійсний коефіцієнт сили натиснення гальмівної колодки на колесо, на другому - передаточне число важільної передачі. У статті наведено математичний інструментарій для визначення дійсного коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок в залежності від гальмівного шляху вантажного поїзда. У якості математичного інструментарію використовуються універсальні формули у вигляді статичної залежності між дійсним коефіцієнтом сили натиснення і величиною гальмівного шляху вантажного поїзда.*

© Сафронов О.М., Водянніков Ю.Я., Єськов Д.І., Кукін С.В., 2022

*Коефіцієнти універсальних формул отримані шляхом комп'ютерного моделювання. Наведено таблицю значень коефіцієнтів для визначення дійсних сил натиснення за заданим гальмівним шляхом або гальмівним шляхом за величиною коефіцієнта сили натиснення в залежності від осьового навантаження вагона та швидкості на початку гальмування.*

*На численних прикладах показано, що похибка використання універсальних формул не перевищує 0,5 % порівняно з розрахунковим методом. Для автоматизації визначення передаточного числа розроблено програму в EXCEL. Програма дозволяє визначати передаточне число важільної передачі гальма вантажного вагона за заданим значенням одного параметра – гальмівного шляху вантажного поїзда. Показано, що результати програми мають задовільну збіжність з результатами розрахункових досліджень. Наведено таблицю значень передаточних чисел важільних передач гальмівних систем вантажних вагонів, за яких забезпечуються граничні допустимі характеристики гальмівної ефективності вантажних поїздів за ГОСТ 34434-2018.*

*Ключові слова:* гальмівна ефективність, вантажний вагон, гальмівний шлях, осьове навантаження, дійсний коефіцієнт, передавальне число важеля.

### **О.М. Сафронов**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения», ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: safronov.am84@gmail.com

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-5865-7756>

### **Ю.Я. Водяников**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения», ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

### **Д.И. Еськов**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения», ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-8950>

### **С.В. Кукин**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения», ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua,

ORCID: <https://orcid.org/0000-003-1323-8205>

### АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРА РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

*Предложен алгоритм определения передаточного числа тормозной рычажной передачи грузового вагона в зависимости от начальной скорости торможения, осевой нагрузки и тормозного пути грузового поезда.*

*Алгоритм состоит из двух этапов: на первом определяется действительный коэффициент силы нажатия тормозной колодки на колесо, на втором - передаточное число рычажной передачи. В статье приведен математический инструментарий для определения действительного коэффициента силы нажатия тормозных колодок, удовлетворяющий заданному значению тормозного пути грузового поезда. В качестве математического инструментария используются универсальные формулы в виде степенной зависимости между действительным коэффициентом силы нажатия и величиной тормозного пути грузового поезда. Коэффициенты универсальных формул получены на основе компьютерного моделирования. Приведена таблица значений коэффициентов для определения действительных сил нажатия по заданному тормозному пути или тормозного пути по величине коэффициента силы нажатия в зависимости от осевой нагрузки вагона и скорости в начале торможения. На многочисленных примерах показано, что погрешность использования универсальных формул не превышает 0,5 % по сравнению с расчетным методом по ГОСТ 34434-2018. Для автоматизации определения передаточного числа разработана программа EXCEL. Программа позволяет определять передаточное число рычажной передачи тормоза грузового вагона по заданному значению одного параметра – тормозного пути грузового поезда. Показано, что результаты программы имеют хорошее совпадение с результатами расчетных исследований. Представлена таблица значений передаточных чисел грузовых вагонов, при которых обеспечиваются предельные допустимые характеристики тормозной эффективности грузовых поездов по ГОСТ 34434-2018.*

*Ключевые слова:* тормозная эффективность, грузовой вагон, тормозной путь, осевая нагрузка, действительный коэффициент, передаточное число рычага.

**Вступ.** Проектування та розрахунок гальмівних систем для типових вантажних вагонів з осьовим навантаженням 230,5 кН здійснюється відповідно до методик і правил [1–4], в яких викладено основні регламентуючі характеристики гальм щодо забезпечення гальмівної ефективності вантажних поїздів. Гальмівна ефективність вантажних вагонів з композиційними та чавунними гальмівними колодками оцінюється за мінімальними допустимими величинами розрахункових коефіцієнтів сили натиснення гальмівних колодок, а також за розрахунковими силами натиснення композиційних колодок на вісь у перерахунку на чавунні [1, 2, 5]. Крім того, максимальні допустимі швидкості руху вантажних поїздів обмежуються єдиним найменшим гальмівним натисненням композиційних колодок у перерахунку на чавунні на кожні 100 т ваги поїзда [5, 6]. Параметри важеля і передавальні числа гальмівної системи обираються, залежно від типу вантажного вагона, відповідно до інструкції [7]. Для орієнтовного визначення гальмівного шляху вантажних поїздів, залежно від величини розрахункових коефіцієнтів, використовуються таблиці та номограми [2, 5].

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

**Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми.** Подальший розвиток вантажного вагонобудування шляхом створення вантажних вагонів з підвищеними осьовими навантаженнями від 245,25 кН до 294,3 кН і допустимими швидкостями руху до 160 км/год включно зумовило прийняття ГОСТ 34434-2018, в якому викладені нові правила розрахунку гальм та вимоги до гальмівної ефективності вантажних поїздів [8]. При цьому гальмівна система повинна забезпечувати ефективність, яка забезпечує зупинку вантажного поїзда в межах нормативного гальмівного шляху та забезпечувати нормативний коефіцієнт сили натиснення гальмівних колодок (табл. 1) [8].

Мінімальна допустима розрахункова сила натиснення композиційних гальмівних колодок на вісь в перерахунку на чавунні колодки (тс) залежно від максимальної допустимої швидкості руху вагону у складі поїзда і навантаження від колісної пари на рейки для навантаженого і порожнього вагонів приведені в таблицях 2 і 3.

*Таблиця 1. Вимоги до типу та ефективності гальмівних систем вантажних вагонів*

| Параметр   |                          | Максимальна допустима швидкість руху вантажного вагона у складі поїзда, км/год |                           |                            |                         |      |                         |      |
|--|--------------------------|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|------|-------------------------|------|
|  |                          | до 90<br>включ.  | в. 90<br>до 100<br>включ. | в. 100<br>до 120<br>включ. | в. 120 до<br>140 включ. |      | в. 140 до<br>160 включ. |      |
| Тип гальма (за принципом управління)   |                          | п  | п                         | п                          | п                       | е    | п                       | е    |
| Гальмівний шлях (м), не більше   | для навантажених вагонів | 1060   | 1040                      | 1200                       | 1340                    | 1130 | 1720                    | 1470 |
|  | для порожніх вагонів     | 720  | 890                       | 1200                       | 1340                    | 1130 | 1720                    | 1470 |
| Розрахунковий коефіцієнт сили натиснення композиційних гальмівних колодок  | для навантажених вагонів | 0,14   | 0,18                      | 0,25                       | 0,30                    |      | —                       | —    |
|  | для порожніх вагонів     | 0,22   | 0,22                      | 0,25                       | 0,28                    |      | —                       | —    |
| <p><i>Примітки:</i></p> <p>1. Усі значення гальмівних шляхів приведені для ділянок залізничної колії з нульовим ухилом. Гальмівні шляхи для значень швидкості понад 140 до 160 км/год включно уточнюються при проектуванні. Знак "-" означає, що параметр не застосовують;</p> <p>2. В рядку "Тип гальма" символом "п" позначено пневматичне гальмо, символом "е" - електропневматичне гальмо.</p> |                          |  |                           |                            |                         |      |                         |      |

