

3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.:Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616 с.
4. К.А. Пупков, А.В. Фалдин, Н.Д. Егупов. Методы синтеза оптимальных систем автоматического управления. – М.:Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 512 с.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.:Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
6. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое, стереотипное. – М.:Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
7. Постников М.М. Лекции по геометрии. Семестр I. Аналитическая геометрия: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.Наука, Гл. ред. Физ-мат. лит., 1986. – 416 с.
8. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М., Генетические алгоритмы / Под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
9. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 528 с.

Проаналізовано відомі методи розрахунку висоти сортувальної гірки. Обґрунтована необхідність їх удосконалення. Наведені основні положення удосконаленого наукового підходу до визначення даного параметру і результати розрахунків з використанням різних методів

Ключові слова: сортувальна гірка, висота, питомий опір

Проанализированы известные методы расчета высоты сортировочной горки. Обоснована необходимость их совершенствования. Приведены основные положения усовершенствованного научного подхода к определению данного параметра и результаты расчетов с использованием разных методов

Ключевые слова: сортировочная горка, высота, удельное сопротивление

The known calculation methods of hump height were analyzed. The necessity for its perfection was grounded. The main postulates of improved scientific approach to given parameter definition and calculation results with using different methods were given

Key word: sorting hump, height, vesistivity constant

УДК 656.212.5

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВОГО ПІДХОДУ ДО РОЗРАХУНКУ ВИСОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

О.М. Огар

Кандидат технічних наук, доцент, докторант
Кафедра залізничних станцій та вузлів
Українська державна академія залізничного транспорту
Майд. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050
Контактний тел.: 8 (057) 730-10-42

1. Вступ

Залізничний транспорт України функціонує в складних економічних умовах, які вимагають створення ефективних і стійких до зовнішніх факторів засобів і технологій роботи об'єктів інфраструктури. Одним з основних аспектів, що визначає ефективність функціонування залізничного транспорту, є забезпечення збереження паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів.

На шляху вирішення проблеми підвищення ефективності роботи об'єктів інфраструктури залізниць України постають об'єктивні фактори сучасного стану галузі, які у значній мірі ускладнюють створення і впровадження нових технічних і технологічних рішень.

В першу чергу до таких факторів відносяться відсутність підтримки інноваційного розвитку залізниць України з боку держави, нестабільність і постійне зростання цін на енергоносії, значний загальний ступінь

знос основних фондів, який на даний момент перевищує 56%, тощо.

Зазначені фактори є додатковими обмеженнями при вирішенні актуальних проблем залізничного транспорту України.

Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту України [1] передбачається здійснення комплексу заходів, спрямованих на забезпечення безпеки перевізного процесу, енерго- та ресурсозбереження тощо. Однією з важливих ланок транспортної системи залізниць України є сортувальна гірка. Конструкція вказаного засобу транспорту визначає якість і ефективність сортувального процесу і, відповідно, впливає на показники функціонування транспортного комплексу.

2. Постановка проблеми

Одним з основних конструктивних параметрів сортувальної гірки є її висота. Досвід експлуатації сортувальних пристроїв залізниць України показує, що у ряді випадків їх висота забезпечує пробіг вагонів з поганими ходовими характеристиками у зимових несприятливих умовах за розрахункові точки розрахункових колій. Це свідчить про наявність надлишкової висоти гірок, що приводить до необхідності підвищення потужності гальмових засобів спускної частини та паркових позицій, додаткових витрат електроенергії на регулювання швидкості скочування відцепів та дизельного палива (електроенергії) гірковими локомотивами на насув і розпуск составів тощо.

Таким чином, застосування діючого методу визначення висоти сортувальної гірки, як правило, дає суттєві похибки у розрахунках, що відображається у незадовільному використанні паливно-енергетичних і виробничих ресурсів.

Зазначене вище обумовлює необхідність удосконалення наукового підходу до визначення вказаного параметра.

