


**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**
Навчально - науковий інститут транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи


освітній ступінь - магістр
спеціальність - 273 – «Залізничний транспорт»
спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ»

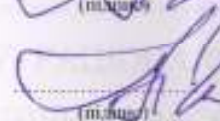
Виконав
Здобувач вищої освіти
групи ІБЗТ-19зм


..... Матейченко Ю.А.
(підпис)

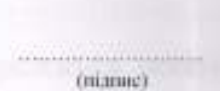
Керівник:


..... проф. Чернецька-Білецька Н.Б.
(підпис)

Завідувач кафедри:


..... проф. Чернецька-Білецька Н.Б.
(підпис)

Рецензент:


.....
(підпис) **Вайдук Є.В.** (ініціали і прізвище)

1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ РОЗФОРМУВАННІ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

1.1 Аналіз визначення конструктивних параметрів сортувальних пристроїв при розформуванні составів

Важлива роль в переробці вагонопотоків належить сортувальним станціям. Якісна робота якої залежить від конструкції технічних елементів станції, плану, профілю й колійного розвитку. В залежності від умов роботи та об'ємів вагонопотоку на станціях в якості сортувальних пристроїв використовуються гірки, напівгірки та профільовані витяжні колії. Розформування составів на сортувальних станціях відбувається в підсистемі „парк прийому - гірка” [121]. До основних технічних пристроїв, які задіяні у процесі розформування составів, відносяться: сортувальна гірка, парк прийому, гіркові локомотиви та гальмові пристрої. При проектуванні підсистеми „парк прийому - гірка” особливого значення набуває поздовжній профіль сортувальної станції, що повинен забезпечувати скорочення часу й полегшення умов насуву составів на гірку, а також поліпшення використання потужності маневрових локомотивів.

Сортувальні гірки є основними пристроями по розформуванню та формуванню составів на сортувальних станціях. Сортувальна гірка (рис. 1.1) — найбільш досконалий пристрій, де використовується сила власної ваги вагонів. В залежності від профілю насувної частини сортувальної гірки поділяються на два типи.

На гірках першого типу (рис. 1.1а) проектують невеликий горб з земляного насипу, на який состави насуваються маневровим локомотивом, а потім по більш пологим уклонам вагони скочуються вниз на відповідні колії сортувального парку. На гірках другого типу (рис. 1.1б) колії насувної частини гірки розташовані на порівняно пологих уклонах ($0—8‰$), по яких состав рухається під дією власної сили тяжкості. При цьому швидкість руху

регулюється гальмовими пристроями, які розташовані на площадці або іншому елементі профілю, який спеціально розраховується [25].

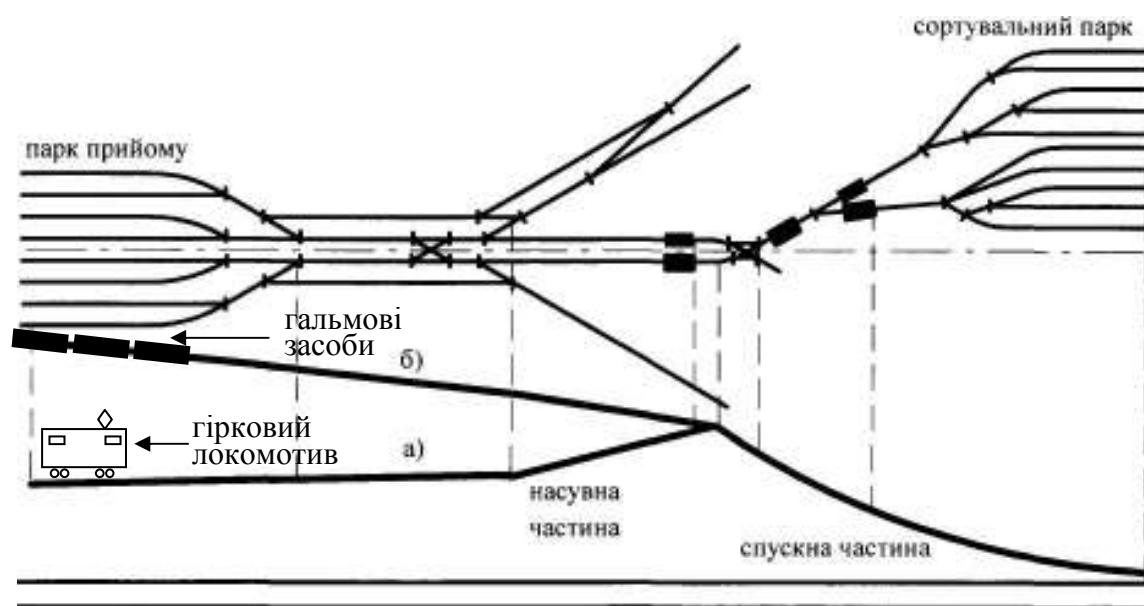


Рис. 1.1. План та профіль сортувальних гірок

З метою удосконалення маневрової технології на основі ресурсозбереження було проведено аналіз досліджень щодо існуючих методів нормування маневрової роботи. Цим питанням присвячені наукові праці таких вчених, як К.С. Ахвердієв, І.В. Берестов, С.О. Бессоненко, В.І. Бобровський, М.П. Божко, Е.О. Гібшман, Ю.Т. Гуричев, А.И. Гуда, М.М. Дашков, С.Н. Дегтярев, В.П. Жуков, І.В. Жуковицький, Б.О. Кривошей, Ю.А. Муха, Є.В. Нагорний, Н.Н. Новгородов, О.М. Огар, В.Є Павлов, А.С. Писанко, В.Ф. Пригоровський, В.І. Смірнов, І.І. Страковський, В.В. Стрельникова, Л.Б. Тішков, М.П. Топчієв, Н.І. Федотов, І.Б. Феоктистов, О.П. Шипулін та інші. Безпосередньо питанням удосконалення конструкції поздовжнього профілю насувної частини присвячені праці В.Є. Павлова, В.Ф. Пригоровського, Л.Б. Тішкова, М.П. Топчієва, О.П. Шипуліна. та інші [12, 17-24, 38, 41-43, 59, 74, 79, 86, 87, 91, 100, 113-114, 122, 126, 127]. Дослідження цих вчених спрямовані на вибір та обґрунтування значень параметрів поздовжнього профілю в основному спускної частини сортувальних гірок. Безпосередньо питанням удосконалення конструкції поздовжнього профілю насувної частини присвячені праці Т.В.

Бутько, О.М. Огар, В.Є. Павлова, В.Ф. Пригоровського, Л.Б., Тішкова, М.П. Топчієва, О.П. Шипуліна [28, 94, 137].

В перші роки будівництва сортувальних гірок в СРСР на деяких станціях (Рибне, Фастов, Знаменка та інш.) були споруджені гірки зі суцільними уклонами, але поступово їх перетворили на гірки з горбами. Обґрунтовувалось це високою вартістю земляних робіт при підйомі парка прийому або гіркових витяжних колій на значну висоту.

Наукові дослідження по організації сортувальної роботи та проектуванню сортувальних пристроїв на станціях з'явилися на початку ХХ ст. Вперше розробив основні положення про висоту та профіль сортувальних гірок проф. А. Н. Фролов, В. Л. Арнольд вивів загальне рівняння руху відчепа та дослідивши його, прийшов до висновку, що ідеальна форма профілю — циклоїда. Пізніше (у 1929 р.) до такого висновку прийшов і проф. Е.О. Гібшман. В 1909 р. проф. Г. Д. Дубелір запропонував графічний спосіб розрахунку і перевірки профілю сортувальних гірок, а в 1913 р. Е.О. Гібшман значно удосконалив його. В 1916 р. В.Н. Образцов розробив графоаналітичний метод розрахунку та перевірки профілю сортувальних гірок [25].

Удосконаленням цих методів займалися спеціалісти залізничного транспорту: С. В. Земблинов, В. Д. Нікітін, Н. О. Рогинський, В. Д. Ратников, И. И. Страковський, А. М. Долаберидзе, А. А. Яблонський, Н. Р. Ющенко та ін. [77, 111].

Сортувальна гірка, як і кожен сортувальний пристрій, складається з насувної і спускної частин. Насувна частина являє собою дільницю в межах витяжної колії, або парку прийому і її подовження убік сортувального парку. Насувна частина служить для розміщення состава перед розформуванням і подачі його на вершину сортувальної гірки. Спускна частина призначена для відриву відчепів від состава, їхнього розгону під дією сили ваги і спрямування на сортувальні колії відповідно до призначення вагонів. Сполучення насувної і спускної частин здійснюється по кривим радіусом не менш 350 м, що утворює

перевальну частину сортувальної гірки. При цьому між вертикальними кривими насувної і спускної частин може влаштовуватися горизонтальна площадка. Сумарна величина уклонів насувної і спускної частини, що сполучаються, не повинна перевищувати 55‰ .

Важливе значення при визначенні параметрів типових конструкцій гірок, є досвід зарубіжних залізниць. Розташування колій насуву на гірку, висота гірок, профіль спускної частини гірки та план підгіркових горловин на зарубіжних сортувальних станціях не всюди був однаковий. Це пояснювалось як різними кліматичними так і експлуатаційними умовами [37, 77].

