

*Проаналізовано діючий науковий підхід до комплексного розрахунку і проектування висоти та поздовжнього профілю сортувальних гірок. Обґрунтовано необхідність застосування системного підходу до їх технічної експлуатації та розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів. Наведено модель функціонування сортувальної гірки*

*Ключові слова: сортувальна гірка, конструктивно-технологічні параметри, системний підхід, модель функціонування*

*Проанализирован существующий научный подход к комплексному расчету и проектированию высоты и продольного профиля сортировочных горок. Обоснована необходимость применения системного подхода к их технической эксплуатации и расчету рациональных конструктивно-технологических параметров. Приведена модель функционирования сортировочной горки*

*Ключевые слова: сортировочная горка, конструктивно-технологические параметры, системный подход, модель функционирования*

*Operating scientific approach to the complex calculation and planning of height and longitudinal type of sorting humps is analysed. The necessity of application of systems approach to their technical exploitation and calculation of rational structural-technological parameters is grounded. The model of functioning of sorting hump is resulted*

*Keywords: sorting hump, structural-technological parameters, systems approach, model of functioning*

# СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА КОМПЛЕКСНОГО РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

**О. М. Огар**

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

## 1. Вступ

Науковий підхід до комплексного проектування висоти та поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок, що закладений у [1], передбачає розробку декількох варіантів конструкції гірки і вибір ефективного варіанту за критерієм мінімуму приведених витрат для даних умов експлуатації. Якість конструкції оцінюється максимально можливою швидкістю розпуску, яку можна досягти при скочуванні розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях [2]. Метою такого наукового підходу є отримання максимальної переробної спроможності гірки за умови забезпечення необхідної надійності роботи. При цьому

ступінь використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів при збільшенні швидкості розпуску взагалі не аналізується, хоча окремі їх показники і враховуються при техніко-економічній оцінці варіантів конструкції сортувальних гірок.

## 2. Постановка проблеми

При виборі варіантів поздовжнього профілю і висоти гірки висувається дві умови. Необхідною умовою є забезпечення динамічності поздовжнього профілю. Достатньою умовою є забезпечення пробігу розрахункового бігуна до розрахункової точки трудної за

опором руху вагона колії в зимових несприятливих умовах. Параметри поздовжнього профілю другої (при наявності) і третьої дільниць приймаються згідно з діючими нормативами [1], а параметри головної дільниці встановлюються ітераційними розрахунками. На підставі аналізу отриманих результатів встановлюються параметри профілю головної дільниці, що максимально задовольняють умовам, що висуваються, після чого (при необхідності) корегуються параметри другої і третьої дільниць гірки. Таким чином, діючий науковий підхід до проектування поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок передбачає визначення таких його параметрів, які в повній мірі раціональними назвати складно.

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 достатньо усереднюється вплив конструкції поздовжнього профілю на висоту гірки: рекомендовані середньостатистичні значення 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 висоти гірки на 50% або 75% в залежності від типу сортувальної гірки. Середні швидкості на розрахункових дільницях визначені на підставі аналізу статистичних даних, що отримані на сортувальних гірках залізниць колишнього СРСР, і у ряді випадків це може привести до значних відхилень від реально необхідної висоти гірки.

Слід також відзначити, що діючий підхід взагалі не розглядає оптимізацію конструктивно-технологічних параметрів насувної частини гірки.

Наведене вище, а також сучасні вимоги до збереження паливно-енергетичних, виробничих та інших ресурсів не дозволяють в повній мірі кваліфікувати діючий науковий підхід до технічної експлуатації і проектування висоти та поздовжнього профілю сортувальних гірок комплексним.

### 3. Аналіз досліджень і публікацій

Визначенням раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок займалися такі вчені, як В.М. Образцов, М.О. Рогинський, П.В. Бартенев, М.І. Данько, Т.В. Бутько, І.В. Берестов, В.І. Бобровський, М.П. Топчєв, Є.О. Гибшман, І.І. Страковський, В.Є. Павлов, Є.В. Нагорний, М.І. Федотов, Б.О. Кривошей, С.О. Бессоненко, М.П. Божко, В.І. Смирнов, А.С. Писанко, Ю.Т. Гуричев, А.І. Гуда, С.Н. Дегтярьов, Н.Н. Новгородов, М.М. Дашков та ін. [3–21].

У 1929 р. професор В.М. Образцов вперше сформулював принцип і метод розрахунку висоти сортувальної гірки [3]. Подальший розвиток теорія розрахунку конструктивних параметрів сортувальних пристроїв отримала в працях М.О. Рогинського, П.В. Бартенева та ін. [4, 5].

Досить уваги було приділено оптимізації поздовжнього профілю і значень його окремих елементів [6–21]. Методи розрахунку конструктивних параметрів сорту-

вальних гірок, що були запропоновані за радянських часів, спрямовувались в основному на підвищення їхньої переробної спроможності, що обумовлювалося інтенсивним зростанням розмірів сортувальної роботи [11–21]. Основними недоліками окремих методів є відсутність достатнього обґрунтування:

- 1) мінімальних і максимальних значень уклонів елементів профілю;
- 2) прийнятих допущень при врахуванні сил опору руху вагонів;
- 3) режимів регулювання швидкості скочування відцепів.