3. Аналіз досліджень і публікацій

До 1992 р. розрахунок висоти сортувальної гірки базувався на принципі докочування розрахункового вагона з поганими ходовими властивостями в зимових несприятливих умовах від вершини гірки до розрахункової точки трудної за опором руху вагона колії. При цьому великої уваги приділяли одній з складових висоти гірки – витраченій енергетичній висоті від додаткового питомого опору середовища і вітру. Визначенням вказаного опору займалися такі вчені, як С. Пірат, Г. Міллер, І.І. Костін, Ф.В. Пугачовський, А.Н. Фролов, Б.В. Боцманов, М.О. Рогінський, І.І. Страковський, І.П. Старшов та інш. [2-9]. Формула з розрахунку питомого опору від середовища і вітру, що запропонував к.т.н. І.П. Старшов для конструктивних і технологічних розрахунків, ввійшла до інструктивних вказівок 1978 р. [10] і діючої інструкції [11]. Загальним недоліком методів визначення даної величини вказаними авторами є відсутність врахування кута відхилення вагона відносно базису гіркової горловини і випадкового характеру швидкості і напрямку вітру.

Перші рекомендації щодо розрахунку висоти сортувальної гірки з'явилися у 1929 р., автором яких став професор В.М. Образцов [12]. Через 10 років професор М.О. Рогінський вносить суттєві зміни і доповнення до методики В.М. Образцова, серед яких окреме врахування роботи на подолання опору від середовища і вітру [6]. В 1945 році вийшла в світ праця П.В. Бартевева [13], яка стала фундаментом для розробки наступних інструктивних вказівок до проектування сортувальних пристроїв, в т.ч. і інструкції 1978 р. Недоліком запропонованих методів розрахунку висоти гірки є відсутність врахування питомого опору від снігу і інею та наявності похибок при визначенні питомого опору від стрілок і кривих.

У 1992 р. виходять Правила і норми проектування сортувальних пристроїв [11], в яких ліквідовані зазначені недоліки і в основу покладений новий принцип розрахунку висоти гірки: на умову докочування розрахункового бігуна від вершини гірки до розрахункової точки трудної за опором руху вагона колії у зимових несприятливих умовах. При цьому вводиться міра відхилення витраченої енергетичної висоти від середнього значення, що отримало критичну оцінку рядом вчених.

4. Формулювання мети (постановка завдання)

Метою даних досліджень є забезпечення збереження паливно-енергетичних і виробничих (вагонних уповільнювачів) ресурсів шляхом удосконалення наукового підходу до розрахунку висоти сортувальної гірки.

5. Аналіз та удосконалення діючого наукового підходу до розрахунку висоти сортувальної гірки

Як вже відзначалося вище, існуючий науковий підхід до розрахунку висоти сортувальної гірки дає у багатьох випадках завищений результат, що виявляється при натурних спостереженнях процесу розформування составів або в ході технологічних розрахунків шляхом моделювання скочування розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях. Особливо це стосується гірок великої та підвищеної потужності.

В першу чергу це пов'язано з тим, що відомі (в т.ч. діючий) методи розрахунку питомого опору від середовища і вітру не відображають реальні умови скочування вагонів, про що вже йшла мова вище, а саме:

1) припускається, що швидкість і напрямок вітру в межах маршруту скочування вагона не змінюються;

2) напрямок руху вагона взагалі не враховується (розрахунки проводяться відносно базису гіркової горловини, який і приймається за напрямок руху вагона), а, наприклад, для гірки великої потужності з горловиною на 32 колії кут відхилення вагона від базису горловини може сягати 30° .

Немає також чіткого обґрунтування встановленню ваги розрахункового бігуна. Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв пропонується з вагонопотоку виділяти групу (біля 10%) легковагонних вагонів і встановлювати середньозважене значення ваги вагона у цій групі. При цьому основний питомий опір руху розрахункового бігуна слід визначати, як середнє значення для вагової категорії вагонів, яка має досить широкий діапазон. Такий підхід заздалегідь

передбачає можливість передчасної зупинки деяких легковагових вагонів з дуже поганими ходовими характеристиками, що, наприклад, може відбутися на парковій гальмовій позиції або до неї і тим самим зробити неможливим подальше скочування відчепів на дану колію.