При цьому можна скласти досить повне уявлення про основні принципи проектування й експлуатацію сортувальних гірок у закордонних країнах. На європейських залізницях переважав, так званий, німецький тип сортувальних гірок (рис. 1.2). Загальна характеристика профілю гірок цього типу така: перед горбом гірки підйом крутістю 20‰ , ділянка від кінця передгіркової горловини до протиуклона проектується на підйомі у бік гірки крутістю 7‰ , далі на спускній частині гірки крутий швидкісний ухил приблизно $40 - 65\text{‰}$, проміжний спуск з ухилом $12,5 - 17\text{‰}$, стрілочна зона на площадці і сортувальний парк на ухилі $2 - 2,5\text{‰}$ [77].

Перші механізовані гірки з'явилися в Німеччині, зокрема, на станції Гам, у 1925 р. Тут була передбачена одна гальмова позиція, розташована перед кожним пучком із семи-восьми сортувальних колій. Профіль гірки був розбитий на три елементи: швидкісний ухил 36‰ , проміжна ділянка 15‰ і стрілочна зона на площадці. Такий тип гірок був основним не тільки в Німеччині, але й в інших країнах Європи (Англії, Франції, Голландії, Данії, Швейцарії та ін.) [25].

Таким чином, поздовжній профіль сортувальних гірок німецького типу характеризується швидким переходом від крутого швидкісного уклону до горизонтальної площадки. До недоліків даного профілю насувної частини гірки

можна віднести погані умови докочування довгих відцепів у глибину підгіркового парку.

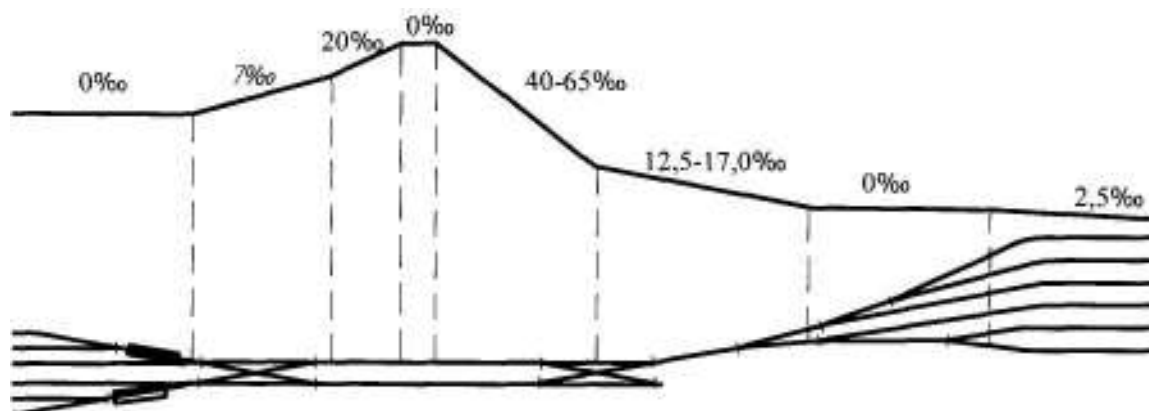


Рис. 1.2. Характеристика профілю гірок німецького типу

На гірках залізниць Англії, як правило, застосовувалась тільки одна колія насуву. Будівництво другої колії вважалось доцільним тільки в тому випадку, коли гірка працювала на два різних напрямки. На залізницях інших країн Західної Європи, а також в Американській асоціації залізничних інженерів вважалось доцільним будівництво двох колій насуву на усіх великих сортувальних гірках.

Гірки американського типу отримали широке поширення на залізницях США і Канади. Швидкісний елемент цих гірок проектується на меншому, чим в західноєвропейських державах, уклоні 40-50‰. На цьому ж елементі розташовується перша гальмівна позиція. До неї на уклоні 12-30‰ розташовується вимірювальна дільниця. Крутизна другої гальмової позиції складає 8-9‰. Стрілочна зона та ПГП вкладається на уклоні 1-3‰, а підгіркові колії на уклоні 0,8-1,5‰ [77].

Виникнення цих двох напрямків супроводжувались різними задачами, що ставилися при механізації сортувальних гірок. У Німеччині в основному домагалися збільшення продуктивності шляхом підвищення швидкості розпуску составів, чого, на думку німецьких фахівців, можна досягти, розташувавши уповільнювачі на одній гальмовій позиції перед пучками

сортувальних колій. Однак для цільового гальмування вагонів гіркові уповільнювачі при цьому використовуються тільки на 60—70 % і в якості додаткових гальмівних засобів необхідно було застосовувати на сортувальних коліях ручні гальмові башмаки. Основна мета механізації сортувальних гірок у США - здешевлення переробки вагонів за рахунок ліквідації регулювальників швидкості при механізації всього процесу гальмування. Колії насуву на гіркових станціях за кордоном прагнули робити як можна коротше. Для розчеплення відчепів, а також щоб уникнути вільного руху вагонів через гірку у випадках раптового припинення розпуску на частині колії насуву, яка розташована перед горбом гірки, збільшували підйом до 20‰ – у країнах Західної Європи і до 30‰ - у США [88].

Таким чином, ступінчатий характер поздовжнього профілю є характерною рисою гірок американського типу.

Профіль сортувальних гірок держав СНД характеризувався поступовим переходом від крутого швидкісного уклону к пологому на стрілочній зоні і коліях підгіркового парку [44, 45, 72, 78, 96, 98, 99, 102].

Швидкісний уклон ($i_{ск}$) проектується можливо більш крутим (до 50 ‰) для забезпечення швидкого відриву відчепів й отримання необхідних інтервалів на вершині гірки. Максимальне значення $i_{ск}$ обмежувалось допустимою різницею уклонів насувної і спускної частини гірки 55 ‰.

На більшості сортувальних гірок перший елемент швидкісної ділянки запроектовано на уклонах від 30 до 40‰. Більш круті швидкісні уклони мають гірки, які побудовані в 70-90-х роках.

I гальмова позиція (ГП) гірок підвищеної, великої і середньої потужності розташовується на уклонах не менш 12‰, а на гірках малої потужності – не менш 7‰.

II ГП проектується на уклонах не менш 7 ‰, а в холодних температурних зонах для забезпечення рушення з місця поганих бігунів у несприятливих умовах - не менш 10‰.

Стрілочна зона розташовується на уклоні від 1 до 2,5‰, в залежності від кількості колій у сортувальному парку, для компенсації опору від стрілок та кривих ділянок колій.

Підгіркові колії проектуються на уклоні 0,6‰.

Досвід експлуатації вітчизняних сортувальних гірок підтверджує ефективність застосування циклоїдальної форми поздовжнього профілю з точки зору забезпечення високої переробної спроможності при раціональному режимі регулювання швидкості скочування відчепів.

Поряд з гірковими сортувальними станціями в деяких країнах (ФРН, Англія, Індія та ін.) проектувались станції, які частково, або цілком розташовувались на суцільному ухилі. Ці станції проектувались так, щоб забезпечити виконання всіх сортувальних операцій шляхом вільного скочування вагонів під впливом сили ваги (без допомоги локомотивів), починаючи від розформування составу, що прибув у парк прибуття, і закінчуючи формуванням составів в парку відправлення. Це досягалося, з одного боку, розташуванням усіх парків станції на ухилах тієї чи іншої величини, і з іншого боку - відповідним розміщенням гальмівних засобів, за допомогою яких регулюється як швидкість скочування вагонів, так і інтервали між відчепами [77].

Парк прийому розташовувався на такому ухилі, щоб весь состав міг рухатися далі без локомотива. Для утримання состава на місці в цьому парку потрібно мати колійні гальмівні засоби, або відповідну кількість працівників, які могли б регулювати подальший рух состава ручними вагонними гальмами.

Сортувальний пристрій проектували у виді звичайної гірки, обладнаної вагонними уповільнювачами, або у виді гірки малої потужності без колійних гальмівних засобів, на яких швидкість скочування регулюється ручними вагонними гальмами.

Характерними для закордонних країн є застосування схеми і профілю станції на ухилі, які були прийняті на залізницях ФРН. Поздовжній профіль

колій цієї станції (рис. 1.3) складається з численних елементів з ухилами різної величини; профіль від парку прийому в напрямку до парку відправлення безупинно знижувався.