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

**Таблиця 2. Мінімальна допустима розрахункова сила натиснення композиційних гальмівних колодок на вісь у перерахунку на чавунні колодки (тс) для завантаженого вагона**

| Максимальна допустима швидкість руху вантажного вагона у складі поїзда, км/год | Навантаження від колісних пар на рейки, т |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|--|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  | до 18,0 включ.                            | в. 18,0 до 20,5 включ. | в. 20,5 до 21,5 включ. | в. 21,5 до 23,5 включ. | в. 23,5 до 25,0 включ. | в. 25,0 до 27,0 включ. | в. 27,0 до 30,0 включ. |
| До 90 включ.   | 6,0                                       | 7,0                    | 7,5                    | 8,0                    | 8,5                    | 9,0                    | 10,0                   |
| Св. 90 до 100 включ.   | 8,5                                       | 9,5                    | 10,0                   | 10,5                   | 11,5                   | —                      | —                      |
| Св. 100 до 120 включ.  | 11,0                                      | 12,5                   | 13,0                   | 14,5                   | —                      | —                      | —                      |
| Св. 120 до 140 включ.  | 14,0                                      | 16,0                   | —                      | —                      | —                      | —                      | —                      |
| Св. 140 до 160 включ.  | 14,5                                      | —                      | —                      | —                      | —                      | —                      | —                      |

**Таблиця 3. Мінімальна допустима розрахункова сила натиснення композиційних гальмівних колодок на вісь у перерахунку на чавунні колодки (тс) для порожнього вагону**

| Максимальна допустима швидкість руху вантажного вагона у складі поїзда, км/год | Навантаження від колісних пар на рейки, т |                  |                  |                  |                  |                   |                    |
|--|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
|  | до 5 включ.                               | в. 5 до 6 включ. | в. 6 до 7 включ. | в. 7 до 8 включ. | в. 8 до 9 включ. | в. 9 до 10 включ. | в. 10 до 11 включ. |
| до 90 включ.   | 3   | 3,5              | 4,0              | 4,5              | 5,0              | 5,5               | 6,0                |
| в. 90 до 100 включ.  | 3   | 3,5              | 4,0              | 4,5              | 5,0              | 5,5               | 6,0                |
| в. 100 до 120 включ.   | 3   | 4,5              | 4,5              | 5,0              | 5,5              | 6,0               | 6,5                |
| в. 120 до 140 включ.   | 4   | 5,0              | 5,5              | 6,5              | 7,0              | 8,0               | 8,5                |
| в. 140 до 160 включ.   | 4   | 5,0              | 5,5              | 6,5              | 7,0              | 8,0               | 8,5                |

Основна особливість вимог до гальмівної ефективності полягає в тому, що в критерії гальмівної ефективності уперше введені максимальні допустимі гальмівні

шляхи вантажного поїзда на площадці залежно від швидкості на початку гальмування, причому значення гальмівних шляхів є єдиними для усього діапазону осьових навантажень (230,5 - 294,3) кН (див. таблицю 1).

Викладені в [8] правила гальмівних розрахунків вантажних вагонів, мають принципові відмінності від правил розрахунку [1–4]. Основні відмінності полягають в тому, що гальмівний шлях вантажного поїзда розраховується за дійсними силами натиснення гальмівних колодок і дійсними коефіцієнтами тертя з урахуванням аналітичної залежності зміни дійсної сили натиснення гальмівних колодок на колеса вантажного поїзда в процесі гальмування.

В той же час, слід зазначити, що оцінювальною характеристикою гальмівних шляхів вантажного поїзда є дійсний коефіцієнт сили натиснення композиційних колодок на колеса.

**Мета та завдання дослідження.** Відсутність нормативних значень дійсних коефіцієнтів сили натиснення гальмівних колодок на колеса (далі дійсний коефіцієнт сили натиснення) в нових правилах [8], за яких забезпечуються нормативні максимальні допустимі значення гальмівних шляхів вантажних поїздів, викликає невизначеність в рішенні вказаної задачі і не дозволяє визначити оптимальні характеристики гальма для заданих умов гальмівної ефективності.

Невизначеність полягає в тому, що вибір коефіцієнта дійсної сили натиснення і характеристик важільної передачі (передатного числа) гальмівної системи вантажного вагона доводиться виконувати методом перебору великої кількості варіантів.

Тому, метою роботи є розробка алгоритму для визначення передатного числа важільної передачі гальмівної системи і дійсного коефіцієнта сили натиснення, що забезпечують нормативні вимогам до гальмівної ефективності.

### **Матеріали і методи дослідження.**

Алгоритм складається з двох етапів: на першому визначається дійсний коефіцієнт сили натиснення, другий полягає у визначенні передатного числа важільної передачі.

### **1 Визначення дійсного коефіцієнта сил натиснення гальмівних колодок**

Відомо, що гальмівний шлях і визначальні його величину параметри (дійсні коефіцієнти, питомі гальмівні сили, коефіцієнти тертя, коефіцієнти зчеплення колеса з рейкою та ін.) знаходяться в зворотній залежності гіперболічного типу [9, 10], що дозволяє функціональну залежність між вказаними параметрами представити у вигляді залежності:

$$A = c \cdot B^d, \quad (1)$$

де коефіцієнти  $c$  та  $d$  підлягають визначенню.

Формула (1) може бути представлена у вигляді:

$$A = \exp(\ln c + d \cdot \ln B) \quad (2)$$

На підставі формул (1) і (2) залежність дійсного коефіцієнта сили натиснення від значення гальмівного шляху вантажного поїзда та гальмівного шляху від значення дійсного коефіцієнта при фіксованій швидкості на початку гальмування визначаються математичними виразами:

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\delta_{\partial}(V_0) = c_{\partial}(V_0) \cdot S(V_0)^{d_{\partial}(V_0)}, \quad (3)$$

$$\delta_{\partial}(V_0) = \exp(\ln c_{\partial}(V_0) + d_{\partial}(V_0) \cdot \ln S(V_0)), \quad (4)$$

$$S(V_0) = c_s(V_0) \cdot \delta_s(V_0)^{d_s(V_0)}, \quad (5)$$

$$S(V_0) = \exp(\ln c_s(V_0) + d_s(V_0) \cdot \ln \delta_s(V_0)), \quad (6)$$

де  $V_0$  - швидкість на початку гальмування, км/год;

$\delta_{\partial}$  - дійсний коефіцієнт сили натиснення гальмівних колодок на колеса;

$S$  - гальмівний шлях, м;

$c_{\partial(s)}(V_0)$  та  $d_{\partial(s)}(V_0)$  - коефіцієнти рівнянь (3) – (6);

Коефіцієнти  $c_{\partial(s)}(V_0)$  та  $d_{\partial(s)}(V_0)$  рівнянь (3) – (6) визначаються статистичним методом [9] та мають вигляд:

- для визначення дійсного коефіцієнта сили натиснення за величиною гальмівного шляху:

$$c_{\partial}(V_k) = \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2} \right) \quad (7)$$

$$d_{\partial}(V_k) = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2} \quad (8)$$

- для визначення гальмівного шляху за значенням дійсного коефіцієнта сили натиснення:

$$c_s(V_k) = \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(\delta_i(V_k)))^2} \right) \quad (9)$$

$$d_s(V_k) = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(\delta_i(V_k)))^2} \quad (10)$$

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

де  $S_i(V_k)$  и  $\delta_i(V_k)$  - масиви значень дійсних коефіцієнтів і відповідних їм гальмівних шляхів вантажного поїзда за швидкості на початку гальмування  $V_k$ , які отримані шляхом рішення диференціального рівняння вантажного поїзда при гальмуванні методом Рунге-Кутте четвертого порядку з урахуванням зміни сили натиснення гальмівних колодок у процесі руху (рис. 1) [2, 4].

