

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

УДК 629.4.077:629.4.016.12

DOI: 10.47675/2304-6309-2021-23-127-139

O.M. Сафронов*

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»

вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

Ю.Я. Водянников

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»

вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-20-43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

О.Г. Макеєва

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»

вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-02-50, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

Д.І. Єськов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»

вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-13-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПОЇЗДІВ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

Показані основні відмінності умов експлуатації промислового залізничного транспорту від магістрального, особливістю яких є виконання технологічних перевезень, тобто переміщення вантажу в локальних межах підприємств (внутрішні технологічні перевезення), і ввезення (вивезення) вантажів на інші види транспорту (зовнішні перевезення).

Важливе місце промисловий залізничний транспорт займає на гірничодобувних підприємствах, так як умови роботи цих підприємств не є постійними і безперервно ускладнюються протягом усього періоду розробки родовища.

У зв'язку з цим, одним з найважливіших факторів забезпечення безпеки руху поїзда є гальмівна ефективність. Розрахунок гальмівної ефективності кар'єрного поїзда виконується за спеціальними правилами, а параметри гальмівного процесу, що впливають на гальмівний шлях, задаються коефіцієнтами.

У якості оціночної характеристики гальмівної ефективності для промис-

© Сафронов О.М., Водянников Ю.Я., Макеєва Е.Г., Єськов Д.І., 2021

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

лового залізничного транспорту прийнята максимальна швидкість руху, за якої гальмівний шлях має складати не більше ніж 300 м незалежно від величини ухилу залізничної колії.

Вперше запропоновано допустиму швидкість руху визначати ітераційним методом за допомогою коригуючого коефіцієнта, вибір якого обумовлений тим, що залежність між швидкістю і гальмівним шляхом описується квадратичною функцією. Розрахунок показав, що за п'ять ітерацій досягається різниця розрахункового та нормативного значень гальмівного шляху 0,01 м (1 см), що свідчить про ефективність запропонованої процедури визначення.

Для вирішення поставленого завдання було складено алгоритм, за яким розроблено програмний модуль, написаний в середовищі програмування VBA. Тестування програми виконувалося шляхом порівняльного аналізу результатів розрахунку з результатами наведеними в «Актуалізація правил тягових розрахунків на залізничному транспорті промислових підприємств». Аналіз результатів показав їх повну ідентичність.

Програмний комплекс дозволяє в автоматичному режимі виконувати розрахункові дослідження для заданого діапазону значень ухилів.

Наведено результати розрахунку поїзда в заданому діапазоні значень ухилів, а також аналітичний вираз для визначення максимальної швидкості при заданій довільній величині ухилу.

Ключові слова: допустима швидкість, гальмівний шлях, ітераційний процес, коригуючий коефіцієнт, алгоритм.

A.M. Сафронов*

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»
ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавской обл., 39621, Украина
Телефон: (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

Ю.Я. Водянников

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»
ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавской обл., 39621, Украина
Телефон: (05366) 6-20-43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

Е.Г. Макеева

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»
ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавской обл., 39621, Украина
Телефон: (05366) 6-02-50, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

Д.И. Еськов

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»
ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавской обл., 39621, Украина
Телефон: (05366) 6-13-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЕЗДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

Показаны основные отличия условий эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта от магистрального, особенностью которых является выполнение технологических перевозок, т.е. перемещение груза в локальных границах предприятий (внутренние технологические перевозки), и ввоз (вывоз) грузов на другие виды транспорта (внешние перевозки).

Важное место промышленный железнодорожный транспорт занимает на горнодобывающих предприятиях, так как условия работы этих предприятий не являются постоянными и непрерывно усложняются в течение всего периода разработки месторождения.

В связи с этим, одним из важнейших факторов обеспечения безопасности движения поезда является тормозная эффективность. Расчет тормозной эффективности карьерного поезда выполняется по специальным правилам, а параметры тормозного процесса, влияющие на тормозной путь, задаются коэффициентами.

В качестве оценочной характеристики тормозной эффективности для промышленного железнодорожного транспорта принята максимальная скорость движения, при которой тормозной путь должен составить не более 300 м независимо от величины уклона железнодорожного пути.