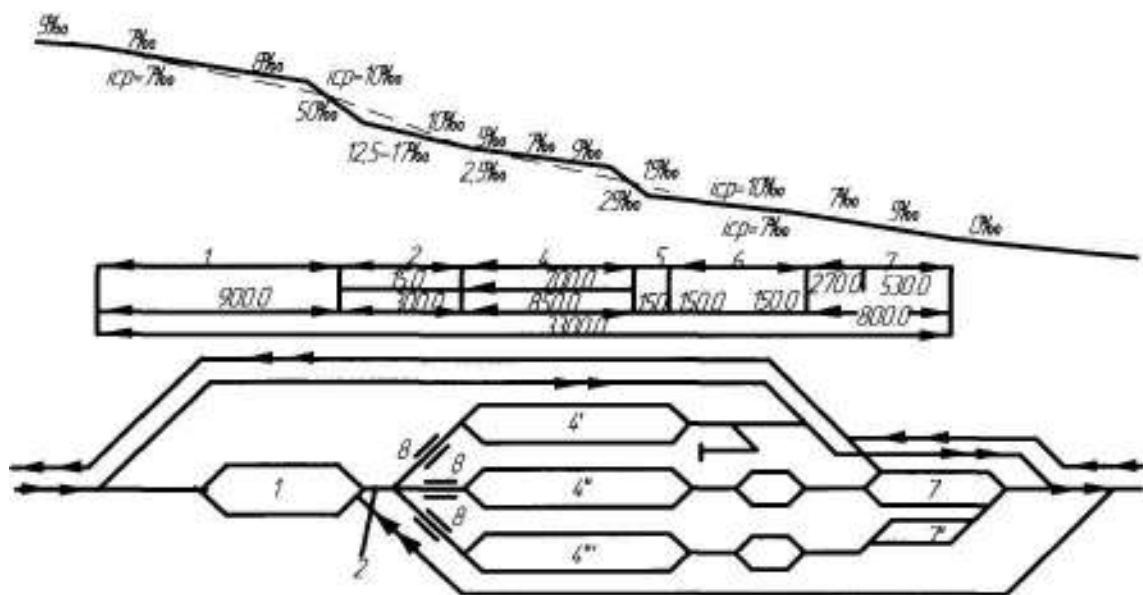


Рис. 1.3. Розташування пристроїв у профілі на одnobічній сортувальній станції на уклоні

Профіль парку прийому мав параболічну форму — на початку парку уклон дорівнював 5‰ , потім переходить у 7‰ і 8‰ і наприкінці складає 14‰ . У середньому уклон парку прийому дорівнював 7‰ . Безпосередньо до елемента профілю з 14‰ уклоном примикає швидкісний 50‰ уклон сортувального пристрою [77].

По даному варіанту була спроектована сортувальна станція Вршовіце, яка розташовувалася на суцільному ухилі. Насув составів на гірку відбувався зі швидкістю 3 км/г . Розпуск состава від моменту його насуву продовжувався $15\text{--}20\text{ хв}$. Станції на суцільному уклоні в нашій країні поширення не набули [77].

Недоліками даних станцій було: складність організації руху великовагових поїздів, великі витрати на обладнання станції вагонними уповільнювачами, заробітна платня регулювальників швидкості (у порівнянні з гірковими станціями). В процесі експлуатації французькі залізниці

перебудували свої станції на ухилі в гіркові, однак німецькі фахівці вважали, що питання ефективності застосування станцій на ухилі підлягає подальшому вивченню.

Розглянемо рекомендовані типи конструкцій поздовжнього профілю насувної частини сортувальних гірок на Україні.

Існує два варіанти проектування насувної частини гірки.

У першому варіанті передбачається розміщення перед горбом гірки підйому крутістю 8-10‰ протягом 50 м (рис. 1.4). Дільниця від кінця передгіркової горловини до протиуклона проектується на підйомі убік гірки крутістю 1-2‰.

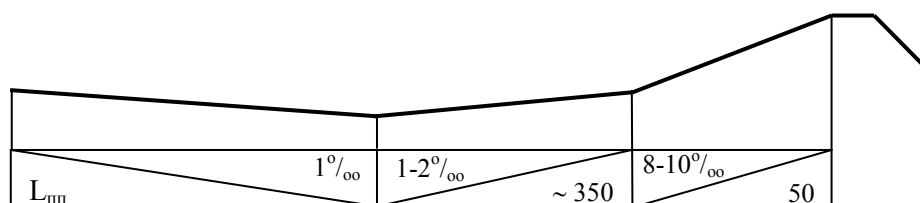


Рис. 1.4. Перший варіант поздовжнього профілю насувної частини

В другому варіанті підйом перед горбом гірки проектується крутістю 12-16‰ на довжині 100-150 м (рис. 1.5). Попередня дільниця колії насуву, довжина якої повинна складати близько 350 м, розміщується на горизонтальній площадці чи на підйомі убік гірки крутістю не більш 1‰ . Різниця уклонів суміжних елементів профілю не повинна перевищувати 25‰ .

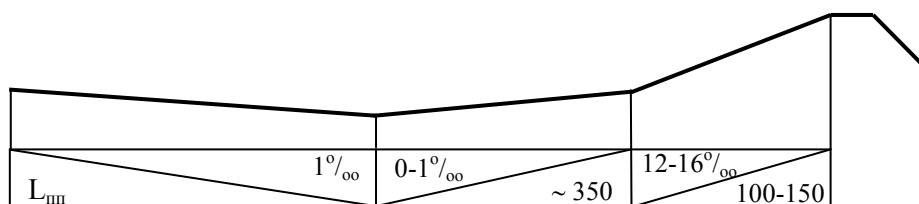


Рис. 1.5. Другий варіант поздовжнього профілю насувної частини

Проектуючи профіль насувної частини гірки по другому варіанту, необхідно забезпечити рушення з місця й інтенсивний розгін повновагомого

состава гірковим локомотивом при перебуванні першого вагона на вершині гірки [93].

Припустима (за умовою рушення з місця) середня крутість підйому насувної частини визначається для найбільшої ваги поїзда при найменшій його довжині і розраховується за формулою [93]:

$$i_{cp} = \frac{F_{km} - Q_c \cdot (w_{он} + w_{mp}) + P \cdot (w_l + w_{mp})}{Q + P} - \frac{h_{ок}}{L_n} \cdot 10^3, \quad (1.1)$$

де F_{km} - сила тяги локомотива при рушенні состава з місця, Н/кН;

Q_c - вага состава, т;

$w_{он}$ - розрахунковий основний питомий опір руху вагонів состава, Н/кН;

w_{mp} - додатковий опір руху при рушенні состава з місця, Н/кН;

P - розрахункова вага локомотива, Н/кН;

w_l - питомий опір руху локомотива;

$\frac{h_{ок}}{L_n}$ - додатковий опір від стрілок і кривих на протязі довжини состава з

локомотивом, Н/кН.

Значення F_{km} , P і w_l залежать від типу гіркового локомотива і визначаються тяговими розрахунками.

Поздовжній профіль гірки проектується з окремих елементів, довжина і крутість яких визначається виходячи із умов забезпечення безпечної роботи гірки і найкращого використання її можливої продуктивності.

Поздовжній профіль насувної частини гірки варто проектувати в залежності від призначення і потужності гірки, рівня розрахункової швидкості розпуску і потужності паркової гальмової позиції, ваги і структури составів, що переробляються [93].

У роботах А.П. Шипуліна проектування насувної частини сортувальних пристроїв виконувалося для застосування автоматичного завдання швидкості розпуску (АЗСР) з використанням ЕОМ. Але ці роботи не відображали впливу уклону й довжини елементів профілю на умови руху составу й не можуть бути використані для комплексного вибору оптимального поздовжнього профілю сортувальної станції [135].

В роботах М.П. Топчієва пропонується визначати уклон насувної частини гірки на основі зменшення витрат палива маневровими тепловозами ЧМЭЗ. На основі отриманих результатів було визначено, що ресурсозбереження забезпечується при застосування наступних нормативів до поздовжнього профілю насувної частини: уклон першого елемента насувної частини – 2‰ ; протиуклон перед вершиною гірки (другий елемент) $10\text{-}11\text{‰}$ (рис. 1.6) [28].

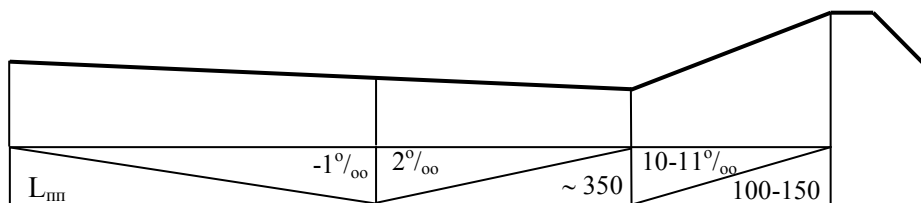


Рис. 1.6. Профіль насувної частини гірки, що запропонований Топчієвим М.П.

При визначенні оптимальних елементів профілю насувної частини гірки виходять з умов найменших обсягів земляних робіт при виконанні відомих обмежень: загальне перевищення насувної частини при цьому не повинне бути більш розрахункового, обумовленого умовою зрушення состава з місця: $\sum il \leq i_{cp} L_{II}; i_{cp}$ не повинний бути менш $-2,0\text{‰}$. У протилежному випадку для забезпечення зрушення состава з місця необхідне застосування більш потужного гіркового локомотива для насування составів на гірку [93].

У ряді випадків, наприклад, при спорудженні гірки переважно для сортування порожніх вагонів (на станціях підготовки вагонів до перевезень та

ін.), може виявитися доцільним пристрій насувної частини гірки по проміжному варіанті.

Поздовжній профіль насувної й спускної частини гірки повинен забезпечувати:

- для полегшення роботи гіркового складача достатній стиск состава перед горбом гірки;
- при гальмуванні запобігти можливості мимовільного відчеплення 4-х вісного вагона від состава;
- виключити мимовільне розчіплювання вагонів на вершині гірці;
- можливість ефективного використання змінної швидкості розпуску.