Значення коефіцієнтів  $c_{d(s)}(V_0)$  та  $d_{d(s)}(V_0)$  у формулах (3) – (6) наведені в табл. 4.

Рекомендується розрахункові дослідження виконувати у середовищі EXCEL, використовуючи формулу «СТУПЕНЯ», що дозволяє автоматизувати процес обчислення характеристик (рис. 2).

Аналогічні значення можуть бути отримані аналітичним методом із застосуванням формул (4) та (6).

Для ілюстрації, визначимо дійсний коефіцієнт сили натиснення аналітичним методом за наступних умов: гальмівний шлях поїзда – 992 м; швидкість початку гальмування 90 км/год; осьове навантаження 245,3 кН.

Коефіцієнти рівняння (4) обираються за табл. 4:  $c(90) = 78657,7$ ;  $d(90) = -1,5798$ , для яких дійсний коефіцієнт сили натиснення дорівнюватиме:

| V, год | Дійсний коефіцієнт сили натиснення / Гальмівний шлях вантажного поїзда, м |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
|--------|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|        | 1,24  | 1,26 | 1,28 | 1,30 | 1,32 | 1,34 | ... | 1,96 | 1,98 | 2,00 | ... | 2,14 | 2,16 | 2,18 | 2,20 | 2,22 |
| 20     | 81  | 80   | 80   | 79   | 79   | 78   | ... | 68   | 68   | 67   | ... | 66   | 66   | 65   | 65   | 65   |
| 30     | 154   | 153  | 152  | 151  | 150  | 149  | ... | 126  | 126  | 125  | ... | 122  | 122  | 121  | 121  | 120  |
| 40     | 250   | 248  | 246  | 244  | 242  | 240  | ... | 200  | 199  | 199  | ... | 193  | 192  | 191  | 191  | 190  |
| 50     | 370   | 367  | 363  | 360  | 357  | 354  | ... | 291  | 289  | 288  | ... | 279  | 278  | 277  | 276  | 274  |
| 60     | 514   | 509  | 504  | 500  | 495  | 491  | ... | 398  | 396  | 394  | ... | 381  | 379  | 378  | 376  | 374  |
| 70     | 683   | 676  | 669  | 663  | 657  | 651  | ... | 524  | 521  | 518  | ... | 500  | 497  | 495  | 493  | 490  |
| 80     | 877   | 868  | 859  | 851  | 843  | 835  | ... | 667  | 663  | 659  | ... | 635  | 632  | 629  | 626  | 623  |
| 90     | 1097  | 1085 | 1074 | 1064 | 1053 | 1043 | ... | 828  | 823  | 818  | ... | 787  | 783  | 779  | 775  | 772  |
| 100    | 1343  | 1328 | 1315 | 1301 | 1288 | 1275 | ... | 1007 | 1001 | 995  | ... | 957  | 952  | 947  | 942  | 937  |
| 110    | 1614  | 1597 | 1580 | 1563 | 1548 | 1532 | ... | 1205 | 1198 | 1190 | ... | 1144 | 1138 | 1131 | 1126 | 1120 |
| 120    | 1911  | 1890 | 1870 | 1851 | 1832 | 1813 | ... | 1421 | 1412 | 1404 | ... | 1348 | 1340 | 1333 | 1326 | 1319 |
| 130    | 2233  | 2209 | 2185 | 2162 | 2140 | 2118 | ... | 1656 | 1645 | 1635 | ... | 1569 | 1561 | 1552 | 1543 | 1535 |
| 140    | 2581  | 2553 | 2525 | 2498 | 2472 | 2447 | ... | 1909 | 1897 | 1885 | ... | 1808 | 1798 | 1788 | 1778 | 1768 |

Рис. 1. Масиви значень дійсних коефіцієнтів і гальмівних шляхів вантажного поїзда.

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів для визначення дійсного коефіцієнта сили натиснення та гальмівного шляху

| $V_0$ ,<br>км/год                     | $\delta_0(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V_0)}$ |          | $V_0$ ,<br>км/год | $S(V_0)_{\text{експ}} = c(V_0) \cdot \delta_0(V_0)^{d(V_0)}$ |          |
|---------------------------------------|--|----------|-------------------|--|----------|
|                                       | $c(V_0)$                                       | $d(V_0)$ |                   | $c(V_0)$   | $d(V_0)$ |
| 1                                     | 2  | 3        | 4                 | 5  | 6        |
| Осьове навантаження 230,5кН (23,5 тс) |  |          |                   |  |          |
| 90                                    | 66556,7  | -1,5579  | 90                | 1246,7   | -0,63997 |
| 100                                   | 149113,1                                       | -1,6283  | 100               | 1498,7   | -0,60801 |
| 120                                   | 624339,9                                       | -1,7496  | 120               | 2053,8   | -0,57204 |
| Осьове навантаження 245,3 кН (25 тс)  |  |          |                   |  |          |
| 90                                    | 78657,7  | -1,5798  | 90                | 1253,9   | -0,6289  |
| 100                                   | 182576,3                                       | -1,6548  | 100               | 1511,9   | -0,6044  |
| 120                                   | 612987,6                                       | -1,7438  | 120               | 2061,5   | -0,5623  |



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Закінчення табл. 4

| Осьове навантаження 264,9 кН (27 тс) |           |         |     |        |         |
|--------------------------------------|-----------|---------|-----|--------|---------|
| 1                                    | 2         | 3       | 4   | 5      | 6       |
| 90                                   | 61709,6   | -1,5422 | 90  | 1275,8 | -0,6447 |
| 100                                  | 209969,7  | -1,6715 | 100 | 1520,2 | -0,5902 |
| 120                                  | 916865,9  | -1,7964 | 120 | 2076,8 | -0,5529 |
| Осьове навантаження 294,3 кН (30 тс) |           |         |     |        |         |
| 90                                   | 75973,8   | -1,5681 | 90  | 1295,8 | -0,6381 |
| 100                                  | 317759,9  | -1,7260 | 100 | 1540,0 | -0,5788 |
| 120                                  | 1528367,4 | -1,8623 | 120 | 2102,8 | -0,5417 |