Загальним недоліком зазначених методів є відсутність забезпечення енерго- і ресурсозбереження при оптимізації конструктивних параметрів сортувальних гірок. Спроби з нових позицій підійти до оптимізації вказаних параметрів відображено у працях ряду вчених [6–9, 22, 23].

### 4. Формулювання мети (постановка завдання)

Метою даних досліджень є забезпечення збереження паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів при виконанні сортувального процесу шляхом удосконалення наукового підходу до технічної експлуатації і розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок.

### 5. Обґрунтування системного підходу до технічної експлуатації та комплексного розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок

Технічна експлуатація і комплексність розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок повинні базуватися на системному підході, що забезпечить розвиток даних транспортних систем, надасть їм гнучкості та адаптивності в змінних умовах експлуатації, особливо в діючих умовах корегування плану формування поїздів.

При визначенні ефективності технічної експлуатації сортувальних гірок слід враховувати наступні показники використання ресурсів:

- 1) витрати дизельного палива гірковими локомотивами ( $G_{\text{д}}$ );
- 2) витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відцепів з гірки ( $G_{\text{ел}}$ );
- 3) потрібне число вагонних уповільнювачів на спускній частині ( $N_{\text{сч}}$ );
- 4) потрібне число вагонних уповільнювачів на сортувальних коліях ( $N_{\text{ск}}$ );
- 5) потрібне число гіркових локомотивів ( $N_{\text{гп}}$ );
- 6) складову робочого парку вагонів ( $P$ ).

Наведені показники є визначальними при оцінці варіантів конструкції сортувальних пристроїв. Перший і другий показники характеризують використання паливно-енергетичних ресурсів, третій, четвертий і п'ятий – виробничих ресурсів, шостий – перевізних ресурсів.

Дослідження впливу швидкості розпуску составів ( $V_{\text{р}}$ ) на витрати дизельного палива гірковими локомотивами, що виконані з використанням математичної

моделі [7], яка реалізована у вигляді програмного продукту [22], показують тенденцію збереження цього ресурсу при збільшенні  $V_p$  (рис. 1).

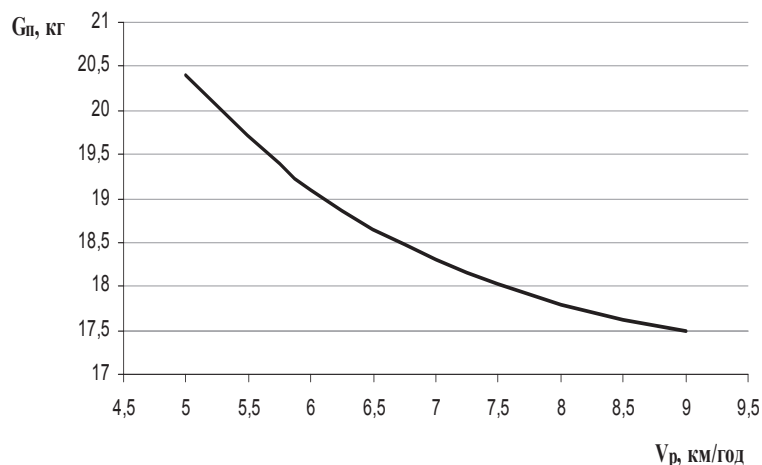


Рис. 1. Залежність витрат дизельного палива гірковими локомотивами від швидкості розпуску составів

Збільшення швидкості розпуску також позитивно впливає на зменшення числа гіркових локомотивів і робочого парку вагонів.

Відомо, що потрібне число гіркових локомотивів залежить від того, у якому співвідношенні знаходяться сума тривалостей заїзду ( $t_z$ ) та насуву ( $t_n$ ) і сума тривалості розпуску ( $t_p$ ) і мінімального інтервалу між суміжними розпусками составів ( $t_i$ ).

Якщо  $t_z + t_n \leq t_p + t_i$ , то приймається два гіркових локомотива.

Величина робочого парку вагонів залежить від тривалостей виконання технологічних операцій і міжопераційних простоїв. При збільшенні швидкості розпуску составів зменшуються тривалості їх розпуску і очікування розформування у парку приймання. Як позитивний фактор, зменшення  $t_p$  може впливати на тривалість очікування інших технологічних операцій, що слід оцінити натурними спостереженнями на полігонах залізниць України.

Однак для таких параметрів, як витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відцепів з гірки і потрібне число вагонних уповільнювачів на спускній частині і підгіркових коліях, збільшення швидкості розпуску составів не є сприятливим заходом. Для  $G_{ел}$  це, наприклад, видно з [1, таблиця П-6.1], де зі збільшенням  $V_p$  збільшується коефіцієнт включень вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях гірки.