Перший варіант із невисоким і пологим підйомом, відрізняється полегшеними умовами зрушення з місця повновагового состава, що складається з великовантажних вагонів, невисоким темпом роботи за умови розчеплення вагонів і застосування режиму диференційованої (змінної) швидкості розпуску, у зв'язку з чим потрібна підвищена потужність ПГП. Однак, такі гірки забезпечують більш дальній пробіг довгих відчепів у глибину парка.

Другий варіант із високим і крутим підйомом відрізняється ускладненими умовами рушення составів, підвищеним темпом роботи за умови розчеплення вагонів і застосуванням диференційованої (змінної) швидкості розпуску. У цьому випадку за інших рівних умов можна обійтися трохи меншою потужністю ПГП. Дальність можливої довжини пробігу довгих відчепів у глибину підгіркового парку зменшується зі збільшенням довжини відчепа [93].

Проектування насувної частини гірки з використанням першого варіанта пропонується тоді, коли на гірці передбачається розформування великовагових поїздів зі швидкістю, близької до постійної. Другий варіант доцільно застосовувати для проектування насувної частини гірки, коли на ній не передбачається масове розформування составів підвищеної ваги, є необхідність

у якості основного технологічного режиму роботи використовувати диференційовану (змінну) швидкість розпуску (що особливо важливо для немеханізованих гіркових пристроїв) [93].

Насув составів на гірку відбувається з парку прийому, отже, сполучення конструктивних параметрів парку прийому та сортувальної гірки повинні забезпечувати полегшені умови розформування. Аналіз поздовжнього профілю парків існуючих і знову споруджуваних станцій показав, що уклон парку прийому і колій насуву проектується на підйомі й спуску у бік гірки й становить $0-2,5\text{‰}$ [50].

Уклони парку прийому повинні обиратися виходячи з мінімуму обсягу земляних робіт, а також залежно від умов рушання состава з місця під дією вітру й інших зовнішніх сил без участі локомотива, по величині основного питомого опору вагонів. З метою забезпечення стійкого стану рівноваги рухомого складу рекомендується трьохелементний профіль увігнутого типу.

Предгіркову горловину парку прийому рекомендовано розташовувати на спуску 1‰ у бік гірки, або на площадці. У важких умовах, при обґрунтуванні, спуск може бути до $2,5\text{‰}$, а в залежності від місцевих умов – навіть підйом до 2‰ .

За допомогою математичного моделювання процесу розформування та застосування ЕОМ можна розглянути велику кількість варіантів поздовжнього профілю парків сортувальної станції різних сполучень, типи маневрових локомотивів, можливість визначити час окремих маневрових напіврейсів з урахуванням роботи локомотива в робочому і холостому режимі шляхом чисельного рішення диференціального рівняння руху й визначати оптимальний профіль сортувальної станції на основі мінімальних експлуатаційно-будівельних витрат по маневровій роботі локомотивів у сполученні із сортувальними пристроями [65].

Вибір оптимального поздовжнього профілю необхідно проводити по мінімуму наведених витрат на одну маневрову операцію. При цьому враховуються наступні види витрат:

- вартість вагоно-години;
- на утримання локомотивних і складацьких бригад;
- на утримання і ремонт локомотивів;
- на паливо і електроенергію.

Конструктивні параметри підсистеми „парк прийому - гірка” не можливо розглядати без аналізу маневрових засобів, які використовуються при розформуванні составів на сортувальних гірках.

На сортувальних станціях, які розташовані на суцільному уклоні вся робота з розформування і формування поїздів виконувалась без маневрових локомотивів. Парк прийому розташований на 8—9‰-вому ухилі. Далі двоколійні сортувальні гірки мали загальний ухил у бік сортувального парку 10,1‰. Однак, у межах своїх кордонів гірка має особливе профілювання (протиуклон у 4,2‰, невеликий горбик і швидкісний ухил у 29‰) [77].

Состави, які прибувають у парк прийому утримуються від скочування утримуючим уповільнювачем. При розгальмовуванні цього уповільнювача состав, що знаходиться на уклоні починає рух. При цьому вагони, що розташовані на елементі колії з великим ухилом, захоплюють за собою ту частину состава, що знаходиться на більш пологішій ділянці, на початку колії. У парках прибуття з невеликим числом колій утримуючими уповільнювачами регулюється надходження вагонів на сортувальний пристрій. На інших станціях це регулювання здійснюється уповільнювачем, що розпускає, розташованим на невеликій відстані від початку швидкісного ухилу [77].

На сортувальних станціях з параболічною формою гіркового профілю основними пристроями для насуву составів на гірку є гіркові локомотиви.

2.2 Дослідження режимів роботи електровозів при розформуванні составів

На основі аналізу на більшості сортувальних станцій Д залізниці розформування составів виконується електровозами ВЛ8. Даний тип локомотива призначено для виконання поїзної роботи. При використанні його у маневровому процесі виникають питання з оптимізації енергоспоживання та якісного виконання сортувальної роботи. Для ефективного застосування електровоза ВЛ8 в процесі розформування составів необхідно проаналізувати всі можливі режими роботи локомотива при виконанні гіркових операцій.

У теперішній час дослідження по визначенню паливних витрат на виконання маневрових операцій в основному виконані для тепловозної тяги. В роботах М.Є. Гончарова розглядаються основні режими роботи маневрових тепловозів та методики визначення паливних витрат без урахування впливу уклону і довжини елементів профілю парку прийому та насувної частини гірки на витрати локомотивів [36]. Вченими Харківської Державної Академії залізничного транспорту розроблена математична модель визначення витрат палива гірковими тепловозами ЧМЭЗ та надані табличні значення цих витрат в залежності від ваги составів та кількості вагонів для існуючої сортувальної станції [40].

Однією із задач даного дослідження є визначення режимів роботи електровозів (на гірці) під час розформування составів на сортувальних станціях.

Для визначення режимів роботи електровозів на гірці було проведено аналіз характерних, для даного процесу, режимів керування локомотивом. Проведенні дослідження на сортувальних станціях Д залізниці показали, що для процесу розформування характерні два режими насуву составів на гірку (рис. 2.4).

На рис. 2.4а, наведено режим постійного рушення локомотива з вагонами під струмом. На рис. 2.4б, показано, що на початку рушення

обираються такі позиції контролера, що дозволяють частину дистанції їхати на вибігу. Відповідно у табл. 2.7 наведено технічні та експлуатаційні фактори режиму насуву состава.

Дані режими протікають з різними енерговитратами та з різним часом розформування. Табл. 2.8 та рис. 2.5 доводять, що час розпуску по другому варіанту вдвічі менше ніж у першому. Це визначається кількістю вагонів та відчепів у складах, при цьому енерговитрати відрізняються не значно, тому, що у другому варіанті використовувались більші позиції контролеру, а внаслідок чого і більші витрати електроенергії. Позиції контролера при виконанні операції розпуск обираються машиністом в залежності від необхідної швидкості розформування, яка задається черговим по гірці. Отже, якісне виконання операції розпуск залежить від злагоджених дій чергового по гірці, гіркового складача та машиніста гіркового локомотива. Виконання операції насуву в свою чергу повністю залежить від навичок машиністу. З табл. 2.7 та рис. 2.4 видно, що для виконання операції насуву у другому варіанті використовувались більші позиції контролеру, внаслідок чого була реалізована більша швидкість і менший час насуву, однак загальні енерговитрати на розформування состава менші, що суперечить обраним позиціям. Дану різницю можна пояснити тим, що частину дистанції локомотив проїхав на вибігу, а також профілем колій парку прийому.

Аналіз статистичних досліджень не дає бажаного результату для визначення, який варіант є найбільш раціональним, як з точки зору енергозбереження так і часу розформування. Вирішити дану задачу можливо за допомогою математичного моделювання роботи електровоза під час виконання гіркових операцій.