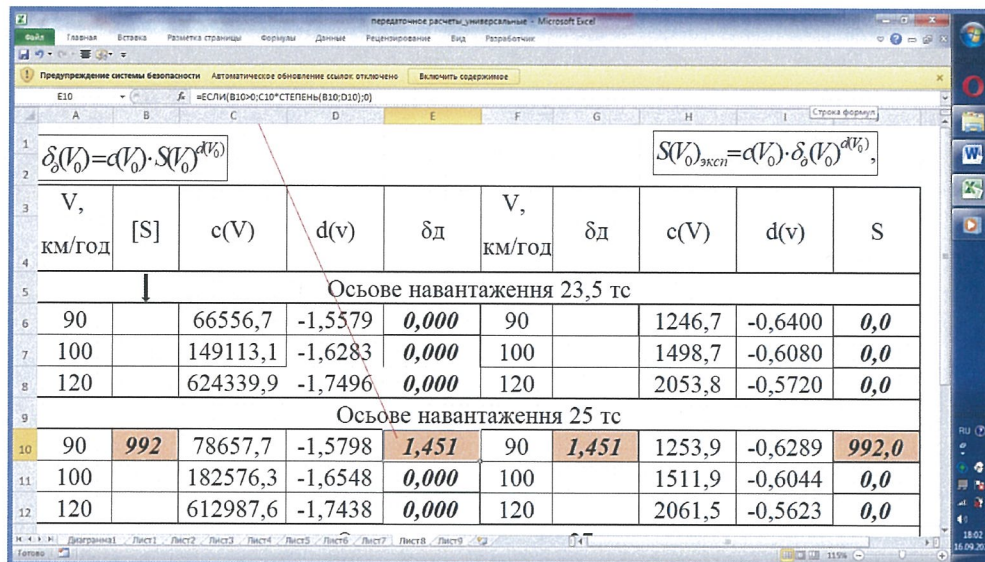


Рис. 2. Використання EXCEL для визначення дійсних коефіцієнтів та відповідних їм гальмівних шляхів вантажного поїзда.

$$\delta_d = \exp(\ln(78657,7) + (-1,5798) * \ln(950)) = \exp(11,273 - 10,9) = \exp(0,3726) = 1,451$$

Розрахунок гальмівної ефективності при заданих значеннях, виконаний за методикою ГОСТ 34434-2018 [8] (рис. 3), показав задовільну збіжність з результатами отриманими за допомогою коефіцієнтів, так дійсні коефіцієнти склали відповідно 1,452 та 1,45, гальмівні шляхи - 992,4 м та 992 м.

### 2 Визначення передачного числа важельної передачі вантажного вагона при заданих параметрах гальмівної ефективності

Дійсна сила натиснення на одну колодку визначається за формулою [1 – 4, 8]:

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$K_{\delta} = \frac{\kappa}{m} \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ц}} - (P_{\text{ц}} + \mathcal{J}_{\text{нр}} \cdot l_{\text{умт}}) - (P_{\text{р}} + \mathcal{J}_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}) \cdot n_p \right) \cdot n \cdot \eta_{\text{рп}} \quad (11)$$

де  $d$  - ефективна площа гальмівного циліндра, м<sup>2</sup>;

$p_{\text{ц}}$  - розрахунковий тиск у гальмівному циліндрі, кПа;

$P_{\text{ц}}$  - сила попереднього стиску внутрішньої відпускної пружини гальмівного циліндра, кН;

$\mathcal{J}_{\text{нр}}$  - жорсткість відпускної пружини гальмівного циліндра, кН/м;

$l_{\text{умт}}$  - вихід штока гальмівного циліндра, м;

$P_{\text{р}}$  - попереднє стиснення пружини автоматичного регулятора важеля, кН.

$\mathcal{J}_{\text{р}}$  - жорсткість пружини автоматичного регулятора важеля, кН;

$l_{\text{р}}$  - величина стиснення пружини автоматичного регулятора важеля при гальмуванні, м;

$n_p$  - передаточне число приводу автоматичного регулятора;

$n$  - передаточне число важільної передачі;

$\eta_{\text{рп}}$  - к.к.д. важільної передачі,  $\eta_{\text{рп}} = 0,95$ ;

$\eta_{\text{ц}}$  - к.к.д. гальмівного циліндра,  $\eta_{\text{ц}} = 98$ ;

$m$  - кількість гальмівних колодок;

$\kappa$  - кількість гальмівних циліндрів.

Для визначення дійсного коефіцієнта сили натискання ( $\delta_{\delta}$ ) використовується формула [1, 2, 8]:

$$\delta_{\delta} = \frac{K_{\delta} \cdot m}{P_{\text{сп}} + T}, \quad \text{кН / т}, \quad (12)$$

де,  $P_{\text{сп}}$  - маса вантажу, т;

$T$  - маса вагона, т.

Перетворюючи формулу (11) з урахуванням формули (12), отримуємо формулу для визначення передаточного числа з урахуванням дійсного коефіцієнта сили натискання:

$$n = \frac{\delta_{\delta} \cdot (P_{\text{сп}} + T)}{\kappa \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ц}} - (P_{\text{ц}} + \mathcal{J}_{\text{нр}} \cdot l_{\text{умт}}) - (P_{\text{р}} + \mathcal{J}_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}) \cdot n_p \right) \cdot \eta_{\text{рп}}} \quad (13)$$

Формула (13) може бути спрощена, якщо її розбити на окремі фрагменти:

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$n = \frac{SK}{\kappa \cdot (KC - KO - KR) \cdot \eta_{pn}}, \quad (14)$$

де  $SK = \delta_\delta \cdot (P_{zp} + T)$  - сумарна сила натискання гальмівних колодок;

$$KC = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_\psi \cdot \eta_\psi - \text{сила, що діє на поршень гальмівного циліндра};$$

$KO = P_\psi + \mathcal{J}_{np} \cdot l_{um}$  - протидіюча сила відпускної пружини гальмівного циліндра;

$KR = (P_p + \mathcal{J}_p \cdot l_p) \cdot n_p$  - протидіюча сила автоматичного регулятора, яка приведена до штока гальмівного циліндра.

| Вихідні дані   |              |         | Результати розрахунку   |          |        |
|--|--------------|---------|---|----------|--------|
| модель вагона  |              | 7017-05 | Обчислені за новими правилами   |          |        |
| інтервальний крок часу гальмування                     |              | 0,1     | Композиційні  |          |        |
| Початкова швидкість для навантаженого поїзда, км / год |              | 90      | Порожній  | Навантаж |        |
| Початкова швидкість для порожнього поїзда, км / год    |              | 100     |   |          |        |
| параметри вагона                                       |              |         |   |          |        |
| Сила тяжіння вагона, тс                                |              | 24,5    | Зусилля стиснення відпускної пружини тс, кН   | 1,033    | 1,033  |
| Сила тяжіння вантажу, тс                               |              | 75,100  | Зусилля пружини авторегулятора, кН  | 0,513    | 0,513  |
| Число гальмівних колодок на вагоні                     |              | 8,000   | Дійсна сила натиснення на колодку, кН   | 6,647    | 18,075 |
| Число гальмівних колодок колісній парі                 |              | 2,000   | Розрахункова сила натиснення на колодку, кН   | 7,384    | 17,598 |
| Число гальмівних циліндрів                             |              | 2,000   | Розрахунковий гальмівний коефіцієнт, тс/т   | 0,246    | 0,144  |
| Параметри гальмівного циліндра                         |              |         | Дійсний гальмівний коефіцієнт, кН/т   | 2,171    | 1,452  |
| Діаметр поршня, м                                      |              | 0,254   | Безрозмірний дійсний гальмівний коефіцієнт, тс/т  | 0,221    | 0,148  |
| Жорсткість пружини, кН / м                             |              | 2,300   | осьове навантаження, тс   | 6,13     | 24,90  |
| Зусилля попереднього стиснення пружини, кН             |              | 0,883   | Гальмівна ефективність  |          |        |
| ККД гальмівного циліндра                               |              | 0,980   | Швидкість на початку гальмування, км / год  | 100      | 90     |
| композиційні колодки                                   |              |         | Гальмівний шлях, м  | 782,1    | 992,4  |
| тиск в гальмівному циліндрі, кПа                       | навантажений | 300     | Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок   | 0,645    | 0,375  |
|  | порожній     | 130     | Гальмівний шлях при чавунних колодках, м  | 782,4    | 992,1  |
| Передавальне відношення важеля передачі                |              | 5,7     | Сила натиснення композиційних колодок на вісь в перерахунку на чавунні  | 3,95     | 9,33   |
| Вихід штока гальмівного циліндра, м                    | навантажений | 0,065   | Для довідки   |          |        |
|  | порожній     | 0,065   | Гальмівний шлях поїзда при розрахунковому коефіцієнті   | 1006,5   |        |
| параметри авторегулятора                               |              |         | <b>Перерахунок на чавунні колодки в навантаженому стані поїзда</b><br><br><b>Перерахунок на чавунні колодки в порожньому стані поїзда</b> |          |        |
| Зусилля попереднього стиснення, кН                     |              | 0,883   |   |          |        |
| Жорсткість пружини, кН / м                             |              | 20,8    |   |          |        |
| Величина стиснення при гальмуванні, м                  |              | 0,010   |   |          |        |
| Передавальне відношення (композиційні колодки)         |              | 0,470   |   |          |        |
| Передавальне відношення (чавунні колодки)              |              | 0,560   |   |          |        |
| ККД важеля передачі                                    |              | 0,950   |   |          |        |

