

УДК 656.212

В.І. БОБРОВСЬКИЙ, Д.М. КОЗАЧЕНКО, Р.Г. КОРОБІЙОВА (ДНУЗТ, Україна)

Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу

Ключові слова: ступень гальмування, вагон відцеп, сортувальні гірки.

Основним заходом, що забезпечує підвищення безпеки руху, покращення умов праці та зменшення експлуатаційних витрат на переробку вагонопотоків на сортувальних станціях є автоматизація процесу розформування-формування составів на сортувальних гірках. В той же час, велика вартість систем управління розпуском составів та значний вплив місцевих умов на ефективність їх функціонування потребує удосконалення методів техніко-експлуатаційної оцінки роботи існуючих та проектних сортувальних гірок в різних умовах.

Одним з найбільш ефективних методів оцінки якості функціонування складних систем, до яких належать і сортувальні гірки, є імітаційне моделювання. Для адекватної імітації реальних процесів регульованого скочування відцепів з гірки необхідно розробити моделі гальмівних уповільнювачів, які є основними виконавчими пристроями в системах автоматизації розформування составів. В даній статті сформульовані основні принципи моделювання дії уповільнювачів основних типів та представлена структура моделей, які реалізовані з використанням принципів об'єктно-орієнтованого підходу.

В загальному випадку процес скочування відчепа з гірки описується диференціальним рівнянням руху

$$v = \frac{dv}{ds} = \frac{g(i(s) - w_0 - w_{cb} - w_{ck} - w_t)10^{-3}}{v}, v > 0, \quad (1)$$

де $i(s)$ – середній ухил, на якому розташований відцеп, коли його перша вісь знаходиться у точці s ; w_0 – основний питомий опір руху відчепа; w_{cb} , w_{ck} – відповідно, питомі опори руху відчепа від стрілок і кривих та від середовища і вітру; w_t – питомий гальмівний опір руху відчепа; v – швидкість відчепа, м/с.

Через складність процесів, що відбуваються під час скочування відцепів, отримати аналітичне рішення виразу (2) неможливо, тому основним методом дослідження гіркових процесів є імітаційне моделювання. При цьому розробка адекватної математичної моделі процесу вільного скочування відцепів не викликає значних про-

блем, а результати моделювання залежать від точності урахування постійних та змінних факторів. Більш складною є задача розробки моделі регульованого скочування відцепів. В сучасних умовах основними технічними засобами, що забезпечують інтервальне та прицільне регулювання швидкості скочування відцепів на автоматизованих сортувальних гірках, являються вагонні уповільнювачі. Традиційно при моделюванні скочування відцепів [1–4] гальмування вагонів уповільнювачами імітується врахуванням додаткового опору руху, величина якого у перерахунку на одну вісь складає:

$$w_{т.в} = \frac{h}{nl_y}, \quad (2)$$

де h – задана величина погашаємої енергетичної висоти, м. ен. в.; n – кількість осей у відцепі; l_y – робоча довжина уповільнювача.

При цьому витрата енергії на уповільнення відцепів згідно з [5–7] визначається на підставі питомих витрат електроенергії на одиницю погашеної енергетичної висоти

$$E = \epsilon_h h, \quad (3)$$

де ϵ_h – питомі витрати електроенергії на одиницю погашеної енергетичної висоти кВт-год/м.ен.в.

Традиційний підхід є справедливим з позицій закону збереження енергії, але має і суттєві недоліки:

не враховуються особливості взаємодії коліс вагонів та уповільнювачів у залежності від принципу їх дії, розташування коліс відносно гальмівної позиції, швидкості руху відцепів;

не враховується вплив параметрів коліс вагонів на величину гальмівного опору;

відсутня можливість реалізації команд управління (включення та вимкнення уповільнювачів на різних ступенях гальмування);

методика визначення енергетичних витрат на гальмування ґрунтується на статистичних даних роботи гірок і не враховує конкретні умови роботи уповільнювачів.

Тому традиційні моделі можуть використовуватись лише у задачах перевірки висоти сортувальних гірок та потужності гальмівних позицій, а вирішення задач визначення техніко-економічних показників та показників безпеки сортувального процесу, розробки алгоритмів для систем автоматизованого управління розпуском составів вимагає удосконалення моделей процесу гальмування відцепів вагонними уповільнювачами.