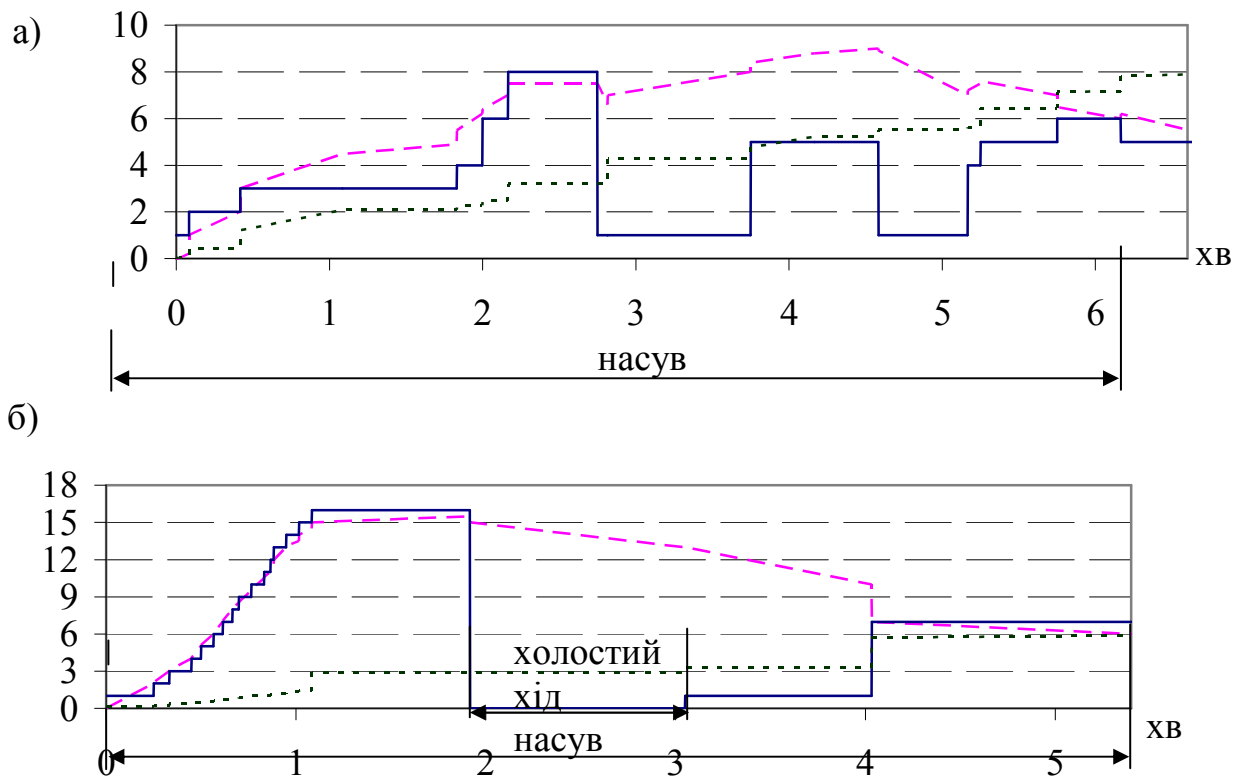


Рис. 2.4. Основні режими насуву составів на гірку

- швидкість локомотиву при насуві та розпуску, км/г;
- позиції контролера машиніста;
- енерговитрати локомотиву при насуві та розпуску, 10^1 кВт·г.

Таблиця 2.7

Технічні та експлуатаційні показники для рисунку 2.4

Варіант	Вага состава, т	Кількість		№ колії парку прийому	Енерговитрати насуву, кВт·год	Час насуву, хв
		вагоні в	відчепі в			
а	3062	46	19	10	79	6,75
б	3084	38	8	18	58	5,5

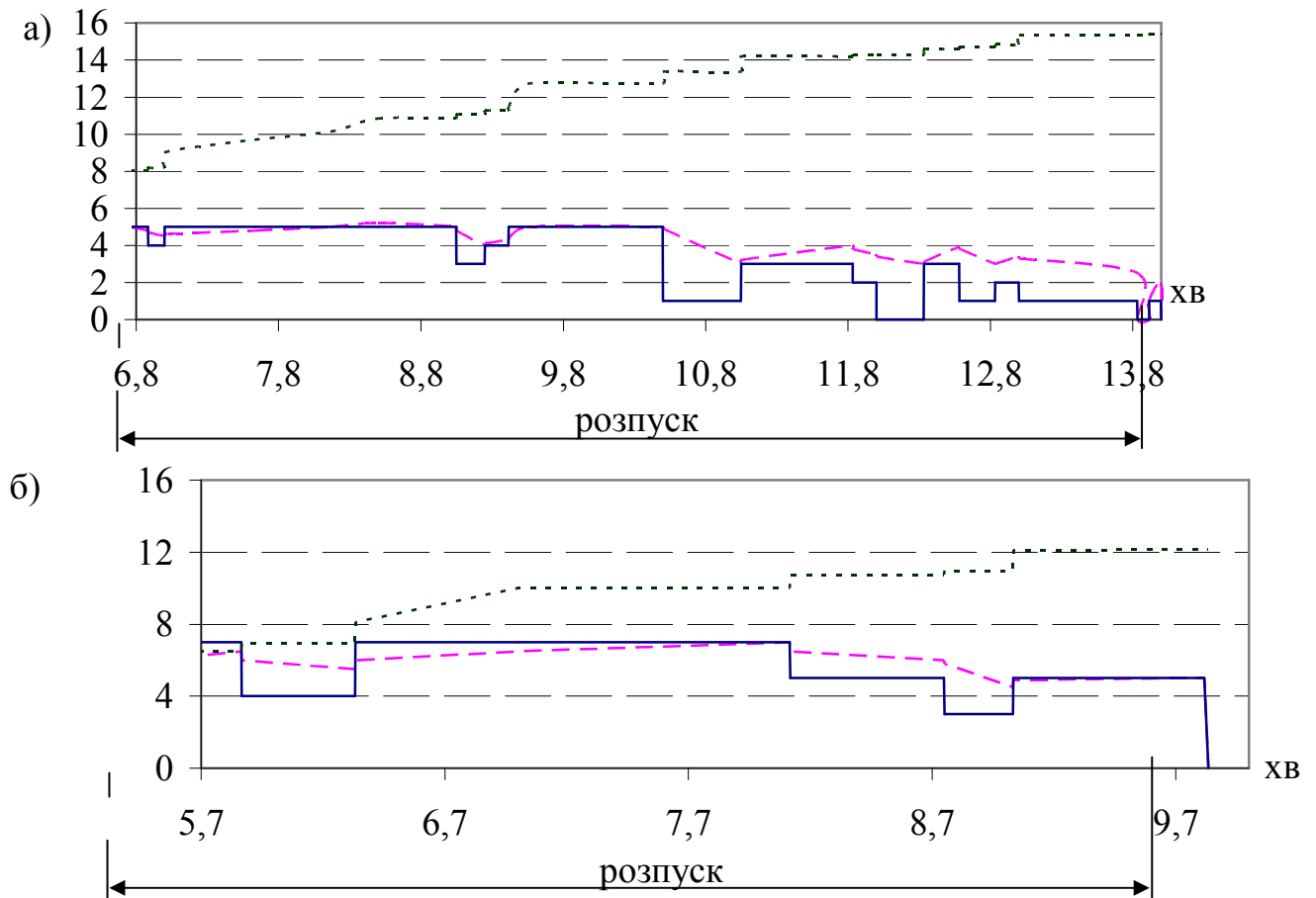


Рис. 2.5. Основні режими розпуску составів на гірці

Таблиця 2.8

Технічні та експлуатаційні показники для рисунку 2.5

Варіант	Вага составу, т	Кількість		№ колії парку прийому	Енерговитрати насуву, кВт·г	Час насуву, хв
		вагонів	відчепів			
а	3062	46	19	10	75	8,25
б	3084	38	8	18	63	4,33

Для виконання математичного моделювання процесу розформування необхідно враховувати наступні особливості даного процесу:

- необхідно дотримуватися плавного режиму насуву, тобто швидкість повинна плавно зростати або зменшуватися без різких змінень;

- при виконанні операції розпуску потрібно по можливості уникати різкого застосування гальм, при таких різких зупинках вагони з силою набігають на локомотив, внаслідок чого можливе пошкодження автозчепів;
- при зупинці на горбу гірки составів великої ваги виникають додаткові енерговитрати при русенні состава з місця та наборі швидкості для подальшого розформування (в наслідок таких зупинок в деяких випадках необхідно осаджувати состав для повторного насуву);
- після отримання звукового сигналу, який свідчить про те, що состав знаходиться на горбу гірки, машиніст повинен приготуватися до операції розпуску, тобто утримувати швидкість, яка необхідна для якісного розпуску состава;

На початку моделювання процесу розформування необхідно визначити типи напівреїсів, які можуть використовуватися при насуві та розпуску. Відомо шість типів напівреїсів, які використовуються під час маневрових пересувань складовими яких є:

- розгін, гальмування (РГ);
- розгін, постійна швидкість, гальмування (РПГ);
- розгін, інерція (РІ);
- розгін, постійна швидкість, інерція (РПІ);
- розгін, інерція, гальмування (РІГ);
- розгін, постійна швидкість, інерція, гальмування (РПІГ).

При визначенні оптимального режиму руху М.Є. Гончаров [34] приходить до висновку, що найбільш універсальним для математичного моделювання процесу руху є шостий тип напівреїсу РПІГ.

На рис. 2.6 зображені основні типи напівреїсів, які використовувалися при моделюванні операцій насуву, розпуску.

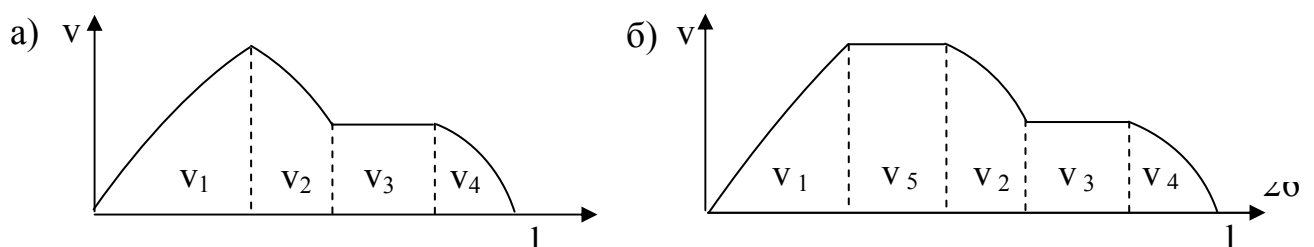


Рис. 2.6 Типи напівреїсів при розформуванні составів

де v_1 – швидкість локомотива при розгоні состава (операція насуву);
 v_2 – швидкість локомотива при руху за інерцією (операція насуву);
 v_3 – швидкість локомотива при розпуску состава;
 v_4 – гальмування состава по закінченню операції розпуску;
 v_5 – рух локомотива на постійній швидкості.