Рис. 3. Розрахунок гальмівної ефективності вантажного поїзда за методикою ГОСТ 34434-2018 [8]

Із застосуванням формул (3) та (5) були отримані мінімальні значення дійсних коефіцієнтів сили натиснення композиційних колодок, за яких гальмівні шляхи вантажного поїзда відповідають максимальним допустимим значенням (рис. 4).



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

| $\delta_o(V_o) = c(V_o) \cdot S(V_o)^{d(V_o)}$ |      |           |         |       | $S(V_o)_{\text{норм}} = c(V_o) \cdot \delta_o(V_o)^{d(V_o)}$ |       |        |         |        |      |        |
|--|------|-----------|---------|-------|--|-------|--------|---------|--------|------|--------|
| V, км/ч  | [S]  | c(V)      | d(v)    | δд    | V, км/ч  | δд    | c(V)   | d(v)    | S      | [S]  | Δ      |
| Осьове навантаження 230,5 кН (23,5 тс)         |      |           |         |       |  |       |        |         |        |      |        |
| 90   | 1060 | 66556,7   | -1,5579 | 1,289 | 90   | 1,289 | 1246,7 | -0,6400 | 1059,8 | 1060 | 0,015% |
| 100  | 1040 | 149113,1  | -1,6283 | 1,823 | 100  | 1,823 | 1498,7 | -0,6080 | 1040,1 | 1040 | 0,011% |
| 120  | 1200 | 624339,9  | -1,7496 | 2,558 | 120  | 2,558 | 2053,8 | -0,5720 | 1200,0 | 1200 | 0,001% |
| Осьове навантаження 245,3 кН (25 тс)           |      |           |         |       |  |       |        |         |        |      |        |
| 90   | 1060 | 78657,7   | -1,5798 | 1,307 | 90   | 1,307 | 1253,9 | -0,6289 | 1059,6 | 1060 | 0,042% |
| 100  | 1040 | 182576,3  | -1,6548 | 1,857 | 100  | 1,857 | 1511,9 | -0,6044 | 1040,0 | 1040 | 0,000% |
| 120  | 1200 | 612987,6  | -1,7438 | 2,617 | 120  | 2,617 | 2061,5 | -0,5623 | 1200,1 | 1200 | 0,011% |
| Осьове навантаження 264,9 кН (27 тс)           |      |           |         |       |  |       |        |         |        |      |        |
| 90   | 1060 | 61709,6   | -1,5422 | 1,333 | 90   | 1,333 | 1275,8 | -0,6447 | 1060,1 | 1060 | 0,012% |
| 100  | 1040 | 209969,7  | -1,6715 | 1,902 | 100  | 1,902 | 1520,2 | -0,5902 | 1040,0 | 1040 | 0,005% |
| 120  | 1200 | 916865,9  | -1,7964 | 2,697 | 120  | 2,697 | 2076,8 | -0,5529 | 1200,0 | 1200 | 0,003% |
| Осьове навантаження 294,3 кН (30 тс)           |      |           |         |       |  |       |        |         |        |      |        |
| 90   | 1060 | 75973,8   | -1,5681 | 1,370 | 90   | 1,370 | 1295,8 | -0,6381 | 1060,0 | 1060 | 0,002% |
| 100  | 1040 | 317759,9  | -1,7260 | 1,971 | 100  | 1,971 | 1540,0 | -0,5788 | 1040,0 | 1040 | 0,001% |
| 120  | 1200 | 1528367,4 | -1,8623 | 2,817 | 120  | 2,817 | 2102,8 | -0,5417 | 1200,0 | 1200 | 0,004% |

Рис. 4. Мінімальні значення дійсних коефіцієнтів сили натиснення, для яких гальмівні шляхи поїзда відповідають нормативним значенням

Вибір передаточного числа важільної передачі вантажного вагона, а також визначення дійсного коефіцієнта або гальмівного шляху повністю автоматизовано із застосуванням програмного комплексу EXCEL.

Для роботи з програмою достатньо задати у відповідну графу таблиці гальмівний шлях вантажного поїзда, а отриманий дійсний коефіцієнт скопіювати в окремих осередок (рис. 5).

| $\delta_o(V_o) = c(V_o) \cdot S(V_o)^{d(V_o)}$ |       |           |         |       | $S(V_o)_{\text{норм}} = c(V_o) \cdot \delta_o(V_o)^{d(V_o)}$ |       |        |         |       |     |   |
|--|-------|-----------|---------|-------|--|-------|--------|---------|-------|-----|---|
| V, км/ч  | [S]   | c(V)      | d(v)    | δд    | V, км/ч  | δд    | c(V)   | d(v)    | S     | [S] | Δ |
| Осьова навантаження 23,5 тс                    |       |           |         |       |  |       |        |         |       |     |   |
| 90   |       | 66556,7   | -1,5579 | 0,000 | 90   | 0,000 | 1246,7 | -0,6400 | 0,0   |     |   |
| 100  |       | 149113,1  | -1,6283 | 0,000 | 100  | 0,000 | 1498,7 | -0,6080 | 0,0   |     |   |
| 120  |       | 624339,9  | -1,7496 | 0,000 | 120  | 0,000 | 2053,8 | -0,5720 | 0,0   |     |   |
| Осьова навантаження 25 тс                      |       |           |         |       |  |       |        |         |       |     |   |
| 90   | 992,0 | 78657,7   | -1,5798 | 1,451 | 90   | 1,451 | 1253,9 | -0,6289 | 992,0 |     |   |
| 100  |       | 182576,3  | -1,6548 | 0,000 | 100  | 0,000 | 1511,9 | -0,6044 | 0,0   |     |   |
| 120  |       | 612987,6  | -1,7438 | 0,000 | 120  | 0,000 | 2061,5 | -0,5623 | 0,0   |     |   |
| Осьова навантаження 27 тс                      |       |           |         |       |  |       |        |         |       |     |   |
| 90   |       | 61709,6   | -1,5422 | 0,000 | 90   | 0,000 | 1275,8 | -0,6447 | 0,0   |     |   |
| 100  |       | 209969,7  | -1,6715 | 0,000 | 100  | 0,000 | 1520,2 | -0,5902 | 0,0   |     |   |
| 120  |       | 916865,9  | -1,7964 | 0,000 | 120  | 0,000 | 2076,8 | -0,5529 | 0,0   |     |   |
| Осьова навантаження 30 тс                      |       |           |         |       |  |       |        |         |       |     |   |
| 90   |       | 75973,8   | -1,5681 | 0,000 | 90   | 0,000 | 1295,8 | -0,6381 | 0,0   |     |   |
| 100  |       | 317759,9  | -1,7260 | 0,000 | 100  | 0,000 | 1540,0 | -0,5788 | 0,0   |     |   |
| 120  |       | 1528367,4 | -1,8623 | 0,000 | 120  | 0,000 | 2102,8 | -0,5417 | 0,0   |     |   |