Слід також відзначити, що традиційний вибір розрахункових сполучень і параметрів їх бігунів не є виправданим, оскільки окремі сортувальні пристрої можуть мати відмінні умови експлуатації і чітко визначену структуру вагонопотоку. На сортувальній гірці, наприклад, може перероблятися або тільки порожній вагонопотік, або тільки завантажений. У такому випадку перевіряти висоту і поздовжній профіль гірки на умову розділення відчепів на розділових елементах у розрахункових сполученнях „дуже поганий” – „дуже хороший” – „дуже поганий” не є доцільним.

Крім того, відомо, що висота гірки у значному ступені залежить від середніх швидкостей розрахункового бігуна на дільницях гірки, які формує саме поздовжній профіль. Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв досить усереднюється вплив конструкції поздовжнього профілю на висоту гірки: рекомендовані середньостатистичні значення середніх швидкостей на дільницях гірки. При цьому не відокремлюються сортувальні гірки з розташуванням першої гальмової позиції до першої розділової стрілки і після неї. Похибки при розрахунках висоти гірки компенсують за рахунок збільшення витраченої енергетичної висоти на подолання основного та додаткових питомих опорів від стрілок і кривих, середовища і вітру на 50% або 75% в залежності від типу сортувальної гірки. Вказані величини визначені на підставі аналізу статистичних даних, що отримані на сортувальних гірках залізниць колишнього СРСР, і у ряді випадків можуть давати значні відхилення від реально необхідної висоти гірки.

Саме ці фактори роблять основний вклад у похибку при визначенні висоти сортувальної гірки.

Таким чином, аналітичний спосіб не дозволяє отримати точний результат розрахунку висоти гірки при прийнятих Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв припущеннях.

Вирішенням даної проблеми є визначення висоти гірки шляхом моделювання скочування розрахункового бігуна. Це дозволить максимально врахувати конструктивні особливості сортувального пристрою і метеорологічні умови.

У якості розрахункового бігуна слід обирати найлегший чотиривісний піввагон на роликівих підшипниках або при обґрунтуванні вагон іншого типу, який зустрічався у структурі вагонопотоку в найбільш напружені і несприятливі періоди року.

Основний питомий опір розрахункового бігуна слід визначати за формулою

$$w_0 = 5,125 - \frac{q_p}{320}, \tag{1}$$

де q_p – вага розрахункового бігуна, кН.

Залежність (1) отримана шляхом апроксимації значень w_0 , що є найбільшими у вагових категоріях вагонів [14, таблиця 4.2].

Розрахунок питомого опору від середовища і вітру повинен враховувати реальний неупорядкований хаотичний характер пульсацій швидкості вітру у призем-

ному слою. Випадкові значення швидкості і напрямку вітру можна визначати за формулами

$$V_{B_i}^* = \bar{V}_B + x_i \cdot \sigma_{V_B}, \\ \beta_i^* = \bar{\beta} + y_i \cdot \sigma_{\beta},$$

де \bar{V}_B , $\bar{\beta}$ – вибіркова середня відповідно швидкості, м/с, і напрямку, 0 , вітру;

x_i – одно з випадкових чисел, що розподілені за нормальним законом з параметрами $M[x]=0$, $\sigma[x]=1$;

y_i – те ж з параметрами $M[y]=0$, $\sigma[y]=1$;

σ_{V_B} , σ_{β} – середнє квадратичне відхилення відповідно швидкості, м/с, і напрямку, 0 , вітру.