Для скорочення часу розформування, замість руху за інерцією може використовуватися гальмування, що може дозволити більшу частину відстані долати з максимальною швидкістю, але гальмування на вершині гірки може призвести до ускладнення розчеплення автозчепів, тому до моделювання приймаються напівреїси, які зображені на рис. 2.6. Аналіз даних напівреїсів показує, що оптимізувати режими роботи гіркових електровозів можна лише під час розгону та рушення на постійній швидкості, тому що розгін може відбуватися з різним режимом переводу контролера машиніста. Як показують хронометражні дані рух на максимальній швидкості рідко застосовується під час розформування.

Процес розгону і рух на постійній швидкості пропонується моделювати на відстані від початку составу до звукового сигналу в кабіні машиніста, який оповіщає, що перший вагон составу знаходиться на колії насуву, внаслідок чого потрібно зменшити швидкість насуву до швидкості розпуску, яку вказує черговий по гірці, тобто необхідно перейти на холостий хід. Пристрій для подачі звукового сигналу встановлюється на початку зони дії гіркового складача.

Для отримання більш точних результатів розрахунки доцільно проводити для існуючої сортувальної станції та реально розформованих составів. На початку розрахунків моделюється процес насуву та розпуску, який би відповідав реальним умовам розформування составів.

Розрахунок режимів руху пропонується виконувати за двома видами розгону: при повільному режимі – тобто з повільним переводом контролера та при максимальному – тобто з швидким переводом контролера до максимальної позиції, або максимальної швидкості руху. Дані розрахунки необхідно проводити для різних типів задач:

- составів однакової ваги але різної кількості вагонів та відчепів;
- составів різної ваги але однакової кількості вагонів та відчепів;
- профілів парку прийому, що розташований на підйомі або на спуску.

Для кожної задачі необхідно проводити порівняння результатів, тобто знаходження різниці між приведеними витратами (ΔC).

3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОВОЗА НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

3.1 Вимоги до процесу розформування составів електричною тягою

За 2018 рік витрати на паливно-енергетичні ресурси склали 12,72% від загальних експлуатаційних витрат. Переважна частина цих ресурсів (76,62%) припадає на локомотивне господарство, тому пошуки можливостей їхньої економії мають бути зосереджені на роботі локомотивного парку. Згідно статистичних даних 45,1% локомотивів задіяні у маневровому процесі [5]. Маневрова робота є складовою частиною перевізного процесу. Від її організації й методів виконання залежить якість роботи залізничних станцій.

Сортувальний процес є складовою частиною маневрової роботи на станції, яка істотно відрізняється від поїзної. При її виконанні значений час операцій протікає в режимах розгону й уповільнення. Для даного процесу характерні малі швидкості руху, не значна тривалість напіврейсів і різні маси составів, що переміщуються. Вага составів змінюються від 0 (при холостих напіврейсах) до максимально припустимих, обмеженням яких є конструктивні параметри локомотивів і підсистеми „парк прийому - гірка”.

Відповідно нормативних інструкцій розформування составів електровозною тягою відбувається з використанням послідовного з'єднання двигунів (з 1 по 16 позицію контролера). Гальмування состава при насуві та розпуску здійснюється прямодіючим гальмом локомотивних вісей.

На сортувальних гірках розформування відбувається при змінних значеннях: маси состава, стану вагонів, опору й величини уклонів насувної частини гірки. При виконанні операції насуву потрібно за короткий проміжок часу розвинути певну силу тяги для того, щоб не відбулася зупинка состава на вершині гірки. Сьогоднішні ринкові умови вимагають не тільки скорочення тривалості гіркових операцій, а також скорочення витрати паливно-

енергетичних ресурсів маневрових локомотивів, що є важливим завданням при розробці математичної моделі процесу розформування составів на сортувальних станціях.

При розробці математичної моделі процесу розформування електричною тягою враховані: тягові характеристики електровоза, режими насуву і розпуску составів, час на переведення позиції контролера, а також основні фактори, що впливають на енерговитрати гіркових локомотивів.

В інструкціях по експлуатації електровозів на гірці вказується, що розформування составів виконується при послідовному з'єднуванні електродвигунів "С", але відповідно тягових характеристик електродвигунів постійного струму перехід на з'єднування "СП" може відбуватися при швидкості 8 км/г [84]. Застосування з'єднування "СП" може дозволити зменшити питомі витрати електроенергії, але може бути рекомендовано лише на станціях, де дозволяє відстань (від предгіркової горловини парку прийому до вершини гірки) та поздовжній профіль підсистеми "парк прийому – гірка".

Відповідно експлуатації електровозів постійного струму реостатні позиції використовуються короткочасно лише під час пуску та розгону локомотива. Рух на пускових позиціях обмежено часом, затримка на кожній з позиції більше 30 с не дозволяється, але хронометражні спостереження вказують на те, що під час розформування состава одна позиція контролера використовується без переключення на іншу до 5 хв. Відповідно статистичних даних ушкоджень технічного стану локомотивів внаслідок таких режимів не виявлено. Проведений аналіз роботи гіркових електровозів з точки зору їх технічного стану (внаслідок специфіки маневрового процесу на гірці) показав, що до основних ушкоджень локомотивів можна віднести ушкодження автозчепів у випадках невірної використання автогальм під час насуву та розпуску составів. Тому при моделюванні процесу насуву та розпуску застосування різкого гальмування по можливості потрібно уникати.

При визначенні режимів розформування составів можливі наступні основні обмеження: максимальна швидкість насуву і розпуску (рис. 3.1), максимальна вага состава, сила тяги при рушанні з місця, гальмова сила, режим руху за станом вагонів і вантажів, терміновість доставки вантажів.

При виконанні операції насув швидкість руху локомотива залежить від факторів:

$$v_{нас}(P_{\kappa}^n, Q, l_{нас}, i_{ук}), \quad 0 < v_{нас} < v_{нас}^{\max}, \quad (3.1)$$

де P_{κ}^n - позиції контролера при послідовному з'єднанні двигунів;

Q - маса состава, яка підлягає розформуванню, т;

$l_{нас}$ - довжини напіврейса при виконанні операції насуву, м;

$i_{ук}$ - опору від уклону парку прийому та насувної частини гірки, ‰;

$v_{нас}^{\max}$ - максимальна швидкість маневрового електровоза при виконанні операції насуву, яка обумовлена правилами технічної експлуатації залізниць (ПТЕ), технічними характеристиками локомотива ($T_{л}$), або технічним станом колій парку прийому ($T_{пп}$), км/г.

В свою чергу при виконанні операції розпуску швидкість буде залежати від наступних факторів:

$$v_p(P_{\kappa}^n, Q, n_{ваг}, n_{від}, i_{ук}), \quad v_p < v_p^{\max}, \quad (3.2)$$

де $n_{від}$ - кількості відчепів в составі;

$n_{ваг}$ - кількості вагонів в составі;

v_p^{\max} - максимальна швидкість розпуску відчепів великої довжини, км/г.

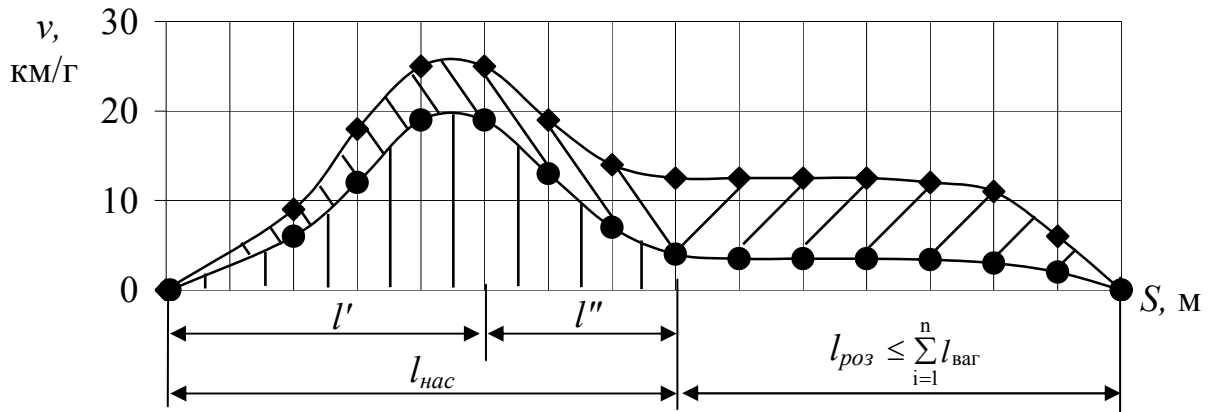


Рис. 3.1. Визначення обмежень швидкостей насуву та розпуску составів на гірці:

◆—◆ - максимальна швидкість насуву, яка встановлена ПТЕ, та розпуску, що в свою чергу залежить від автоматизації гіркових процесів та довжини відчепів;

●—● - максимальна швидкість насуву відповідно тяговим характеристикам локомотива ВЛ8 (при послідовному з'єднанні двигунів) та мінімальна швидкість розпуску для немеханізованих гірок;



- діапазон швидкостей при виконанні операції насуву;

- діапазон швидкостей при виконанні операції розпуску;

- можливий діапазон збільшення швидкості насуву составів на гірку за рахунок використання в режимі тяги послідовно-паралельного з'єднання двигунів;

l' - відстань яку проїжджає локомотив від моменту рушення до моменту включення звукового сигналу в кабіні, який оповіщає, що перший вагон составу знаходиться на початку зони дії гіркового складача, внаслідок цього машиніст повинен зменшити швидкість локомотиву до швидкості розпуску, яку вказує черговий по гірці, м;

l'' - зона дії гіркового складача, м;

$l_{роз}$ - відстань, яку долає локомотив при виконанні операції розпуску.