Потрібне число вагонних уповільнювачів на спускній частині залежить від прийнятого їх типу і сумарної потрібної розрахункової потужності гальмових позицій спускної частини гірки. Ця потужність знаходиться у прямій залежності від початкової швидкості розпуску [1, пункт 7].

Особливий вплив початкова швидкість розпуску здійснює на потужність паркової гальмової позиції (ПГП), від якої залежить  $N_{ск}$ . З використанням програмного продукту, що розроблений у [23], отримані результати розрахунків (рис. 2), які свідчать про пряму залежність потрібної потужності ПГП від швидкості розпуску і підтверджуються дослідженнями ряду вчених.

Висота сортувальної гірки впливає тільки на витрати дизельного палива гірковими локомотивами, витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відцепів з гірки, потрібне число вагонних уповільнювачів на спускній частині і підгіркових коліях. Ця констатація базується на відомому фізичному законі про збереження і перетворення енергії. У фізичних процесах, що відбуваються на гірці, висота є визначальним параметром, а її зменшення позитивно впливає на використання зазначених вище паливно-енергетичних і виробничих ресурсів.

На рис. 3. наведено систематизацію результатів вищезазначених досліджень з тенденцією зміни основних чинників.

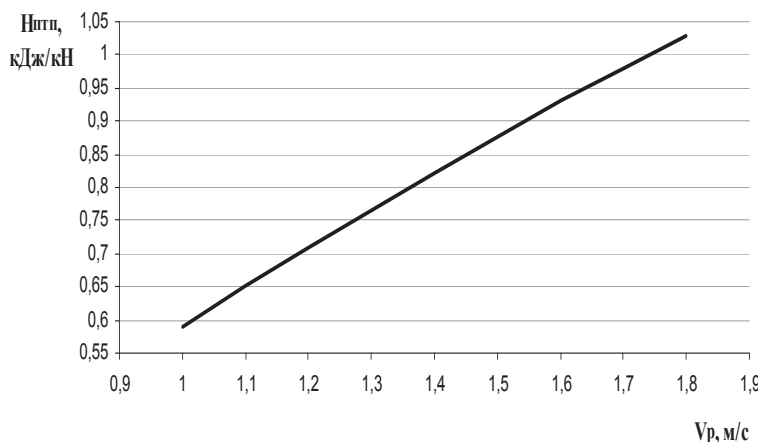


Рис. 2. Залежність потрібної потужності ПГП від початкової швидкості розпуску

Таким чином, попереднім аналізом доведено, що зменшення висоти гірки безпосередньо впливає на такі технічні і технологічні показники, як  $G_p$ ,  $G_{ел}$ ,  $N_{ск}$ ,  $N_{ск}$ . Збільшення швидкості розпуску составів покращить (тенденція зменшення) лише три показники:  $G_p$ ,  $N_{гл}$  і  $P'$ . Для іншої підмножини показників, а саме  $G_{ел}$ ,  $N_{ск}$ ,  $N_{ск}$ , збільшення  $V_p$  може призвести до значних додаткових капітальних і експлуатаційних витрат.

Тобто задачу визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок слід кваліфікувати як екстремальну відносно швидкості розпуску составів.

Отже, у реальному масштабі часу вектор швидкості розпуску составів ( $\vec{V}_p(t)$ ) можна вважати єдиним керуючим входним впливом на систему „Сортувальна гірка”, яка згідно з [1] є інженерною спорудою, що при-