Розрахунок додаткового питомого опору від середовища і вітру слід виконувати з урахуванням кута між напрямком вітру і напрямком руху вагона у момент часу t_i

$$\beta_i^* = |\beta_i^* - \gamma_i|,$$

де γ_i – кут між базисом гіркової горловини та дотичною до осі колії у точці місцезнаходження вагона, 0 .

Якщо $\beta_i^* \geq 180$, то

$$\beta_i^* = |180 - (|\beta_i^* - \gamma_i| - 180)|.$$

При визначенні β_i^* кут β_i^* можна задавати у двох варіантах: від 0 до 3600 або від 0 до ± 1800 .

Додатковий питомий опір від середовища і вітру на елементарній дільниці визначається за формулою

$$\omega_{св} = \frac{17,8 \cdot C_x \cdot S \cdot g \cdot (V_{сеп}^2 + V_{B_{сеп}}^2 \pm 2 \cdot V_{сеп} \cdot V_{B_{сеп}} \cdot \cos \beta'_{сеп})}{(273 + t_p) \cdot q_p} \tag{2}$$

де C_x – коефіцієнт повітряного опору піввагона

$$C_x = 1,3602443 + 0,0349563 \cdot \alpha + \\ + 0,0000695 \cdot \alpha^2 - 0,0000447 \cdot \alpha^3 + \\ + 7,02849 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha^4 - 3,1357 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha^5,$$

де α – кут між результуючим вектором відносної швидкості і напрямком скочування вагона, 0 ,

$$\alpha = \arcsin \frac{V_{B_{сеп}} \cdot \sin \beta'_{сеп}}{V_{сеп}^2 + V_{B_{сеп}}^2 \pm 2 \cdot V_{сеп} \cdot V_{B_{сеп}} \cdot \cos \beta'_{сеп}}, \tag{3}$$

де $V_{B_{сеп}}$ – середня швидкість вітру, м/с, між моментами часу t_{i-1} і t_i

$$V_{B_{сеп}} = \frac{V_{B_{i-1}}^* + V_{B_i}^*}{2};$$

$\beta'_{сеп}$ – середній кут між напрямком вітру і напрямком руху вагона між моментами часу t_{i-1} і t_i

$$\beta'_{сеп} = \frac{\beta_{i-1}^* + \beta_i^*}{2},$$

$V_{сеп}$ – середня швидкість вагона на елементарній дільниці, м/с;

S – мідель вагона, m^2 ;

g – прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас вагона, що обертаються, m/c^2 ;

t_p – розрахункова температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

У формулах (2) і (3) знак „+” чи „-” приймається в залежності від знаку виразу

$$V_{\text{сеп}} + V_{\text{Всеп}} \cdot \cos\beta'_{\text{сеп}} .$$

Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв передбачається при імітаційному моделюванні процесу розформування складу питому роботу сил опору від стрілок і кривих розглядати як випадкову величину. З цих позицій

$$\omega_{\text{ск}}^* = \frac{-0,125 \cdot (0,56 \cdot n_{\text{стр}} + 0,23 \cdot \sum \alpha) \cdot V_{\text{сеп}}^2 \cdot \ln\left(\prod_{j=1}^8 R_j\right)}{I} ,$$

де $n_{\text{стр}}$, $\sum \alpha$ – відповідно число стрілочних переводів і сума кутів повороту, $^{\circ}$, на дільниці, яку вагон проходить за час Δt ;

R_j – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі (0,1);

I – шлях, який проходить вагон за час Δt , м.

Питомий опір руху вагона від снігу та інею слід визначати згідно з [11].

Оскільки $V_{\text{в}_i}$, β_i^* і $\omega_{\text{ск}}^*$ є випадковими величинами, то неможливо попередньо оцінити, яка з підгіркових колій буде трудною за опором руху вагона. Тому висоту гірки слід визначати по кожній колії сортувального парку. При цьому моделювання скочування розрахункового бігуна на кожному підгірковому колію необхідно виконувати не менше N разів, де N визначається умовою отримання репрезентативної вибірки. Далі отримані по кожній колії найбільші висоти для коректності порівняння перераховуються відносно будь-якої розрахункової точки з урахуванням поздовжнього і поперечного профілів. За фактичну висоту гірки приймається найбільша з перерахованих висот.