Впервые предложено допустимую скорость движения определять итерационным методом с помощью корректирующего коэффициента, выбор которого обусловлен тем, что зависимость между скоростью и тормозным путем описывается квадратичной функцией. Расчет показал, что за пять итераций достигается разница расчетного и нормативного значений тормозного пути 0,01 м (1 см), что свидетельствует об эффективности предложенной процедуры определения.

Для решения поставленной задачи был составлен алгоритм, по которому разработан программный модуль, написанный в среде программирования VBA. Тестирование программы выполнялось путем сравнительного анализа результатов расчета с результатами приведенным в «Актуализация правил тяговых расчетов на промышленном железнодорожном транспорте». Анализ результатов показал их полную идентичность. Программный комплекс позволяет в автоматическом режиме выполнять расчетные исследования для заданного диапазона значений уклонов.

Приведены результаты расчета поезда в заданном диапазоне значений уклонов, а также аналитическое выражение для определения максимальной скорости при заданной произвольной величине уклона.

Ключевые слова: допустимая скорость, тормозной путь, итерационный процесс, корректирующий коэффициент, алгоритм расчета.

Вступ. У мережі народного господарства промисловий транспорт займає особливе місце і представляє сукупність транспортних засобів, споруд і шляхів промислових підприємств, призначених для обслуговування виробничих процесів,

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

переміщення сировини, напівфабрикатів і готової продукції на території виробничого підприємства.

Основною особливістю експлуатації промислового транспорту є виконання технологічних перевезень, тобто переміщення вантажу в локальних межах підприємств (внутрішні технологічні перевезення), і ввезення (вивезення) вантажів на інші види транспорту (зовнішні перевезення).

До складу промислового транспорту входять усі види транспорту, що становлять транспортну систему, а також специфічні види транспорту, але основними є залізничний, автомобільний і трубопровідний транспорт.

Провідну роль промисловий транспорт грає в роботі підприємств чорної металургії, вугільної, хімічної, будівельної, лісової, дерево- і нафтопереробної та інших галузей.

Залізничний промисловий транспорт повинен відповісти безпеці руху поїздів та маневрової роботи згідно галузевим і міжгалузевим інструкціям, правилам і положенням з технічної експлуатації залізниць, споруд і пристрій, рухомого складу, сигналізації, пристрою і обслуговування переїздів і інших нормативних документів, що регламентують безпеку роботи залізничного транспорту.

Особливу роль промисловий транспорт займає в гірничодобувних підприємствах. Умови роботи гірничодобувних підприємств не є постійними і безперервно ускладнюються упродовж усього періоду розробки родовища (zmіна в часі глибини ведення гірських робіт, висоти робочої зони, zmіна з глибиною умов транспортування гірської маси з кар'єру до пунктів доставки).

На відміну від магістральних поїздів [1-12], розрахунок гальмівної ефективності промислового поїзда виконується за спеціальними правилами, а параметри гальмівного процесу, що впливають на гальмівний шлях, задаються коефіцієнтами [13, 14, 15], які отримані в процесі тривалих експериментальних досліджень.

Постановка проблеми. Кар'єрний залізничний транспорт, як правило, експлуатуються на ухилах, які можуть становити 40 % і вище, тому найважливішим фактором безпеки руху таких поїздів є гальмівна ефективність

У якості оціночної характеристики гальмівної ефективності для промислового залізничного транспорту прийнята максимальна швидкість руху, при якій гальмівний шлях складає 300 м незалежно від величини ухилу залізничної колії [13, 14, 15].

Актуалізованими правилами [13], опублікованими в 2016 році, передбачається визначення максимальних допустимих швидкостей руху методом послідовного завдання початкових швидкостей до тих пір, поки не буде досягнута задана точність гальмівного шляху поїзда, що ускладнює проведення розрахункових досліджень.

Мета. Розробити алгоритм і програмний комплекс для визначення максимальних допустимих швидкостей руху кар'єрного поїзда в заданому діапазоні ухилів залізничної колії, а також автоматизувати розрахункові дослідження.