|   |       |
|---|-------|
| δд = 1,451  |       |
| <b>Параметри гальмівної системи</b>                     |       |
| Маса вагона з вантажем, т                               | 99,6  |
| Число гальмівних колодок на вагоні                      | 8     |
| Число гальмівних колодок колісної пари                  | 2     |
| Число гальмівних циліндрів                              | 2     |
| <b>Параметри тормозного циліндра</b>                    |       |
| Діаметр поршня, м                                       | 0,254 |
| Жорсткість пружини, кН / м                              | 2,3   |
| Зусилля попереднього стиснення пружини, кН              | 0,883 |
| ККД гальмівного циліндра                                | 0,98  |
| тиск в гальмівному циліндрі, кПа                        | 300   |
| Вихід штока гальмівного циліндра, м                     | 0,065 |
| <b>Параметри авторегулятора</b>                         |       |
| Зусилля попереднього стиснення, кН                      | 0,883 |
| Жорсткість пружини, кН / м                              | 20,8  |
| Величина стиснення при гальмуванні, м                   | 0,01  |
| Передавальне відношення (композиція)                    | 0,47  |
| ККД важеля передачі                                     | 0,95  |
| <b>Обчислення передавального числа</b>                  |       |
| $SK = \delta_o \cdot Q_{op}$                            |       |
| 144,57  |       |
| $KC = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_n \cdot \eta_n$   |       |
| 14,90   |       |
| $KO = P_n + K_p \cdot l_{ш}$                            |       |
| 1,0325  |       |
| $KR = (P_p + K_p \cdot l_p) \cdot n_p$                  |       |
| 0,51277   |       |
| <b>передавальне число</b>                               |       |
| $n = \frac{SK}{k \cdot (KC - KO - KR) \cdot \eta_{пр}}$ |       |
| 5,70  |       |

Рис. 5. Визначення передаточного числа гальмівної передачі вантажного вагона для швидкості 90 км/год, гальмівного шляху вантажного поїзда 992 м і осьового навантаження 25 тс

Для ілюстрації визначення передаточного числа, у якості першого прикладу, використовуються дані виконаного раніше розрахунку напіввагону (див. рис. 2).

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Порівняльний аналіз показав практично повну збіжність значень передаточних чисел при розрахунку та за запропонованим алгоритмом (див. рис. 5).

Як другий приклад, визначено передаточне відношення важільної передачі для гальмівного шляху вантажного поїзда 1000 м за швидкості 100 км/год і з осьовим навантаженням вагонів 23,5 тс. Розрахунок за запропонованою методикою показав, що при цьому дійсний коефіцієнт сили натиснення становить 1,944 кН/т, а передаточне відношення – 7,2 (рис. 6)

| $\delta_d(V_d) = c(V_d) \cdot S(V_d)^{d(d)}$ |      | $S(V_d)_{max} = c(V_d) \cdot \delta_d(V_d)^{d(d)}$ |         | $\delta_d = 1,944$ |       |
|--|------|--|---------|--------------------|-------|
| V, км/год                                    | [S]  | c(V)   | d(V)    | V, км/год          | S     |
| Осьова навантаження 23,5 тс                  |      |  |         |                    |       |
| 90   |      | 66556,7  | -1,5579 | 90                 | 0,000 |
| 100  | 1000 | 149113,1   | -1,6283 | 100                | 1,944 |
| 120  |      | 624339,9   | -1,7496 | 120                | 0,000 |
| Осьова навантаження 25 тс                    |      |  |         |                    |       |
| 90   |      | 78657,7  | -1,5798 | 90                 | 0,000 |
| 100  |      | 182576,3   | -1,6548 | 100                | 0,000 |
| 120  |      | 612987,6   | -1,7438 | 120                | 0,000 |
| Осьова навантаження 27 тс                    |      |  |         |                    |       |
| 90   |      | 61709,6  | -1,5422 | 90                 | 0,000 |
| 100  |      | 209969,7   | -1,6715 | 100                | 0,000 |
| 120  |      | 916865,9   | -1,7964 | 120                | 0,000 |
| Осьова навантаження 30 тс                    |      |  |         |                    |       |
| 90   |      | 75973,8  | -1,5681 | 90                 | 0,000 |
| 100  |      | 317759,9   | -1,7260 | 100                | 0,000 |
| 120  |      | 1528367,4  | -1,8623 | 120                | 0,000 |

| Параметри гальмівної системи           |       | Обчислення передаточного числа                       |      |
|--|-------|--|------|
| Маса вагона з вантажем, т              | 94    | $SK = \delta_d \cdot Q_{gr}$                         |      |
| Число гальмівних колодок на вагон      | 8     | 182,71   |      |
| Число гальмівних колодок колісної пари | 2     | $KC = \pi \cdot d^2 \cdot \rho_s \cdot \eta_s$       |      |
| Число гальмівних циліндрів             | 2     | 1,490  |      |
| Параметри тормозного циліндра          |       |  |      |
| Діаметр поршня, м                      | 0,254 | $KO = P_s + Z_{kp} \cdot l_{km}$                     |      |
| Жорсткість пружини, кН / м             | 2,3   | 1,0325   |      |
| Зусилля попереднього стиснення пружини | 0,883 | $KR = (P_s + Z_{kp} \cdot l_{kp}) \cdot \eta_p$      |      |
| ККД гальмівного циліндра               | 0,98  | 0,51277  |      |
| Тиск в гальмівному циліндрі, кПа       | 300   |  |      |
| Вихід штока гальмівного циліндра, м    | 0,065 |  |      |
| Параметри авторегулятора               |       |  |      |
| Зусилля попереднього стиснення, кН     | 0,883 |  |      |
| Жорсткість пружини, кН / м             | 20,8  |  |      |
| Величина стиснення при гальмуванні     | 0,01  |  |      |
| Передавальне відношення (композиція)   | 0,47  |  |      |
| ККД важеля передачі                    | 0,95  |  |      |
|  |       | $n = \frac{SK}{k \cdot (KC - KO - KR) \cdot \eta_p}$ | 7,20 |