Зважаючи на суттєву різницю у принципах дії уповільнювачів та їх конструкції, а також на відмінності у задачах, які розв'язуються, побудувати універсальну модель уповільнювача неможливо. У зв'язку з цим при розробці моделі скочування відчепа доцільно в моделі сортувальної гірки виділити незалежну модель вагонного уповільнювача, яка повинна бути реалізована з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Базовим класом уповільнювача при цьому є клас *TRetarderBase*. Методи цього класу забезпечують отримання ним керуючих команд по встановленню певного режиму гальмування, розрахунок питомого гальмівного опору для відчепа, що знаходиться в уповільнювачі, та розрахунок енергетичних витрат, що пов'язані з гальмуванням.

Параметрами уповільнювача є його довжина l_y та координата початку уповільнювача s_{ny} . В базовому класі імітується рівномірне гальмування відчепа у всій зоні дії уповільнювача, при цьому в якості режиму вказується енергетична висота h , що погашається, а гальмівний опір для однієї осі визначається за виразом (2). Загальний питомий опір руху відчепа від гальмівних уповільнювачів на кожному кроці моделювання визначається як

$$W_T = \sum_{i=1}^{n_t} W_{T,s,i}, \quad (4)$$

де n_t – кількість осей для яких виконується умова (осі, що знаходяться в уповільнювачі)

$$s_{ny} \leq s_o \leq s_{ny} + l_y. \quad (5)$$

В базовому класі *TRetarderBase* енергетичні витрати на уповільнення розраховуються згідно з (3).

Розробка методів оптимізації режимів гальмування вимагає більш детального моделювання роботи уповільнювачів. В сучасних умовах на сортувальних гірках України переважно використовуються балкові вагонні уповільнювачі. При цьому управління швидкістю скочування відчепа здійснюється повною чи частиною гальмівної потужності уповільнювача шляхом зміни тривалості взаємодії шини та колеса відчепа. Дослідження, виконані в [8], показали, що для адекватного моделювання гіркових процесів необхідно перейти від моделювання рівномірного гальмування відчепа у всій зоні дії уповільнювача до гальмування відчепа номінальною потужністю в регулюємій зоні. Для реалізації такого режиму гальмування розроблено клас балкового уповільнювача *TRetarderBeam*, який є нащадком класу *TRetarderBase*. Додатковими конструктивними параметрами балкового уповільнювача є висота шин b , їх підвищення над головою рейки y , та величина тиску у гальмівній магістралі p_r . В якості керуючих команд для гальмування вказується координата початку зони гальмування відносно початку уповільнювача s_{nr} та довжина цієї зони l_{r3} . При цьому умова знаходження осі в уповільнювачі (5) буде виглядати як

$$s_{ny} + s_{nr} \leq s_o \leq \min(s_{ny} + l_y, s_{ny} + s_{nr} + l_{r3}).$$

Для врахування конструктивних особливостей уповільнювачів на основі класу *TRetarderBeam* створені класи натискного *TRetarderPres* та вагового *TRetarderWage* уповільнювачів.

Гальмівна потужність балкового уповільнювачів натискного типу, що припадає на одну вісь може бути визначена за формулою

$$W_{тн.в} = \frac{4F_T \mu \phi_{пр}}{Q_b}, \quad (6)$$

де F_T – сила тиску гальмівної шини на поверхню колеса; μ – коефіцієнт тертя; $\phi_{пр}$ – коефіцієнт приведення, який залежить від радіуса коліс вагона $R_{ц}$, висоти шини уповільнювача b , її підвищення над головою рейки у та розташування коліс в уповільнювачі [9].

Величина тиску гальмівних шин F_T може бути визначена з виразу

$$F_T = k_{пер} S_{прц} (p_{rc} - p_0), \quad (7)$$

де $k_{пер}$ – коефіцієнт передачі важільної системи; $S_{прц}$ – площа поршня гальмівного циліндра; p_{rc} – тиск робочого тіла у гальмівних циліндрах; p_0 – частина тиску, що

витрачається на підйом гальмівної системи уповільнювача.

Таким чином, питомий гальмівний опір натискного уповільнювача, що діє на кожну вісь вагона, яка знаходиться на ньому, може бути визначений з виразу

$$W_{тн.в} = \frac{4k_{пер} S_{прц} \mu \phi_{пр} (p_{rc} - p_0)}{Q_b}.$$

Параметри μ та $R_{ц}$, які необхідні для розрахунку гальмівного опору, отримуються з моделі відчепа. При цьому, в залежності від задач що розв'язуються, вони можуть приймати або фіксовані, або випадкові значення.