Матеріали та результати досліджень. Для визначення максимальної допустимої швидкості руху промислового поїзда пропонується використати ітераційний метод за допомогою коригуючого коефіцієнта (k_r):

$$V_k = V_{k-1} \cdot k_r, \quad (1)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

де, V_{k-1} и V_k - початкова швидкість гальмування відповідно для $k-1$ та k -ої ітерацій;

$$k_r = \sqrt{\frac{[S]}{S_k}}, \quad (2)$$

де, $[S]$ – нормативне максимальне значення гальмівного шляху, не більше $[S] = 300$ м;

S – гальмівний шлях, отриманий при $k-1$ ітерації.

Вибір коригуючого коефіцієнта обумовлений тим, що залежність між швидкістю і гальмівним шляхом описується квадратичною функцією. Аналіз показав, що за п'ять ітерацій (рис. 1, 2) різниця розрахункового та нормативного значень гальмівного шляху досягає величини 0,01 м (1 см), що свідчить про ефективність запропонованої методики. Алгоритм ітераційного процесу наведено на рис. 3.

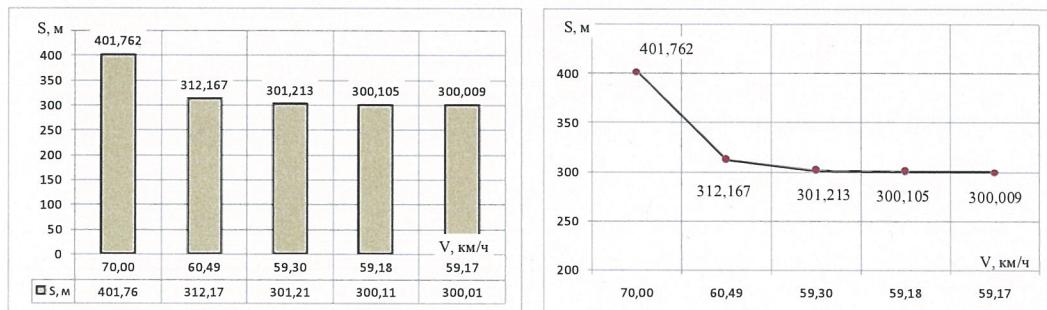


Рис. 1. Ітераційний процес при початковій швидкості вище допустимої

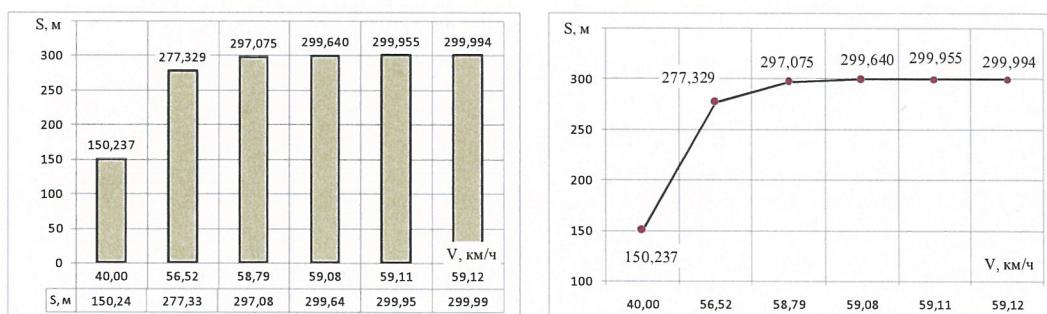


Рис. 2. Ітераційний процес при початковій швидкості нижче допустимої

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

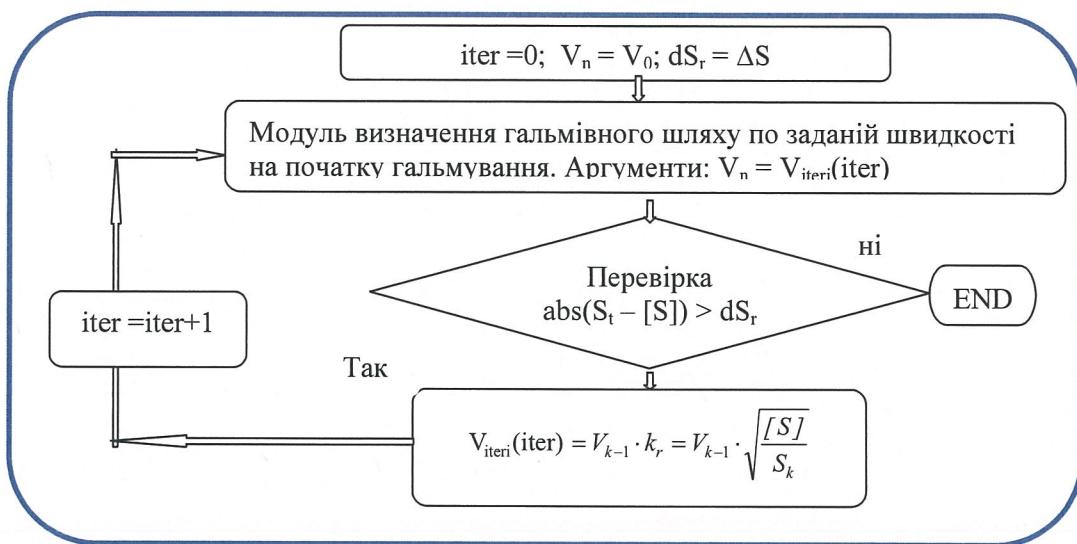


Рис. 3. Алгоритм ітераційного процесу визначення максимальної швидкості, при якій гальмівний шлях не перевищує нормативне значення 300 м