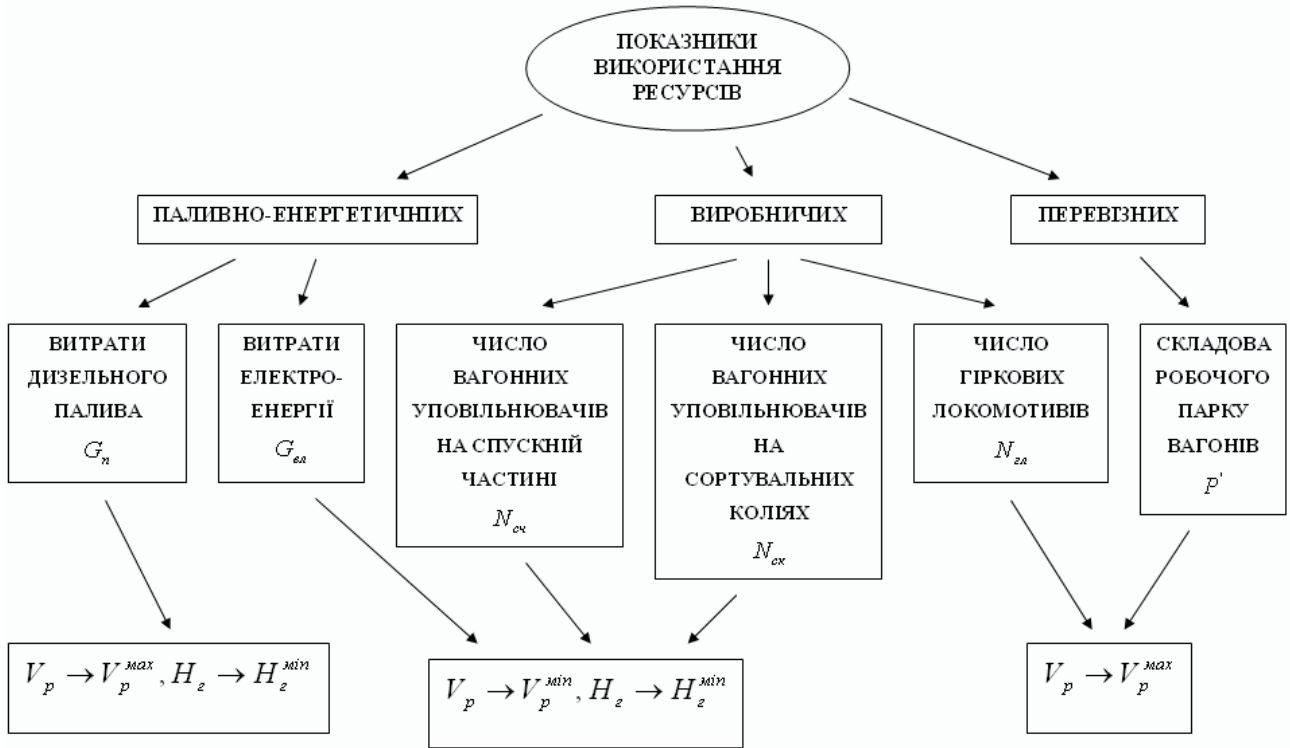


Рис. 3. Умови мінімізації використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів

значена для переробки вагонопотоку, має колійний розвиток (з відповідним планом і профілем) і технічне оснащення.

Крім того, додатковими квазікеруючими вхідними впливами на дану систему будемо вважати вектори розмірів вагонопотоку, що надходить у переробку,  $(\bar{N}_{\text{сост}}(t))$  та параметрів його структури (вектори числа вагонів  $(\bar{m}_{\text{ваг}}(t))$ , числа відцепів  $(\bar{n}_{\text{відч}}(t))$ , числа чотирирівнісних  $(\bar{m}_{\text{ваг}}^{\text{ix}}(t))$  і восьмивісних  $(\bar{m}_{\text{ваг}}^{\text{sx}}(t))$  вагонів, числа вагонів у відчепах  $(\bar{m}_{\text{відч}}(t))$ , ваги  $(\bar{q}_{\text{ваг}}(t))$  і типу  $(\bar{T}_{\text{ваг}}(t))$  вагонів, числа  $(\bar{N}_{\text{привз}}(t))$  і потужності  $(\bar{M}_{\text{привз}}(t))$  призначень, частка кутового  $(\bar{q}_{\text{кут}}(t))$  та порожнього  $(\bar{q}_{\text{пор}}(t))$  вагонопотоку у складах, що переробляються).

Позначимо множину впливів, що здійснюють (частково здійснюють) цілеспрямовану зміну стану системи „Сортувальна гірка”, через  $\bar{U}(t)$ .

До множини некерованих вхідних впливів  $\bar{V}(t)$  відносяться вектори параметрів, що відображають поточний стан метеорологічних умов, а саме вектори температури повітря  $(\bar{t}^{\circ}(t))$ , швидкості  $(\bar{V}_v(t))$  та напрямку  $(\bar{\beta}(t))$  вітру.

Стан системи „Сортувальна гірка” у момент часу  $t$  можна записати у наступному виді

$$\bar{Q}(t) = F^{\circ}(t, \bar{Q}_0, \bar{Z}(t), \bar{P}(t), \bar{U}(t), \bar{V}(t)),$$

де  $F^{\circ}$  – оператор стану системи;

$\bar{Q}_0$  – початковий стан системи;

$\bar{Z}(t)$  – характеристики системи, які залежать від множини вхідних впливів  $\bar{U}(t) \cup \bar{V}(t)$  на систему;

$\bar{P}(t)$  – множина параметрів керування, які можуть змінюватись у процесі функціонування системи та забезпечувати підвищення її якості.