Додатково в якості управляючого параметру для натискних уповільнювачів виступає також ступінь гальмування, яка визначає рівень тиску p_{rc} у гальмівних циліндрах.

Процес гальмування вагонів при скочуванні їх з сортувальної гірки вимагає прикладення зовнішніх зусиль, що створюють опір руху. На створення цієї сили витрачаються певні енергоресурси. Так, для приведення в дію пневматичних уповільнювачів використовується стиснене повітря, на виробництво якого витрачається електроенергія. Для натискних уповільнювачів витрати електроенергії, що пов'язані з регулюванням швидкості відцепів, визначаються кількістю включень уповільнювача. Витрати на одне включення можуть бути розраховані за формулою

$$E_{вкл} = V_{цс} \Delta p_{rc} \frac{N_{дк}}{60 \eta}, \quad (8)$$

де $V_{цс}$ – об'єм гальмівних циліндрів та розвідної пневматичної мережі між повітрезбірником та циліндрами; $N_{дк}$ – потужність двигуна компресора, кВт; Δp_{rc} – збільшення тиску в гальмівних циліндрах; P – продуктивність компресора, м³/хв.

Для розрахунку витрат енергії на гальмування на кожному кроці моделювання скочування відчепа фіксується факт збільшення тиску в гальмівних циліндрах кожного уповільнювача у порівнянні з попереднім кроком. При виконанні умови $\Delta p_{rc} > 0$ згідно з (8) визначаються витрати на спрацювання уповільнювача.

В імітаційних програмах моделювання скочування відцепів використовуються моделі конкретних типів уповільнювачів з заданими конструктивними параметрами, які є нащадками класу *TRetarderPres*. Так, уповільнювач КНП-5 має чотири ступеня гальмування, величина тиску для яких наведена у таблиці [10]; при цьому величина тиску, яка використовується на підйом гальмівної системи складає $p_0 = 0,5$ кгс/см², коефіцієнт передачі $k_{пер} = 2,37$, площа поршня гальмівного циліндра $S_{прц} = 804$ см².

Аналогічно розроблено моделі для інших основних типів натискних уповільнювачів (НК-114, УВСК, КЗ, ВЗПГ, Т-50).

Розрахункові характеристики ступенів гальмування

Ступінь гальмування	Тиск, кгс/см ²
I	1,24 — 1,86
II	2,27 — 3,31
III	3,93 — 4,96
IV	Повний тиск в гальмівній магістралі

Окремим випадком натискних уповільнювачів є уповільнювачі з плоско-паралельною схемою (наприклад РНЗ-2), для яких величина гальмівної сили не залежить від кількості осей, що знаходяться в уповільнювачі. Для врахування конструктивних особливостей таких уповільнювачів створено нащадок класу *TRetarderPres* – клас *TRetarderFlat*. Питомий гальмівний опір при цьому визначається за формулою

$$w_{тп} = \max_{i=1}^n \{w_{т.в,i}\},$$

В вагових уповільнювачах гальмівний опір створюється за рахунок ваги вагона. Додатковим параметром вагових уповільнювачів є їх стан d_y ($d_y=1$ – загальмований, $d_y=0$ – розгальмований). При цьому, питомий гальмівний опір, що діє на одну вісь в уповільнювачі, може бути визначено за формулою

$$w_{тв.в} = \frac{2 \sum_{i=1}^n q_i k_{пер} \phi_{пр} \mu}{n_t Q_b}.$$

Енергетичні витрати при зміні стану уповільнювача d_y з 0 на 1 визначаються за формулою (8).

Окрім балкових існують і інші конструктивні схеми уповільнювачів. Для можливості використання цих уповільнювачів в імітаційних моделях створюються відповідні класи, що є нащадками класу *TRetarderBase*, або його дочірніх класів. Так, на іноземних залізницях для виконання прицільного гальмування швидкості використовуються точкові уповільнювачі, наприклад системи DOWTY. Ці уповільнювачі автоматично виконують гальмування при перевищенні вагоном деякого порогового значення швидкості V_p . Для реалізації функцій точкових уповільнювачів розроблено класи *TRetarderPoint* та його нащадки, наприклад *TRetarderDOWTY*. Додатковими параметрами для класу *TRetarderPoint* є значення швидкості V_p , величина енергетичної висоти $h_{тв}$, що погашається при гальмуванні вагона масою Q_h , яка припадає на одну його вісь, та стан уповільнювача d_y . Стан уповільнювача визначається автоматично під час моделювання руху колеса вагона в зоні дії уповільнювача. При виконанні умови $v_p > V_p$ уповільнювач переводиться в загальмований стан (значення d_y встановлюється рівним 1). Питомий гальмівний опір від загальмованого точкового уповільнювача визначається за виразом

$$w_{тт.в} = \frac{h_{тв} Q_h}{l_r Q_b}.$$

В цілому ієрархія класів, що необхідні для моделювання гальмування відцепів на сортувальних гірках представлена на рис. 1.