Таким чином, рішення завдання полягає у визначенні допустимих швидкостей руху за умови зупинки поїзда наявними гальмівними засобами на будь-якому ухилі в межах встановленої максимальної довжини гальмівного шляху (не більше 300 м). Для вирішення поставленого завдання було складено алгоритм (рис. 4), за яким розроблено програмний модуль, написаний в середовищі програмування VBA. Тестування програми виконувалося шляхом порівняльного аналізу результатів розрахунку з результатами наведеними в додатку Г [13], який показав їх повну ідентичність.

У таблиці 1 наведений приклад розрахунку гальмівної ефективності кар'єрного поїзда в діапазоні ухилів від мінус 36 % до плюс 16 %, а також рівняння для визначення максимальної швидкості для заданого довільного ухилу.

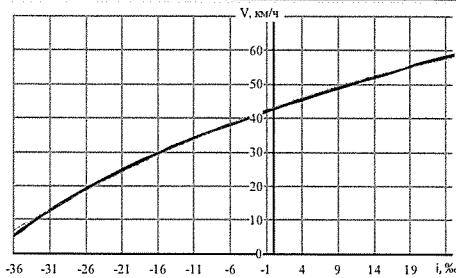
Таблиця 1. - Гальмівна ефективність кар'єрного поїзда загальною вагою 2020 тс і корисним навантаженням 1150 тс

Ухил, %	Швидкість, км/год	Час, с	Гальм. шлях, м	Діаграма
1	2	3	4	5
-36	5,11	146	300,01	
-34	8,30	121	300,01	
-32	11,27	105	300,01	
-30	14,04	94	300,00	
-28	16,63	85	300,00	

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
-26	19,07	79	300,01	
-24	21,37	73	300,00	
-22	23,55	69	300,00	
-20	25,63	65	299,99	
-18	27,62	62	300,00	
-16	29,53	59	300,00	
-14	31,36	56	300,01	
-12	33,12	54	300,00	
-10	34,83	52	300,01	
-8	36,48	50	300,00	
-6	38,08	49	300,01	
-4	39,63	47	300,00	
-2	41,14	46	300,00	
0	42,62	45	300,00	
2	44,04	43	300,00	
4	45,44	42	300,00	
6	46,81	41	300,00	
8	48,15	40	300,00	
10	49,47	40	300,00	
12	50,75	39	300,00	
14	52,00	38	300,00	
16	53,23	37	299,99	



Номограма для визначення максимальної швидкості.

Рівняння для визначення максимальної швидкості при заданому довільному ухилі має вид:

$$V_{\max} = 0,00010 i^3(\%) - 0,00534 i^2(\%) + 0,70923 i (\%) + 42,69671$$

Коефіцієнт детермінації (міра близькості до експериментальних даних) склав
 $R^2 = 0.99992$