Початковим станом системи є множина векторів: поздовжнього профілю насувної частини гірки  $(\bar{l}_{\text{нч}})$ , поздовжнього профілю спускної частини гірки  $(\bar{l}_{\text{сч}})$ , числа вагонних уповільнювачів, що розташовані на спускній частині  $(\bar{N}_{\text{сч}})$ , числа вагонних уповільнювачів, що розташовані на сортувальних коліях  $(\bar{N}_{\text{ск}})$ , потужності  $(\bar{P}_{\text{лок}})$  і довжини  $(\bar{l}_{\text{лок}})$  гіркового локомотиву, числа стрілочних переводів  $(\bar{N}_{\text{стр}})$  і кривих дільниць колій  $(\bar{N}_{\text{кр}})$ , координат центрів переводів  $(\bar{x}_{\text{цп}}, \bar{y}_{\text{цп}})$  і вершин кутів повороту  $(\bar{x}_{\text{вк}}, \bar{y}_{\text{вк}})$ , кутів повороту на стрілочних переводах  $(\bar{\alpha}_{\text{стр}})$  та кривих дільницях колій  $(\bar{\alpha}_{\text{кр}})$ , радіусів перевідних кривих стрілочних переводів  $(\bar{R}_{\text{стр}})$  і кривих дільниць колій  $(\bar{R}_{\text{кр}})$ , радіусів вертикальних кривих  $(\bar{R}_v)$ , числа колій у парку приймання  $(\bar{m}_k)$ , числа основних колій  $(\bar{m}_r)$  і числа секцій  $(\bar{n}_c)$  у передгірковій горловині, годинної витрати палива гірковим локомотивом  $(\bar{q}_{\text{год}})$ , витрат електроенергії на одне спрацювання вагонного уповільнювача  $(\bar{q}_{\text{ел}})$ , вартості дизельного палива  $(\bar{e}_d)$  і електроенергії  $(\bar{e}_{\text{ел}})$ , вартості вагонних уповільнювачів  $(\bar{K}_{\text{вп}})$  і гіркових локомотивів  $(\bar{K}_{\text{лок}})$ , тарифних ставок робітників, що обслуговують вагонні уповільнювачі  $(\bar{C}_{\text{тс}}^{\text{вп}})$  і гіркові локомотиви  $(\bar{C}_{\text{тс}}^{\text{лок}})$ , нормативних працевитрат на технічне обслуговування вагонних уповільнювачів  $(\bar{T}_{\text{то}}^{\text{вп}})$  і гіркових локомотивів  $(\bar{T}_{\text{то}}^{\text{лок}})$ , вартості вагоно-годин простою  $(\bar{e}_{\text{ваг-год}})$ , об’єму  $(\bar{V}_z)$  і вартості проведення  $(\bar{e}_z)$  земляних робіт, вартості систем автоматизації  $(\bar{C}_{\text{авт}})$ .

Характеристиками системи, які залежать від множини вхідних впливів  $\bar{U}(t)$  і  $\bar{V}(t)$ , є вектори витрат палива гірковими локомотивами на насув і розпуск составів  $(\bar{G}_n(t))$ , витрат електроенергії на регулюван-

ня швидкості скочування відчепів ( $\bar{G}_{ел}(t)$ ), складової робочого парку вагонів ( $P'(t)$ ).

До параметрів керування слід віднести вектори числа гіркових локомотивів ( $\bar{N}_{гд}(t)$ ) і числа спрацювань вагонних уповільнювачів ( $\bar{K}_{стр}^{yn}(t)$ ).

Виходом системи „Сортувальна гірка” є множина

$$E(t) = (\bar{E}_п(t), \bar{E}_{зч}(t), \bar{E}_{то}(t), \bar{E}_{ел}(t), \bar{E}_{ушк}(t), \bar{E}_{пп}(t)),$$

де  $E(t)$  – види витрат системи з наростаючим підсумком;

$\bar{E}_п(t)$  – вектор експлуатаційних витрат на дизельне паливо для насуву і розпуску составів;

$\bar{E}_{зч}(t)$  – вектор експлуатаційних витрат на матеріали і запасні частини;

$\bar{E}_{то}(t)$  – вектор експлуатаційних витрат на технічне обслуговування вагонних уповільнювачів і гіркових локомотивів;

$\bar{E}_{ел}(t)$  – вектор експлуатаційних витрат на електроенергію для регулювання швидкості скочування відчепів з гірки;

$\bar{E}_{ушк}(t)$  – вектор витрат від пошкодження вагонів на гірці;

$\bar{E}_{пп}(t)$  – вектор експлуатаційних витрат, пов'язаних з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування.

Значення вихідних параметрів  $E(t)$  є координатами фазової траєкторії у фазовому просторі та залежать від вхідних впливів  $\bar{U}(t)$  і  $\bar{V}(t)$ , внутрішніх характеристик системи  $\bar{Z}(t)$  і параметрів керування  $\bar{P}(t)$ . Таким чином, виходячи із системного підходу [24], закон функціонування системи „Сортувальна гірка” буде мати наступний загальний вид

$$E(t) = G^o(t, \bar{Q}_o, \bar{Z}(t), \bar{P}(t), \bar{U}(t), \bar{V}(t), \bar{S}(t)),$$

де  $G^o$  – оператор виходу;

$\bar{S}(t)$  – вектор структурної перебудови.

Структурною перебудовою системи може бути зміна:

1) конструкції поздовжнього профілю сортувальної гірки;

2) конструкції плану колійного розвитку сортувальної гірки;

3) числа вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях;

4) типів гіркових локомотивів;

5) режимів регулювання швидкості скочування відчепів з гірки;

6) систем автоматизації сортувального процесу.