Розформування составів на гірці маневровим електровозом супроводжується споживанням електроенергії, яка витрачається на тягу та

власні нужди локомотива. Електроенергія на тягу витрачається на виконання операцій заїзд, насув, розпуск та в незначній кількості при знятті закріплення. В свою чергу електроенергія на власні нужди локомотива витрачається на двигун вентилятора і незначна частина на генератор управління двигуна компресора [136]. Загальні енерговитрати електровоза при розформуванні состава можна надати у вигляді

$$A_{розф} = A_T + A_{сн}, \quad (3.3)$$

де A_T - енерговитрати локомотива, які витрачаються в режимі тяги при виконанні технологічних гіркових операцій, кВт·г;

$A_{сн}$ - енерговитрати, які витрачаються на власні нужди локомотива, визначаються відповідно технічних характеристик електровоза, кВт·г [136].

$$\sum A_{Ti} = \frac{U_{\phi i} \cdot I_i \cdot \Delta t_i}{3600 \cdot 1000}, \quad (3.4)$$

де Δt_i - час роботи локомотива на кожній позиції контролера, сек.;

$U_{\phi i}$ – фактична напруга на струмоприймачі в цьому інтервалі часу Δt_i ;

I_i – струм на двигунах електровоза в кожний проміжок часу Δt_i , який залежить від позиції контролера та швидкості руху локомотива.

Для електровоза величина $A_{сн}$ можна надати у вигляді

$$A_{сн} = \frac{n_c \cdot (P_v + P_g) \cdot T_{розф}}{60}, \quad (3.5)$$

де P_v – потужність вентилятора, кВт;

P_g – потужність генератора управління, кВт;

n_c – кількість секцій в електровозі.

Загальний час на розформування состава електровозом можна розрахувати за наступною формулою

$$T_{розф} = t_{op} + t_{zm} + t_{z1} + t_{zm} + t_{op} + t_{z2} + t_{z3} + t_{op} + t_n + t_p + t_{mn}, \quad (3.6)$$

де t_{op} – час на отримання розпорядження, 0.3 хв;

t_{zm} – час на зміну кабіни управління, відповідно нормативних даних для поїзної роботи дорівнює 1.5 хв., за хронометражними спостереженнями 3-5 хв;

t_{z1} – час на заїзд від вершини гірки за стрілку, яка розташована у вхідній горловині парку прийому, для подальшої зміни напрямку руху, хв;

t_{z2} – час на заїзд від стрілки під состав, хв;

t_{z3} – час на зняття закріплення, залежить від кількості укладених башмаків, хв;

t_n – час насуву составу на гірку, хв;

t_p – час розпуску составу, хв;

t_{mn} – міжопераційні простои в очікуванні виконання основних технологічних гіркових операцій, хв.

Найбільш енергоємними операціями в процесі розформування є насув та розпуск, тому що рух локомотива відбувається у навантаженому стані. Дані технологічні операції є найбільш складними для математичного моделювання, тому що залежать від багатьох факторів [65].

При розробці математичної моделі облік занадто великого числа параметрів значно ускладнюється її побудову, а математичні вирази стають надзвичайно громіздкими, що в свою чергу веде до необхідності детального аналізу й визначення ступеня впливу кожного з параметрів на кінцевий результат.

Для кожного з параметрів встановлюються обмеження, в межах яких доцільно враховувати даний параметр. У тих випадках, коли неврахування даного параметра не приводить до значної помилки, яка не перевищує

величину припустимого відхилення, параметр варто не враховувати. Але треба мати на увазі величину накопиченої помилки, тобто не тільки відмова від кожного параметра не повинна приводити до помилки в межах припустимих величин, але й загальна комплексна помилка повинна бути в межах допуску.

3.2 Формалізація математичної моделі роботи гіркового електровоза

Однією із задач цієї роботи є створення математичної моделі, що відтворює особливості процесу розформування составів електричною тягою за критерієм енергозбереження [10, 16, 63].

Енерговитрати маневрового електровоза залежать від множини технологічних, конструктивних і інших факторів маневрової роботи, які були сформовані у розділі 2. Оптимальність процесу розформування составів електричною тягою визначається за критерієм мінімізації енерговитрат гіркового електровоза.

Складовими цільової функції енерговитрат гіркового електровоза при розформуванні состава є:

$$A_{розф} = A_3 + A_{зз} + A_n + A_p + A_{mn}, \quad (3.7)$$

де A_3 - енерговитрати локомотива на операцію заїзд, кВт·г;

$A_{зз}$ - енерговитрати на операцію зняття закріплення, кВт·г;

A_n - енерговитрати на операцію насуву, кВт·г;

A_p - енерговитрати на операцію розпуску, кВт·г;

A_{mn} - енерговитрати на між операційні простої, кВт·г.

Враховуючи, що цільова функція має адитивний характер, мінімум енерговитрат досягається за рахунок мінімізації її складових:

$$A_3 = A_{31}(P_K^n; H_{нч}; H_{н2}; H_{нн}; H_в; v_3; w_{CK}) + A_{32}(P_K^n; \Delta H_{нн}; H_в; v_3; w_{CK}) \rightarrow \min, \quad (3.8)$$

$$A_{33}(i_{нн}; \sum m_i; P_K^n; w_0) \rightarrow \min, \quad (3.9)$$

$$A_H(\sum m_i; n_{ваг}; P_K^n; H_{нч}; H_{н2}; H_{нн}; v_{нас}; w_{CK}; w_0) \rightarrow \min, \quad (3.10)$$

$$A_P(\sum m_i; n_{ваг}; n_{від}; P_K^n; H_г; H_{нч}; H_{н2}; H_{нн}; v_p; w_{CK}; w_0) \rightarrow \min, \quad (3.11)$$

$$A_{mn} = \sum A_{внi} = \frac{U_{\phi i} \cdot I_i \cdot t_{mn i}}{3600 \cdot 1000} \rightarrow \min, \quad (3.12)$$

де t_{mn} – міжопераційні простой гiркового електровоза в очiкуваннi розформування, хв.

Мiнiмiзацiя енерговитрат на мiж операцiйнi простой досягається насамперед за рахунок квалiфiкованих дiй маневрового диспетчера та оперативних працiвникiв станцiї, що з ним пов'язанi.

Для забезпечення енергозберiгаючих режимiв розформування составiв розроблено математичну модель з цiльовою функцiєю енерговитрат i системою обмежень, що вiдбиває умови технологiчного процесу:

$$A_{розф}(\sum m_i; n_{ваг}; n_{від}; H_г; H_{нч}; H_{н2}; H_{нн}; H_в; v_3; v_{нас}; v_p; P_K^n; w_{CK}; U_{\phi}; I; t_{mn}) \rightarrow \min, \quad (3.13)$$

де $\sum m_i$ – вага вагонiв, т ($Q = \sum m_i$);

$i_{сч}, i_{нч}, i_{н2}, i_{нн}, i_{в2}$ – уклони елементiв профiлю, вiдповiдно спускної частини гiрки, насувної частини гiрки, предгiркової горловини парку прийому, та вхiдної горловини, $\pm \text{‰}$;

q_T – маса тари вагонiв, т;

t_{op} , t_{oz} , $t_{он}$, $t_{зг}$ - час, відповідно на отримання розпорядження, на очікування операції заїзд, на очікування операції насув, на незаплановані зупинки локомотива під час розформування состава, хв.;

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum m_i \leq Q^{\max}, \quad n_{\text{ваг}} \leq \frac{Q^{\max}}{q_T}, \quad n_{\text{від}} \leq n_{\text{ваг}} \\ H_z = \sum_i i_{cч_i} \cdot l_{cч_i} \cdot 10^{-3}; \quad H_{нч} = i_{нч1} \cdot l_{нч1} \cdot 10^{-3} + i_{нч2} \cdot l_{нч2} \cdot 10^{-3}; \quad H_{нз} = \sum_i i_{нз_i} \cdot l_{нз_i} \cdot 10^{-3}; \\ H_{нн} = \sum_i i_{нн_i} \cdot l_{нн_i} \cdot 10^{-3}; \quad H_{вз} = \sum_i i_{вз_i} \cdot l_{вз_i} \cdot 10^{-3}; \\ 0,6 \leq i_{cч} \leq 55, \quad 8 \leq i_{нч1} \leq 16, \quad 0 \leq i_{нч2} \leq 2, \quad -2,5 \leq i_{нз} \leq 2,5 \\ -2,5 \leq i_{нн} \leq 2,5, \quad -2,5 \leq i_{вз} \leq 2,5 \\ v_3(H, T_{л}, T_{пп}) \leq 25, \quad v_{нас}(H, T_{л}, T_{пп}) \leq 25; \quad H = 25, T_{л} = 19, T_{пп} = 15; \\ v_p = v_p^{3M}; \quad v_p = v_p^n; \quad v_p^{3M}(l_{\text{від}}, l_{\text{из}}, b_{\text{від}}) \leq v_p^{\max}; \quad v_p^n \leq 6,12; \\ 0 \leq w_{ск} \leq 5; \\ 0 \leq P_{\kappa}^n(v, U_{\phi}) \leq 16; \quad I(P_{\kappa}^n) \leq 600; \quad 2,4 \leq U_{\phi} \leq 4 \\ t_{mn} = f(t_{op}, t_{oz}, t_{он}, t_{зг}) \end{array} \right.$$

v_p^{3M} , v_p^n - відповідно змінна та постійна швидкість розпуску, км/г.