Рис. 6. Визначення передаточного числа гальмівної передачі вантажного вагона за швидкості 100 км/год, гальмівному шляху вантажного поїзда 1000 м і осьовому навантаженні 23,5 тс

| Вихідні дані   |                    | Результати розрахунку  |                   |
|--|--------------------|--|-------------------|
| модель вагона  |                    | Обчислені за новими правилами  | Композиційні      |
| інтервальний крок часу гальмування                     | 0,1                |  | Порожній Навантаж |
| Початкова швидкість для навантаженого поїзда, км / год | 100                | Зусилля стиснення відпусної пружини тт                                   | 1,033 1,033       |
| Початкова швидкість для порожнього поїзда, км / год    | 100                | Зусилля пружини авторегулятора, кН                                       | 0,513 0,513       |
| параметри вагона                                       |                    | Дійсна сила натиснення на колодку, кН                                    | 8,396 22,832      |
| Сила тягіння вагона, тс                                | 23                 | Розрахункова сила натиснення на колодку,                                 | 9,121 21,219      |
| Сила тягіння вантажу, тс                               | 71,000             | Розрахунковий гальмівний коефіцієнт, тс/т                                | 0,323 0,184       |
| Число гальмівних колодок на вагоні                     | 8,000              | Дійсний гальмівний коефіцієнт, кН/т                                      | 2,921 1,943       |
| Число гальмівних колодок колісної пари                 | 2,000              | Безрозмірний дійсний гальмівний коефіцієнт                               | 0,298 0,198       |
| Число гальмівних циліндрів                             | 2,000              | осьове навантаження, тс  | 5,75 23,50        |
| Параметри гальмівного циліндра                         |                    | Гальмівна ефективність   |                   |
| Діаметр поршня, м                                      | 0,254              | Швидкість на початку гальмування, км / год                               | 100 100           |
| Жорсткість пружини, кН / м                             | 2,300              | Гальмівний шлях, м   | 648,4 998,5       |
| Зусилля попереднього стиснення пружини, кН             | 0,883              | Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок                                | 0,856 0,492       |
| ККД гальмівного циліндра                               | 0,980              | Гальмівний шлях при чавунних колодках, м                                 | 648,8 998,1       |
| композиційні колодки                                   |                    | Сила натиснення композиційних колодок на вісь в в перерахунку на чавунні | 4,92 11,57        |
| тиск в гальмівному циліндрі, кПа                       | навантажений 300   | Для довідки  |                   |
|  | порожній 130       | гальмівний шлях поїзда при розрахунковому коефіцієнті                    | 1016,9            |
| Передавальне відношення важеля передачі                | 7,2                | Перерахунок на чавунні колодки в навантаженому стані поїзда              |                   |
| Вихід штока гальмівного циліндра, м                    | навантажений 0,065 | Перерахунок на чавунні колодки в порожньому стані поїзда                 |                   |
|  | порожній 0,065     |  |                   |
| параметри авторегулятора                               |                    |  |                   |
| Зусилля попереднього стиснення, кН                     | 0,883              |  |                   |
| Жорсткість пружини, кН / м                             | 20,8               |  |                   |
| Величина стиснення при гальмуванні, м                  | 0,010              |  |                   |
| Передавальне відношення (композиційні колодки)         | 0,470              |  |                   |
| Передавальне відношення (чавунні колодки)              | 0,560              |  |                   |
| ККД важеля передачі                                    | 0,950              |  |                   |

Рис. 7. Розрахунок гальмівної ефективності вантажного поїзда за методикою ГОСТ 34434-2018 [8]



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Порівняльний аналіз отриманих результатів (див. рис. 6) з розрахунковими дослідженнями (рис. 7) показав, що дійсні коефіцієнти сили натиснення збігаються, а гальмівні шляхи (1000 м та 998,5 м) відрізняються на 0,15%.

За результатами проведених досліджень була розроблена підсумкова таблиця, що відображає характеристики гальмівної ефективності вантажних поїздів при швидкостях на початку гальмування до 120 км/год включно та осьових навантаженнях від 230,5 (23,5 тс) до 294,3 кН (30 тс) (рис. 8).

| <i>Гальмівна ефективність вантажного поїзда</i>                                |               |               |               |
|--|---------------|---------------|---------------|
| <i>маса вагона з вантажем - 94 т, осьове навантаження - 230,5 кН (23,5 тс)</i> |               |               |               |
| Передавальне число важеля  | <b>4,8</b>    | <b>6,7</b>    | <b>9,5</b>    |
| Швидкість на початку гальмування, км / год                                     | 90 км / год   | 100 км / год  | 120 км / год  |
| Гальмівний шлях, м   | <b>1060,6</b> | <b>1038,4</b> | <b>1193,0</b> |
| Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок                                      | 0,343         | 0,467         | 0,633         |
| Гальмівний шлях при чавунних колодках, м                                       | 1060,3        | 1038,2        | 1193,2        |
| Сила натиснення на вісь в в перерахунку на чавунні, тс                         | 8,07          | 10,98         | 14,87         |
| <i>маса вагона з вантажем - 100 т, осьове навантаження - 245,3 кН (25 тс)</i>  |               |               |               |
| Передавальне число важеля  | <b>5,2</b>    | <b>7,3</b>    | <b>10,3</b>   |
| Швидкість на початку гальмування, км / год                                     | 90 км / год   | 100 км / год  | 120 км / год  |
| Гальмівний шлях, м   | <b>1057,4</b> | <b>1039,6</b> | <b>1193,0</b> |
| Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок                                      | 0,345         | 0,467         | 0,634         |
| Гальмівний шлях при чавунних колодках, м                                       | 1057,1        | 1040,1        | 1193,2        |
| Сила натиснення на вісь в в перерахунку на чавунні, тс                         | 8,63          | 11,68         | 15,85         |
| <i>маса вагона з вантажем - 108 т, осьове навантаження - 264,9 кН (27 тс)</i>  |               |               |               |
| Передавальне число важеля  | <b>5,7</b>    | <b>8,1</b>    | <b>11,5</b>   |
| Швидкість на початку гальмування, км / год                                     | 90 км / год   | 100 км / год  | 120 км / год  |
| Гальмівний шлях, м   | <b>1060,6</b> | <b>1036,5</b> | <b>1189,0</b> |
| Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок                                      | 0,343         | 0,470         | 0,638         |
| Гальмівний шлях при чавунних колодках, м                                       | 1060,3        | 1036,3        | 1189,5        |
| Сила натиснення на вісь в в перерахунку на чавунні, тс                         | 8,07          | 12,70         | 17,23         |
| <i>маса вагона з вантажем - 120 т, осьове навантаження - 294,3 кН (30 тс)</i>  |               |               |               |
| Передавальне число важеля  | <b>6,5</b>    | <b>9,3</b>    | <b>13,3</b>   |
| Швидкість на початку гальмування, км / год                                     | 90 км / год   | 100 км / год  | 120 км / год  |
| Гальмівний шлях, м   | <b>1059,4</b> | <b>1036,3</b> | <b>1189,0</b> |
| Розрахунковий коефіцієнт чавунних колодок                                      | 0,346         | 0,471         | 0,640         |
| Гальмівний шлях при чавунних колодках, м                                       | 1059,1        | 1036,7        | 1189,1        |
| Сила натиснення на вісь в в перерахунку на чавунні, тс                         | 10,38         | 14,13         | 19,20         |

**Рис. 8. Характеристики гальмівної ефективності вантажних поїздів**

### **Висновки.**

1. Запропонована методика, із застосуванням універсальних формул, дозволяє виконувати багатоваріантні розрахунки на вибір оптимальних параметрів

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

гальмівної системи вантажних вагонів для заданих вимог гальмівної ефективності вантажного поїзда.