Структурна перебудова може відбутися в наслідок:

1) зміни розрахункових метеорологічних умов скочування відчепів з гірки;

2) зміни обсягу і структури вагонопотоку, що переобляється;

3) переоснащення гальмових позицій;

4) природного погіршення технічних характеристик гіркових локомотивів і вагонних уповільнювачів;

5) перебудови (реконструкції) передгіркової горловини;

6) зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів;

7) зміни тарифних ставок робітників, що обслуговують гіркові локомотиви і вагонні уповільнювачі;

8) зміни нормативних працевитрат на технічне обслуговування гіркових локомотивів і вагонних уповільнювачів;

9) зміна вартості вагоно-годин простою.

Періодичність структурної перебудови системи „Сортувальна гірка” може бути встановлено:

1) 3 роки на підставі [25, п. 3.7], де передбачається перевірка поздовжнього профілю сортувальних гірок не рідше одного разу на три роки з приведенням до проектного профілю. Поряд з корегуванням поздовжнього профілю гірок можуть розглядатися варіанти приведення його до нового проектного профілю або застосування інших структурних перебудов;

2) 10 років на підставі [1, п. 1.2], де передбачається перегляд Правил і норм проектування сортувальних пристроїв не рідше одного разу на десять років. Результатом перегляду може бути необхідність застосування структурних перебудов, в тому числі і тих, які були зазначені вище.

Оскільки конструкція поздовжнього профілю і число вагонних уповільнювачів залежать від розрахункової швидкості розпуску составів для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок слід передбачати функціонування системи при різних початкових станах, кожен з яких повинен знаходитися у відповідності з  $\bar{V}_p(t)$ . У цьому випадку закон функціонування системи „Сортувальна гірка” слід записати у наступному виді

$$\bar{E}_i(t) = G_i^o \left( t, \bar{Q}_{o_i}, \bar{G}_{п_i}(t), \bar{G}_{ел_i}(t), \bar{P}_i(t), \bar{N}_{гд_i}(t), \bar{K}_{стр_i}^{yn}(t), \bar{V}_{p_i}(t), \bar{N}_{сост}(t), \bar{m}_{вар}(t), \bar{n}_{відч}(t), \bar{m}_{вар}^{4x}(t), \bar{m}_{вар}^{8x}(t), \bar{m}_{відч}(t), \bar{q}_{вар}(t), \bar{T}_{vag}(t), \bar{N}_{приз}(t), \bar{M}_{приз}(t), \bar{q}_{кут}(t), \bar{q}_{нор}(t), \bar{t}^o(t), \bar{V}_B(t), \bar{\beta}(t), \bar{S}_i(t) \right), \quad (1)$$

де  $i$  – порядковий номер початкового стану системи;

$$\bar{Q}_{o_i} = (\bar{I}_{чч_i}, \bar{I}_{чч_i}, \bar{N}_{сч_i}, \bar{N}_{ск_i}, \bar{P}_{лок}, \bar{I}_{лок}, \bar{N}_{стр}, \bar{N}_{кр}, \bar{x}_{щп}, \bar{y}_{щп},$$

$$\bar{x}_{вк}, \bar{y}_{вк}, \bar{\alpha}_{стр}, \bar{\alpha}_{кр}, \bar{R}_{стр}, \bar{R}_{кр}, \bar{R}_в, \bar{m}_к, \bar{m}_г, \bar{n}_с, \bar{q}_{год}, \bar{q}_{ел}, \bar{e}_п,$$

$$\bar{e}_{ел}, \bar{K}_{уп}, \bar{K}_{лок}, \bar{C}_{тс}^{уп}, \bar{C}_{тс}^{лок}, \bar{T}_{то}^{уп}, \bar{T}_{то}^{лок}, \bar{e}_{вар-год}, \bar{V}_з, \bar{e}_з, \bar{C}_{авт}).$$

Конфігурація фазового простору системи визначається з урахуванням обмежень на вхідний керуючий вплив  $\bar{V}_{p_i}(t)$ , квазікеруючі вхідні впливи, некеровані вхідні впливи, характеристики системи  $\bar{G}_{п_i}(t)$ ,  $\bar{G}_{ел_i}(t)$  і  $\bar{P}_i(t)$  та параметри керування  $\bar{N}_{гд_i}(t)$  і  $\bar{K}_{стр_i}^{yn}(t)$ .

Функціональний оптимум в області припустимих фазових траєкторій при  $i$ -му початковому стані системи „Сортувальна гірка” визначається можливістю раціонального використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів впродовж трьох (десяти) років (до початку наступної структурної перебудови системи).