З використанням розроблених моделей уповільнювачів створено імітаційну модель керованого скочування з гірки окремих відцепів (див. рис. 2).

В цій програмі моделі уповільнювачів виконані у вигляді окремих модулів, які динамічно підключаються до основної програми під час її виконання. В кожному модулі реалізовано алгоритми визначення питомого гальмівного опору для відцепу, що знаходиться на уповільнювачі, алгоритми визначення енергетичних витрат на гальмування та необхідні засоби інтерфейсу для задання режиму гальмування. Для прикладу на рис. 3 наведено відповідне діалогове вікно для уповільнювача КНП-5.

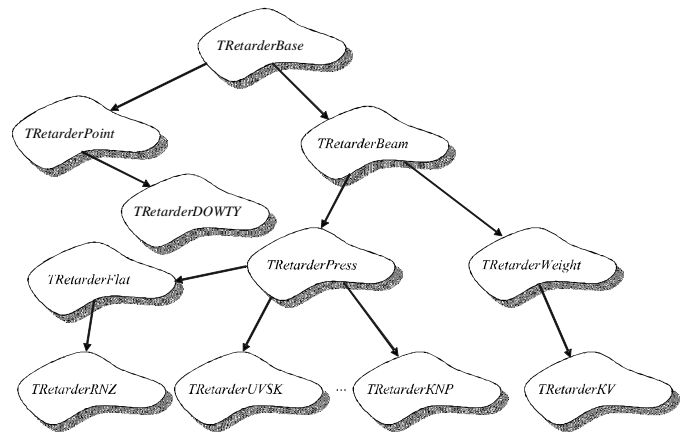


Рис. 1. Діаграма класів вагонних уповільнювачів.

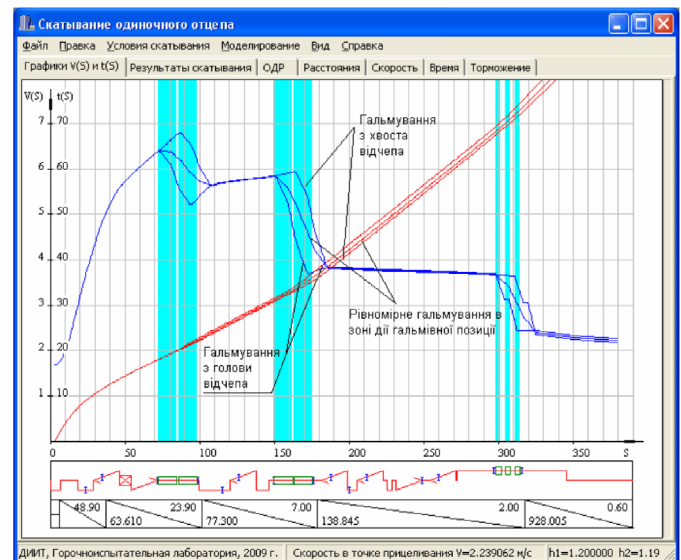


Рис. 2. Головне вікно програми моделювання скочування відцепів з графіками часу та швидкості руху відцепу по маршруту.

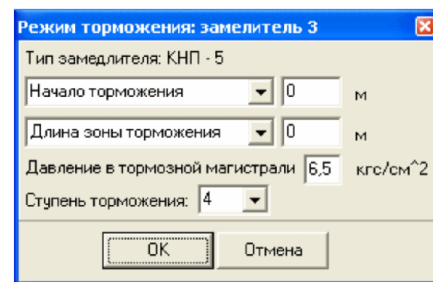


Рис. 3. Діалогове вікно для задання режиму гальмування уповільнювача КНП-5.