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

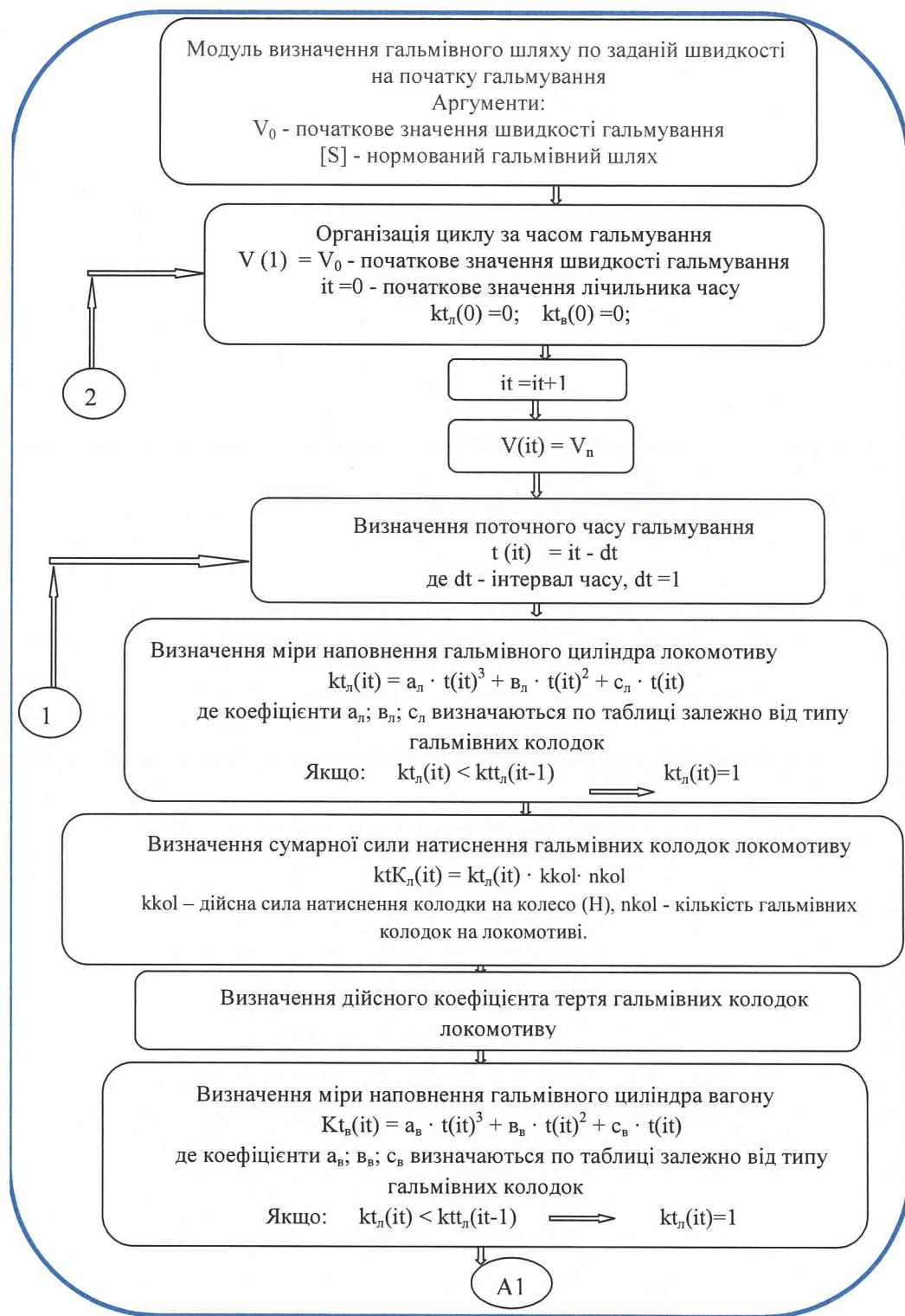


Рис. 4. Алгоритм визначення гальмівного шляху поїзда за заданою швидкістю на початку гальмування

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

Продовження рис. 4

A1

Визначення сумарної сили натиснення гальмівних колодок вагонів
 $ktK_b(it) = ktb(it) - kkov - nkov$
kkov - дійсна сила натиснення колодки на колесо (H), nkov - кількість гальмівних колодок на локомотиві

II

Визначення дійсного коефіцієнта тертя гальмівних колодок вагонів
де коефіцієнти a_l ; b_l ; c_l определяються по таблиці