Фазовий простір  $\Phi$  системи „Сортувальна гірка” має наступні обмеження



$$M \in E_k \left\{ \begin{array}{l} 0,8 \leq \bar{V}_{pi}(t) \leq 1,9; \bar{N}_{сост}(t) \leq \bar{N}_{сост}^{max}; \\ \bar{m}_{вар}^{min} \leq \bar{m}_{вар}(t) \leq \bar{m}_{вар}^{max}; \bar{n}_{відч}^{min} \leq \bar{n}_{відч}(t) \leq \bar{n}_{відч}^{max}; \\ \bar{m}_{вар}^{4x\ min} \leq \bar{m}_{вар}^{4x}(t) \leq \bar{m}_{вар}^{4x\ max}; \bar{m}_{вар}^{8x\ min} \leq \bar{m}_{вар}^{8x}(t) \leq \bar{m}_{вар}^{8x\ max}; \\ 1 \leq \bar{m}_{відч}(t) \leq \bar{m}_{відч}^{max}; \bar{q}_{вар}^{min} \leq \bar{q}_{вар}(t) \leq \bar{q}_{вар}^{max}; \\ \bar{N}_{приз}^{min} \leq \bar{N}_{приз}(t) \leq \bar{N}_{приз}^{max}; \bar{M}_{приз}^{min} \leq \bar{M}_{приз}(t) \leq \bar{M}_{приз}^{max}; \\ \bar{q}_{кут}^{min} \leq \bar{q}_{кут}(t) \leq \bar{q}_{кут}^{max}; \bar{q}_{пор}^{min} \leq \bar{q}_{пор}(t) \leq \bar{q}_{пор}^{max}; \\ \bar{t}_{min}^o \leq \bar{t}^o(t) \leq \bar{t}_{max}^o; 0 \leq \bar{V}_B(t) \leq \bar{V}_{B\ max}; 0 \leq \bar{\beta}(t) \leq 360; \\ \bar{G}_{п}^{min} \leq \bar{G}_{п}(t) \leq \bar{G}_{п}^{max}; \bar{G}_{ел}^{min} \leq \bar{G}_{ел}(t) \leq \bar{G}_{ел}^{max}; \\ \bar{P}_i(t) \leq \bar{P}; 1 \leq \bar{N}_{гл_i}(t) \leq \bar{N}_{гл_i}^{max}; 0 \leq \bar{K}_{сп_i}^{уп}(t) \leq \bar{K}_{сп_i}^{max}, \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $\bar{N}_{сост}^{max}$  – вектор максимально можливого числа составів, що надходять у переробку;

$\bar{m}_{вар}^{min}, \bar{m}_{вар}^{max}, \bar{n}_{відч}^{min}, \bar{n}_{відч}^{max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливого числа вагонів і відчепів у складах;

$\bar{m}_{вар}^{4x\ min}, \bar{m}_{вар}^{4x\ max}, \bar{m}_{вар}^{8x\ min}, \bar{m}_{вар}^{8x\ max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливого числа чотири-вісних і восьмивісних вагонів у складах;

$\bar{m}_{відч}^{max}$  – вектор максимально можливого числа вагонів у відчепках;

$\bar{q}_{вар}^{min}, \bar{q}_{вар}^{max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливої ваги вагонів у складах;

$\bar{N}_{приз}^{min}, \bar{N}_{приз}^{max}, \bar{M}_{приз}^{min}, \bar{M}_{приз}^{max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливих числа і потужності призначень;

$\bar{q}_{кут}^{min}, \bar{q}_{кут}^{max}, \bar{q}_{пор}^{min}, \bar{q}_{пор}^{max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливої частки кутового і порожнього вагонопотоку;

$\bar{t}_{min}^o, \bar{t}_{max}^o$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливої температури повітря;

$\bar{V}_{B\ max}$  – відповідно вектор максимально можливої швидкості вітру;

$\bar{G}_{п}^{min}, \bar{G}_{п}^{max}, \bar{G}_{ел}^{min}, \bar{G}_{ел}^{max}$  – відповідно вектори мінімально і максимально можливих витрат дизельного палива та електроенергії у системі до моменту часу  $t$ ;

$\bar{P}$  – вектор робочого парку вагонів на момент часу  $t$ ;

$\bar{N}_{гл}^{max}$  – вектор максимально можливого числа гіркових локомотивів, що можуть працювати на гірці;

$\bar{K}_{сп}^{max}$  – вектор максимально можливого числа спрацювань вагонних уповільнювачів до моменту часу  $t$ .

В умовах припущення, що параметри в обмеженнях є незалежними між собою та лінійними  $E_k$  представляє опуклу множину в евклідовому просторі розмірності  $k = 23$ .

Таким чином, достатньо універсальною моделлю функціонування системи „Сортувальна гірка” можна

вважати модель (1), де  $\bar{E}_i(t) \rightarrow \min$ , сумісно з обмеженнями (2).

Ефективний варіант конструкції, технології і керування процесом функціонування системи слід визначати за допомогою функції Хевісайда  $a_i$  ( $a_i \in \{0,1\}$ )

$$\bigcup_{i \in [1,R]} a_i \bar{E}_i(t) \rightarrow \min,$$

де  $R$  – число можливих початкових станів системи.