2. Похибка розрахункових досліджень за універсальними формулами, порівняно з розрахунковими дослідженнями за методикою [8], не перевищує 0,5 %.

3. Використання програмного комплексу EXCEL дозволяє автоматизувати процес розрахункових досліджень гальмівної ефективності вантажного поїзда за новими правилами.

4. Дослідження функціонування складних систем за допомогою моделювання їх роботи на ЕОМ допомагає скоротити час та кошти на розробку, а результати моделювання за своєю цінністю для практичного вирішення завдань часто наближаються до результатів натурного експерименту.

5. Слід зазначити, що формалізація технічних завдань та застосування ЕОМ багаторазово прискорюють типові, масові розрахунки, підвищують точність та скорочують трудомісткість, дозволяють проводити багатоваріантні конструкційні обґрунтування складних систем, недоступні за панування "ручної" технології.

6. Завдяки застосуванню методу моделювання значно посилюються можливості конкретного кількісного аналізу; вивчення багатьох чинників, які впливають на технічні процеси.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г. 319 с.
2. Гребенюк, Долганов А.Н, Скворцова А.И. Тяговые расчеты : Справочник под ред. П. Т. Гребенюка. М: Транспорт, 1987. 272 с.
3. В.Г. Иноземцев, П.Т.Гребенюк. Нормы и методы расчета автотормозов : М: Транспорт, 1971. 57 с.
4. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов: М: Интекст, 2004. 112 с.
5. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. Київ: Транспорт України, 2002. 143 с.
6. №ЦВ-0011. Нормативи по гальмам. Київ: 1998. 18 с.
7. ЦВ-ЦЛ-0013 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. Київ: 2005.160 с.
8. ГОСТ 34434-2018. Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС), принят 30 октября 2018 г. (протокол № 113-П), Москва, Стандартинформ, 2018. 64 с.
9. Э.Н.Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул : Высшая школа, 1988. 239 с.
10. Сафронов А. М., Водяников Ю.Я., Макеева Е.Г. Тормозная эффективность грузовых вагонов. Методология расчетных и экспериментальных исследований с использованием математических моделей и компьютерного моделирования: монография. Кременчуг: ГП «УкрНИИВ», 2018. 173 с.
11. Водяников Ю. Я., Сафронов А.М., Макеева Е.Г. Методология расчетных и экспериментальных исследований тормозной эффективности пассажирских вагонов с применением математических моделей и компьютерного моделирования (монография). Кременчуг: ГП «УкрНИИВ», 2017 г. 287 с.

***O.M. Safronov***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "

33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (05366) 6-03-24, E-mail: safronov.am84@gmail.com

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-5865-7756>

***Yu.Ya. Vodiannikov***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

***D.I. Yeskov***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "

33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-8950>

***S.V. Kukin***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "

33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua,

ORCID: <https://orcid.org/0000-003-1323-8205>

### ALGORITHM FOR SELECTING THE BRAKE GEAR PARAMETERS OF FREIGHT CARS BRAKE SYSTEM

*An algorithm is proposed for determining the gear ratio of a brake linkage of a freight car depending on the initial braking speed, axial load and braking distance of a freight train. The algorithm consists of two stages: at the first stage, the actual coefficient of the wheel-brake pad pressing force is determined, at the second one is the gear ratio of the brake lever. The article provides a mathematical toolkit for determining the actual coefficient of brake pads pressure force depending on the braking distance of a freight train. As a mathematical tool, universal formulas are used in the form of a static relationship between the effective coefficient of pressure force and the amount of braking distance of the freight train. The coefficients of universal formulas are obtained by computer simulation. The given values of the coefficients for determining the actual pressing forces for a given braking distance or braking distance by the magnitude of the pressing force coefficient depending on the axial load of the car and the speed at the beginning of braking are presented in the table.*

*Numerous examples show that the error in using universal formulas does not exceed 0.5% compared to the calculation method according to HOST 34434-2018. To automate the determination of the gear ratio, the EXCEL program has been developed. The program allows determining the gear ratio of the lever transmission of a freight car brake by a given value of one parameter, i.e., the braking distance of a freight train. It is demonstrated that the program output matches the results of computational studies. A table of the values of the gear ratios of freight cars, which provide the maximum permissible characteristics of the braking efficiency of freight trains according to HOST 34434-2018, is given.*

*Key words.* braking efficiency, freight car, braking distance, axle load, effective coefficient, gear ratio of the brake lever



### REFERENCES

1. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) [Norms for the calculation and design of railway carriages of the Ministry of Railways of the 1520 mm gauge (non-self-propelled)] (1996). GosNIIV-VNIIZhT [in Russian]
2. Grebenyuk P.T., Dolganov A.N., Skvortsova A.I. (1987). Tyagovyye raschety: Spravochnik [Traction calculations: Handbook]. P. T. Grebenyuk (Ed.). Moscow: Transport [in Russian]
3. Inozemtsev, V.G., Grebenyuk P.T. (1971). Normy i metody rascheta avtotormozov [Norms and methods for calculating automatic brakes]. Moscow: Transport [in Russian]
4. Grebenyuk P. T. (2004). Pravila tormoznyh raschetov [Rules for brake calculations]. Moscow: Intekst [in Russian]
5. Instruksiiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznitsiakh Ukrainy [Instructions for the operation of the rolling stock brakes on the railways of Ukraine]. (2002). TsT-TsV-TsL-0015143. Kyiv: Transport Ukrainy [in Ukrainian]
6. Normatyvy po halmam [Standards for brakes]. TsV-0011 [in Ukrainian]
7. Instruksiiia z remontu halmivnoho obladnannia vahoniv [Instructions for the repair of brake equipment of railway cars] (2005). TsV-TsL-0013. Kyiv [in Ukrainian]
8. Tormoznyie sistemy gruzovyh zheleznodorozhnyh vagonov. Tehnicheskie trebovaniya i pravila rascheta [Braking systems of railway freight cars. Technical requirements and calculation rules]. (2018). GOST 34434-2018 from the 30-th October 2018. Moscow: Standartinform [in Russian]
9. Lvovskiy E.N. (1988). Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul [Statistical methods for constructing empirical formulas]. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian]
10. Safronov A. M., Vodyannikov Yu.Ya., Makeeva E.G. (2018). Tormoznaya effektivnost gruzovyh vagonov. Metodologiya raschetnyih i eksperimentalnyih issledovaniy s ispolzovaniem matematicheskikh modeley i kompyuternogo modelirovaniya [Braking efficiency of freight cars. Methodology of computational and experimental studies using mathematical models and computer simulation] Monograph. Kremenchuk: SE "UkrNIIV" [in Russian]
11. Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A.M., Makeeva E.G. (2017). Metodologiya raschetnyih i eksperimentalnyih issledovaniy tormoznoy effektivnosti passazhirskih vagonov s primeneniem matematicheskikh modeley i kompyuternogo modelirovaniya [Methodology of computational and experimental studies of the braking efficiency of passenger cars using mathematical models and computer simulation]. Monograph. SE "UkrNIIV" [in Russian].