III

Визначення гальмівної сили потягу
 $B(it)_{поеzd} = ktK_l(it) \cdot \phi_l + ktK_b(it) \cdot \phi_b$

III

Основний питомий опір руху локомотиву для режиму холостого ходу
 $w'(it) = a'_x + b'_x \cdot V(it) + c'_x \cdot V(it)^2$
де коефіцієнти a'_x ; b'_x ; c'_x визначаються по таблиці

III

Основний питомий опір руху промислових вагонів в завантаженому стані
 $W(it)_0''' = a_0''' + b_0''' \cdot V(it);$

у порожньому стані $w(it)_x''' = a_{0x}''' + b_{0x}''' \cdot V(it)$

де коефіцієнти a_0''' ; b_0''' ; a_{0x}''' ; b_{0x}''' визначаються по таблиці

III

Основний питомий опір руху поїзда

$$W(it)_{поеzd}''' = (w(it)' \cdot P + w(it)''' \cdot Q)/(P + Q)$$

де P і Q вага локомотиву і вагонів

III

Загальна питома гальмівна сила, що діє на потяг
 $r(it)_{поеzd} = B(it)_{поеzd} / (P + Q) + W(it)_{поеzd} + uklon$
де $uklon$ – величина ухилу, %

III

Зменшення швидкості руху потягу

$$dV(it) = r(it)/30$$

III

Середня швидкість руху

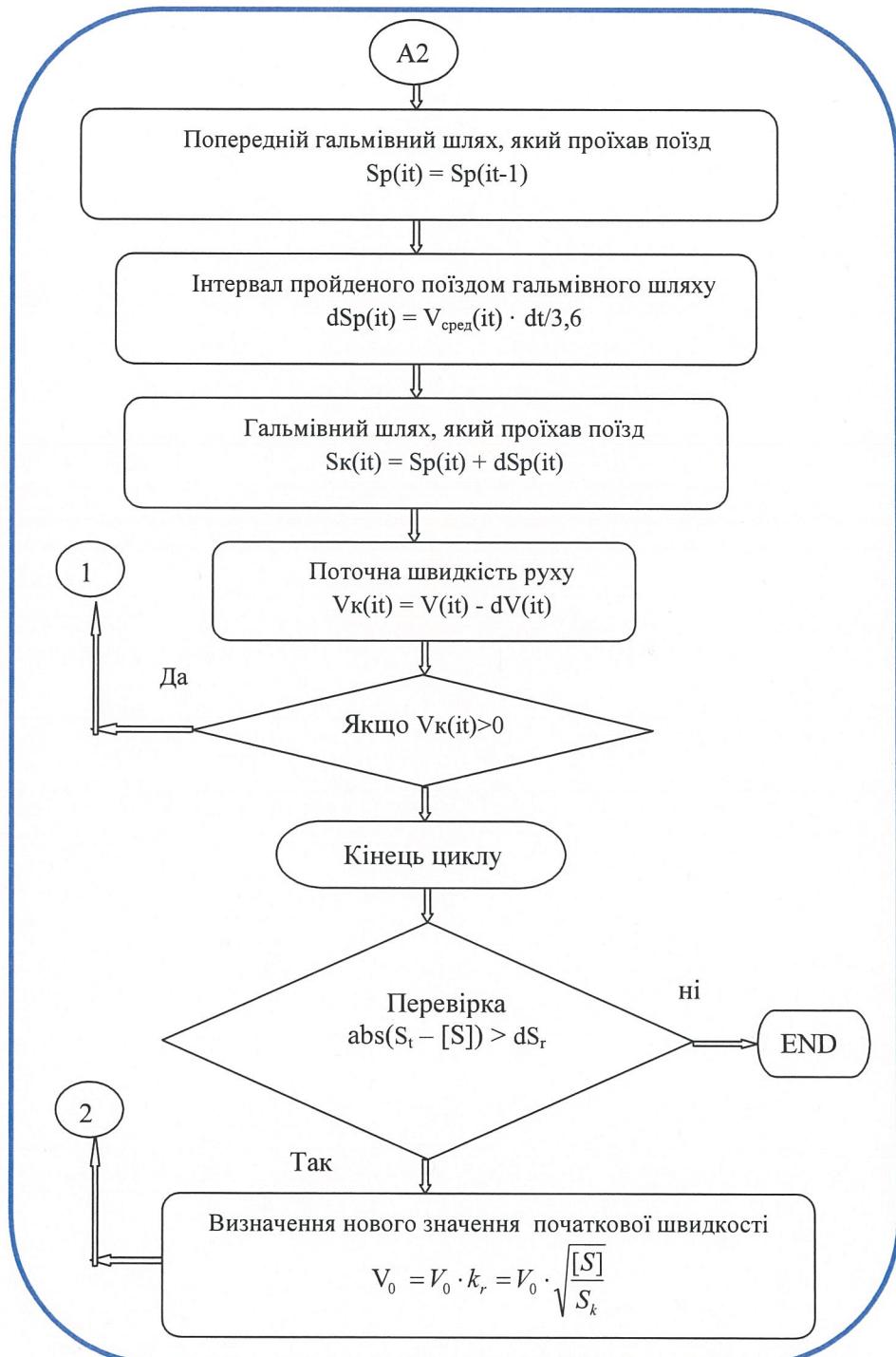
$$V_{сред}(it) = V(it) - dV(it)/2$$

II

A2

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

Закінчення рис. 4



РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

Висновки

1. Запропоновано алгоритм визначення максимальних допустимих швидкостей руху кар'єрних поїздів для заданого діапазону ухилів з використанням ітераційного процесу.
2. Розроблений програмний комплекс дозволяє повністю автоматизувати процес визначення гальмівної ефективності промислового залізничного транспорту, що в свою чергу, дозволить підвищити швидкість отримання результату та мінімізувати помилки під час виконання розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Р549/3. Методика расчета тормозов грузовых вагонов колеи 1520 мм. Варна, Республика Болгария: Организация сотрудничества железных дорог, 2005. 12 с.
2. № ЦВ-0011. Нормативи по гальмам, Київ, Транспорт України 1998. с. 18.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
4. ЦВ-ЦЛ-0013. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. Київ: Транспорт України, 2005. с. 160 с .
5. ЦГ-ЦВ-ЦЛ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України, Київ, Транспорт України 2002. с. 143.
6. ЦШ-0001. Інструкція з сигналізації на залізницях України. Київ: Транспорт України, 2008. с. 132.
7. В.Г. Иноземцев, П.Т.Гребенюк. Нормы и методы расчета автотормозов. Москва: «Транспорт», 1971. 57. с.