Аналіз результатів імітаційних експериментів показує, що застосування спрощених моделей уповільнювачів при традиційній методиці моделювання може призводити до суттєвих похибок. Так, у прикладі наведеному на рис. 2, при реалізації однієї і тієї ж погашеної енергетичної висоти (1,2 м.ен.в) уповільнювачами спускної частини гірки різниця у часі скочування до стрілочної зони при зміні режиму гальмування може досягати 3 с, що є досить суттєвим значенням для гіркових процесів.

Таким чином, в результаті виконаних досліджень розроблено моделі гальмівних уповільнювачів, які дозволяють більш детально імітувати процеси регулювання швидкості відцепів та визначати енерговитрати, що пов'язані з роботою гальмівних позицій. Розроблені моделі можуть використовуватись в задачах проектування плану та профілю сортувальних гірок, для оцінки алгоритмів автоматизованого керування швидкістю скочування відцепів, а також в системах автоматизації сортувального процесу на гірках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Е.Н. Лебединская, Н.Н. Новгородов, Л.В. Пальчик, Е.Г. Шепилова, А.А. Явна. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки // Вестник ВНИИЖТ, 1999. – № 3. – С. 32–34.
2. Буянова В.К. Моделирование на ЭЦВМ процесса роспуска вагонов с сортировочной горки. Вестник ЦНИИ МПС, 1965, № 6.
3. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках. Труды ДИИТа, вып. 194/11. Днепропетровск, 1977.
4. Муха Ю.А., Муратов А.А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расче-

тов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1990. – С. 11–20.

5. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств // Ю.А. Муха, Л.В. Тишков, В.П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.

6. В.П. Шейкин. Снижение расхода энергоресурсов для торможения вагонов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ, 1996. №3. – С. 24–27.

7. В.П. Шейкин, В.Н. Соколов, А.Б. Демидович. О нормировании и снижении расхода энергоресурсов на сортировочных горках // Автоматика, телемеханика и связь, 1995. – № 7. – С. 30–32.

8. Рогов Н.В., Божко Н.П., Козаченко Д.Н. Имитационная модель скатывания отцепов с регулируемой зоной торможения // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXV Международной научно-практической конференции. – ДИИТ, 2005. – С. 109–110.

9. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях / Ю.А. Муха, И.В. Харланович, В.П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.

10. Комплекс горочный микропроцессорный на базе промышленных компьютеров // Наши работы: «КТМ» – ВНИИ Автоматизации и Связи МПС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rfniias.ru/rfniias_rus/kgml.htm

УДК 656.2.078 (100):332.025.28

М.І. МІЩЕНКО, канд. економ. наук, доцент (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ))

Планування залежної й умовно-постійної частини експлуатаційних витрат галузевих господарств інфраструктури

Ключові слова: структура експлуатаційних витрат, залізничний транспорт, витрати інфраструктури, моделі залежності витрат.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими завданнями

Методами математичної статистики проводилася розробка кореляційних моделей залежності змінних і умовно-постійних витрат інфраструктури від вимірників роботи залізниць. Як апроксимуюча функція була обрана лінійна. Застосування майстра діаграм в Microsoft Excel дозволяє побудувати лінію тренда

(графічне подання тренда або напрямку зміни даних у варіаційному ряді). Надійність лінії тренда визначає величина вірогідності апроксимації (R^2) – це число від 0 до 1. Величина вірогідності апроксимації (аналогічне значення має й коефіцієнт детермінації) відображає близькість значень лінії тренда до фактичних даних, чим більше величина цього показника, тим достовірніше лінія тренда й ступінь точності побудованої моделі. Для обчислення

рівняння прямої лінії, що найкращим способом апроксимує наявні дані, використалася функція ЛІНЕЙН. Подібними даними були розраховані в роботі значення залежних і умовно-постійних витрат по галузевих господарствах і звітні значення вимірників роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор

Проблемою залежності витрат від обсягу перевезень займалися багато вчених і фахівці майже із самого початку функціонування залізничного транспорту. Питаннями розподілу витрат на залежні й незалежні від обсягу перевезень у різний час займалися спеціально створені урядові комісії під головуванням Глушинського, А. Н. Горчакова, Л. Ф. Николаї, Е. В. Михальцева. Дослідження проводилися в основному для цілей визначення розмірів фінансування залізниць, тому розподіл витрат на змінні і постійні здійснювалося виходячи з кошторисно-бюджетних завдань. Кошторис з таким розподілом витрат можна вважати прообразом гнучких кошторисів «гнучких бюджетів», які в цей час широко застосовуються у внутрішньому плануванні за кордоном.

© М.І. Міщенко, 2010.