Конструктивні розрахунки гірки слід виконувати при одночасній перевірці висоти і поздовжнього профілю на умову розділення розрахункового і хорошого бігунів у розрахункових сполученнях „розрахунковий бігун” – „хороший бігун” і „хороший бігун” – „розрахунковий бігун” на розділових елементах у сприятливих і несприятливих умовах скочування.

Реалізація запропонованого наукового підходу дозволяє зменшити висоту гірки при застосуванні традиційного профілю до 20% (рисунок). Метод розрахунку висоти гірки, що рекомендований інструкцією 1978 року, дає значно меншу похибку розрахунку у порівнянні з діючим методом, але не може використовуватись, оскільки не забезпечує докочування поганих бігунів до розрахункової точки при сильних вітрах, а при слабких – отримується надлишкова висота.

6. Висновки

Удосконалений науковий підхід до визначення висоти сортувальної гірки, який запропонований автором, дозволяє отримати більш точний результат розрахунку, що забезпечує зменшення висоти гірки і, відповідно, збереження паливно-енергетичних і виробничих ресурсів, та максимально враховує кліматичні умови і параметри плану гіркової горловини.

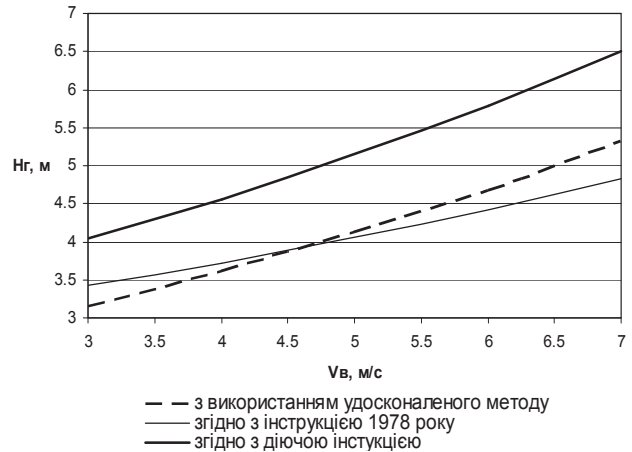


Рисунок. Результати розрахунків висоти сортувальної гірки при використанні різних наукових підходів

Література

1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України. – Київ, 2006.
2. Массуте Е. Определение сопротивления среды для вагонов, скатывающихся с горки. Ганновер: Высшая техническая школа, 1955. – 67 с.
3. Костин Н.И. Сопротивление движению одиночных вагонов // Железнодорожное дело. – Москва, 1931. – № 12. – С. 5–11.
4. Пугачевский Ф.В. Механизированные сортировочные горки и их расчет. – М.: Трансжелдориздат, 1933. – 173 с.
5. Фролов А.Н., Боцманов Б.В. Сопротивление вагонов при скатывании с горок // Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1939. – Вып. 60. – С. 13-16.
6. Рогинский Н.О. Механизация сортировочных горок. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 255 с.
7. Страковский И.И. Сопротивление вагонов при скатывании с горки в зимнее время // Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Вып. 63. – 129 с.
8. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 151 с.
9. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / Под ред. Е.А. Сотникова. – М.: Транспорт, 1975. – 104 с.
10. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР: ВСН 56-78.-М.: Транспорт, 1978. – 175 с.
11. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах СССР // ВСН 207-89/МПС. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.
12. Образцов В.Н. Основные данные для проектирования железнодорожных станций. – М.: Государственное издательство, 1929. – 344 с.
13. Бартенев П.В. Станции и узлы. – М.: Трансжелдориздат. – 1945. – 601 с.
14. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Муха Ю.А., Тишков Л.Б., Шейкин В.П. и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.