8. Правила технічної експлуатації залізниц України. Київ: Транспорт України, 2003. 133 с.
9. Гребенюк П., Долганов А., Скворцова А. Тяговые расчеты . М. «Транспорт», 1987. с. 272.
10. Гребенюк П. Правила тормозных расчетов. М: «Интекс», 2004. с. 112.
11. Казаринов В.М., В.Г. Иноземцев, В.Ф. Ясенцев Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов. М: «Транспорт», 1968. с. 399.
12. ГОСТ 34434-2018. Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета. [Действует с 30.10.2018]. М: Стандартинформ, 2018. 27 с. (Межгосударственные стандарты).
13. Методическое пособие. Актуализация правил тяговых расчетов на промышленном железнодорожном транспорте. Москва: ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ», 2016. 98 с.
14. Правила тяговых расчетов для промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока. М: ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ», 1971-1977, 140 с.
15. Правила для поездной работы на общей сети железных дорог. М: «Транспорт», 1985. 223 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

Yu.Ya. Vodiannikov

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-20-43

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

O.G. Makeieva

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-02-50

D.I. Yeskov

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute "
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-13-24

ALGORITHM FOR DETERMINATION OF BRAKE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL RAILWAY TRAINS

The main differences between the operating conditions of industrial railway transport from the main-line ones, which feature the performance of technological transportation, i.e., the transportation of goods within the local boundaries of enterprises (domestic technological transportation), and import (export) of goods to other modes of transport (external transportation).

Industrial railway transport plays an important role at mining enterprises, as the working conditions of these enterprises are not constant and getting continuously more complicated during the entire period of field development.

In this regard, one of the most important factors in ensuring the train safety is the braking efficiency. The calculation of the braking efficiency of a quarry train is performed according to special rules, and the parameters of the braking process that affect the braking distance are set by coefficients.