## 6. Висновки

Системний підхід до технічної експлуатації та розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок можна вважати комплексним в повній мірі. Підхід, що запропонований, на відмінність від відомих підходів дозволяє у динаміці оцінити якість конструкції, технології і керування функціонуванням даної системи по ступеню використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів.

## Література

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах СССР // ВСН 207-89/МПС. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.
2. Муха Ю.А. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю.А. Муха, Л.Б. Тишков, В.П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
3. Образцов В.Н. Основные данные для проектирования железнодорожных станций / В.Н. Образцов. – М.: Государственное издательство, 1929. – 344 с.
4. Рогинский Н.О. Механизация сортировочных горок / Н.О. Рогинский. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 255 с.
5. Бартев П.В. Станции и узлы / П.В. Бартев. – М.: Трансжелдориздат, 1945. – 601 с.
6. Алейник В.С. Анализ конструкції поздовжнього профілю насувної частини сортувальних пристроїв станцій залізниць України / В.С. Алейник, І.В. Берестов, М.І. Данько, О.М. Огар // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України: зб. наук. праць. – Харків, 2004. – Вип. 62. – С. 67-75.
7. Бутько Т.В. Дослідження впливу конструктивних параметрів поздовжнього профілю насувної частини гірок на витрати палива при розформуванні составів / Т.В. Бутько, О.М. Огар, М.П. Топчів // Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць: міжвуз. зб. наук. праць. – Харків, 2003. – Вип. 53. – С. 13-19.
8. Берестов И.В. Теоретические основы оптимизации параметров сортировочных горок (Часть 1) / И.В. Берестов // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 1997. – № 4. – С. 34-37.
9. Берестов И.В. Теоретичні основи оптимізації параметрів сортувальних гірок / І.В. Берестов // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків, 1998. – Вип. 33. – С. 8-15.
10. Бобровский В.И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием состава

- вов / В.И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков, 1996. – № 1,2. – С. 19–25.
11. Гибшман Е.А. Обустройства пассажирских и товарных станций / Е.А. Гибшман. – М.: Транспечать, 1928. – 128 с.
  12. Основные требования к техническому оснащению сортировочных станций: труды ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – Вып. 270. – 220 с.
  13. Павлов В.Е. Исследование проблемы оптимального проектирования автоматизированной сортировочной горки: автореф. дисс... доктора техн. наук: 05.22.08 / В.Е. Павлов. – Л., 1971. – 32 с.
  14. Нагорный Е.В. Проектирование продольного профиля спускной части сортировочных горок с применением ЭВМ / Е.В. Нагорный // Вопросы совершенствования проектирования и использования устройств железнодорожных и промышленных узлов: труды МИИТа. – М., 1976. – С. 89–91.
  15. Кривошей Б.А. Технично-експлуатаційні параметри сортировочной горки / Б.А. Кривошей, А.З. Пестременко // Механізація та автоматизація сортировочного процесу на станціях: труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1977. – С. 39–47.
  16. Бессоненко С.А. Расчет продольного профиля спускной части сортировочной горки / С.А. Бессоненко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: труды БелИИЖТа. – Гомель, 1984. – С. 69–76.
  17. Божко Н.П. Исследование конструкций плана и профиля сортировочных горок с помощью ЭВМ / Н.П. Божко // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог: труды МИИТа. – М., 1983. – Вып. 736. – С. 14–16.
  18. Смирнов В.И. Динамика скатывания одновагонных отцепов с сортировочной горки / В.И. Смирнов // Транспорт: наука, техника, управление. – М., 1993. – №10. – С. 29–34.
  19. Писанко А.С. К вопросу о расчете скоростного участка горочного профиля / А.С. Писанко // Вопросы увеличения пропускной способности железных дорог: труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону, 1983. – С. 63–70.
  20. Гуричев Ю.Т. Об одном подходе к задаче нахождения оптимальных параметров горки / Ю.Т. Гуричев, А.Н. Гуда, С.Н. Дегтярев, Н.Н. Новгородов // Микропроцессорные системы управления на железнодорожном транспорте: труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону, 1984. – С. 35–38.
  21. Дашков М.Г. К вопросу проектирования ступенчатого профиля спускной части сортировочной горки / М.Г. Дашков // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог: межвуз. сб. науч. трудов. – Новосибирск, 1987. – С.57–64.
  22. Бутько Т.В. Розробка моделі для визначення витрат палива гірковими локомотивами при насуві та розформуванні составів / Т.В. Бутько, М.І. Данько, О.М. Огар, М.П. Топчієв // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К., 2004. – Вып. 58. – С. 217–221.
  23. Огарь А.Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля: дисс... кандидата техн. наук: 05.22.20 / А.Н. Огарь. – Харьков, 2002. – 191 с.
  24. Иванов А.М. Общая теория систем / А.М. Иванов, В.П. Петров, И.С. Сидоров, К.А. Козлов. – СПб.: Научная мысль, 2005. – 480 с.
  25. Правила технічної експлуатації залізниць України. – Київ, 2007. – 120 с.