As an estimated characteristic of braking efficiency for industrial railway transport, the maximum speed is taken, at which the braking distance should be no more than 300 m, regardless of the magnitude of the slope of the railway track.

For the first time it is proposed to determine the allowable speed by the iterative method using a correction factor, the choice of which is due to the fact that the relationship between speed and braking distance is described by a quadratic function. The calculation showed that in five iterations the difference between the calculated and normative values of the braking distance of 0.01 m (1 cm) is achieved, which indicates the efficiency effect of the proposed determination procedure.

The software allows you to automatically perform calculated studies for a given range of values of the slopes.

The results of the train calculation in a specified range of slope values are given, as well as an analytical expression for determining the maximum speed for a given arbitrary slope value.

Key words: allowable speed, braking distance, iterative process, correction factor, algorithm.

REFERENCES

1. R549/3. Mietodika raschieta tormozov hruzovykh vahonov koleii 1520 mm [R549/4. Calculation procedure for freight wagons brakes for track gauge 1520 mm]. (2005, November 10), p. 12 [in Russian]

РЕЙКОВИЙ РУХОМІЙ СКЛАД

2. *Yinstruktsia TsV-0011. Normatyvy po halmam. [TsV-0011. Instruction. Standards for brakes].* (1997). Kyiv: Transport Ukrainy, p.19 [in Ukrainian]
3. *Normy dla raschieta i proektirovaniia vahonov zhielieznikh doroh MPS kolei 1520 mm (niesamokhodnykh) [Standards for the calculation and design of railway cars of the Ministry of Railways 1520 mm (non-self-propelled)].* (1996). Moscow: HosNIV – VNIIZhT, p. 319 [in Russian]
4. *TsV-TsL-0013 Instruktsiia z remontu halmivnoho obladnannia vahoniv [Instruction on repair of brake equipment of cars].* (2005). Kyiv. p. 160 [in Ukrainian]
5. *Tst-TsV-TsL-0015. Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrayny [Instructions on the operation of rolling stock brakes on the railways of Ukraine].* (2002). Kyiv: «Transport Ukrainy», p. 143 [in Ukrainian]
6. *TsSh-0001. Instruktsiia z syhnalizatsii na zaliznytsiakh Ukrayny [Instruction on signaling on the railways of Ukraine].* (2008). Kyiv, p. 132 [in Ukrainian]
7. Inozemtsev V.G. & Grebenyuk P.T. (1971). *Normy i metody raschieta avtotormozov. [Standards and methods for calculating railcar brakes].* Moscow: "Transport", p. 57 [in Russian]
8. *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrayny [Rules of technical operation of railways of Ukraine].* (2003). Kyiv, p.133 [in Ukrainian]
- 9 Hriebieniuk P., Dolhanov A. & Skvortsova A. (1987). *Tiahovyie raschiety [Traction calculations].* Moscow: "Transport", p. 272 [in Russian]
10. Hrebieniuk P. (2004). *Pravyla tormoznykh raschietov [Rules of brake calculations].* Moscow: "Intext", p. 112 [in Russian]
11. Kazarinov V.M., Inoziemtsiev V.G. & Yasentsev V.F. (1968). *Tieorieticheskie osnovy proektirovaniia i ekspluatatsii avtotormozov [Theoretical bases of design and operation of car brakes].* "Transport", p. 399 [in Russian]
12. Tormoznyie systemy hruzovykh zhielieznodorozhnykh vahonov. Tiekhnickie triebovaniia i pravila raschieta [Brake systems of freight railway cars. Technical requirements and calculation rules]. (2018). *HOST 34434-2018.* Moscow: Standardinform, p.32 [in Russian]
13. Mietodicheskoie posobiie. Aktualizatsiia pravil tiahovykh raschietov na promyshliennom zhielieznodozhhnom transporte [Guidance manual. Update of rules of traction calculations on industrial railway transport]. (2016). Moscow [in Russian]
14. *Pravila tiahovyh raschietov dla promyshliennyh eliektrovozov i tiahovyh ahriehatov postoianno noho toka, razrabotannyie ZAO «PROMTRANSNIIPROEKT» [Rules of traction calculations for DC industrial electric locomotives and traction units developed by CJSC PROMTRANSNIIPROEKT (1971-1977)].* p.223 [in Russian].