При створенні універсальної моделі такі фактори як Q , $n_{\text{ваг}}$, $n_{\text{від}}$, w_0 , $w_{ск}$, P_{κ}^n , v_3 , $v_{нас}$, v_p доцільно розглядати, як імовірнісні, а такі конструктивні фактори, як H_z , $H_{нч}$, $H_{нз}$, $H_{нн}$, $H_{вз}$ є випадковим величинами для множини різних станцій. В умовах конкретної станції дані фактори будуть постійними величинами.

Для визначення енерговитрат гіркового електровоза $A_{розф}$ використовується метод динамічного програмування. Цільова функція універсальної моделі повинна мати адитивний характер. За період часу спостереження ($t_n - t_k$) сумарні енерговитрати визначено у вигляді:

$$A_{розф} = \int_{t_n}^{t_k} (a + b \cdot Q(t) + c \cdot n_{ваз}(t) + d \cdot n_{від}(t) + f \cdot H_z + g \cdot H_{нч} + h \cdot H_{нз} + k \cdot H_{нн} + l \cdot H_6 + m \cdot v_3(t) + n \cdot v_{нас}(t) + p \cdot v_p(t) + r \cdot P_k^n(t) + s \cdot w_{ск}(t)) dt + A_{mn} \rightarrow \min,$$

де t_n, t_k - відповідно момент початку та закінчення напіврейсу, хв.

При роботі електровоза по обслуговуванню сортувальної гірки застосовуються наступні режими: під струмом, на вибігу, режим гальмування. Швидкість насуву составів на гірку визначається на основі рішення диференціального рівняння руху [14]

$$v_{n+1} = \sqrt{v_n^2 \mp 2 \cdot \Delta s \cdot \xi \cdot (f_k \pm w_k - b)}, \quad (3.14)$$

де $f_k \pm w_k - b$ - питома сила, яка діє на поїзд, Н/кН;

f_k - питома сила тяги локомотива, Н/кН;

w_k - загальний питомий опір, який діє на состав, Н/кН;

b - питома гальмова сила, Н/кН;

ξ - прискорення составу, $\frac{\text{км/год}^2}{\text{Н/кН}}$;

Δs - крок інтегрування, який може змінюватися від 0,001 до 0,01 км,

$\Delta s = \bar{v} \cdot \Delta t$, \bar{v} - середня швидкість, км/г.

v_n - початкова швидкість рушення локомотива, км/г;

v_{n+1} - кінцева швидкість рушення локомотива, км/г.

Чим менше крок інтегрування, тим точніше розрахунок енерговитрат локомотива. На точність рішення впливають:

- крок інтегрування (чим менше – тим точніше розрахунок);

- спосіб визначення величини рівнодіючих сил, які прискорюють та уповільнюють состав в залежності від швидкості руху.

Прискорення составу визначається за формулою

$$\xi = \frac{g'}{1 + \gamma}, \quad (3.17)$$

де g' – прискорення вільного падіння, м/с²;

$1 + \gamma$ - коефіцієнт інерції частин, які обертаються;

γ – коефіцієнт збільшення ваги з урахуванням частин, які обертаються.

Отже прискорення состава залежить від питомої сили прискорення та коефіцієнта інерції частин, які обертаються $1 + \gamma$.

Величина ξ має різні значення для електровозів, тепловозів, вантажних та пасажирських вагонів. При тягових розрахунках для поїзної роботи ξ приймається 120 км/г², але для маневрової роботи коефіцієнт γ потрібно визначати як середньозважену величину

$$\gamma = \frac{\gamma_n \cdot P_n + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot m_i}{P_n + \sum_{i=1}^n m_i}, \quad (3.18)$$

де n – кількість вагонів у составі.

Питома сила тяги маневрового локомотива при виконанні гіркових технологічних операцій є основним фактором, яка визначає прискорення состава. Визначення її становить деяку складність, тому що тягова характеристика локомотива задана таблицею та змінюється в залежності від швидкості.

Особливо важко визначити її при низьких швидкостей руху, які характерні для маневрової роботи [65]

$$f_k = \frac{F_i - W_i}{(Q + P_n) \cdot g}, \quad (3.19)$$

де F_i – сила тяги локомотива, Н;

W_i – сили опору, які діють на состав та локомотив під струмом, Н;

P_l – вага локомотива, т;

Для визначення сили тяги маневрового електровоза при насуві та розпуску составів на гірці пропонується використовувати характеристики локомотива, які у моделі необхідно кусочно-апроксимувати методом найменших квадратів. Система рівнянь для електровоза ВЛ8 [136] має наступний вигляд

$$F_i = \begin{cases} ndv \cdot g \cdot [121.940 + 2.124 \cdot I_i + 0.032074452 \cdot (I_i)^2] & \text{при } 60 \leq I_i \leq 200 \\ ndv \cdot g \cdot [-878,079 + 13.074 \cdot I_i + 0.0023797 \cdot (I_i)^2] & \text{при } 200 < I_i < 260 \\ ndv \cdot g \cdot [-1139.401 + 14.68495 \cdot I_i] & \text{при } 260 \leq I_i < 320 \\ ndv \cdot g \cdot [1122.714 \cdot e^{(0.0036060 \cdot I_i)}] & \text{при } 320 \leq I_i \leq 600 \end{cases}, (3.20)$$

де ndv – кількість двигунів на локомотиві;

I_i – струмові значення для перших шістнадцяти позицій контролера.

На прикладі використання характеристик електровоза ВЛ8 [136] з метою визначення емпіричної залежності струму на його двигунах можливо проаналізувати характер зміни існуючих кривих залежності струму на різних позиціях контролера машиніста від швидкості руху.

Сила тяги маневрового електровоза та струмові характеристики визначені для номінальної потужності 3 кВ. Відповідно правил технічної експлуатації залізниць України рівень напруги на струмоприймачі електрорухомого складу змінюється від 2,7 до 4,0 кВ при постійному струмі [4].

Якщо задані електромеханічні та тягові характеристики розраховані для однієї потужності, то у випадках зміни напруги контактної мережі необхідно

виконати перерахунок. При зміні напруги з U_1 до U_2 швидкість електровоза можна визначити [13]:

$$v_2 = \frac{U_2 - I_D \cdot r}{U_1 - I_D \cdot r} \cdot v_1, \quad (3.21)$$

де v_1, v_2 – відповідно швидкість при номінальній напрузі та при змінній напрузі, км/Г;

U_1, U_2 – номінальна напруга та змінена, кВ.

I_D – струм на тяговому двигуні, А;

r – опір обмоток електродвигуна, Ом.

Враховуючи, що падіння напруги в тяговому двигуні складає незначну величину у порівнянні з підведеною напругою (3-5%), то можна припустити, що швидкість руху при незмінному навантаженні прямопропорційна підведеній напрузі [83]

$$\frac{v_1}{v_2} \approx \frac{U_1}{U_2}, \quad (3.22)$$

або

$$v_2 \approx \frac{U_2}{U_1} \cdot v_1, \quad (3.23)$$

Сила тяги при незмінному струмі практично не залежить від напруги, а швидкість змінюється майже пропорційно йому, то при одній і тій же силі тяги швидкість визначають по за формулою 3.20.

На холостому ході питома сила прискорення або гальмування локомотива [83] визначається виразом

$$f_k = \frac{Wx_i + W_i''}{(Q + P_n) \cdot g}, \quad (3.24)$$

де Wx_i - основний опір руху локомотива на холостому ході, Н;

W_i'' - основний опір состава, Н.

Якщо при насуві або розпуску состава необхідно зупинитися (загальмувати), питома гальмова зусилля визначається за формулою [83]

$$f_k = \frac{Wx_i + W_i''}{(Q + P_n) \cdot g} + 0.5 \cdot b, \quad (3.25)$$

де b - питома гальмова сила, Н/кН..

Гальмову силу локомотива та розрахунковий коефіцієнт тертя колодок по бандажу колеса визначають відповідно ПТР [101]. Додатково потрібно враховувати, що гальма в составі не включені [13, 14]

$$b = 1000 \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \frac{\sum K_n}{P_n + Q}, \quad (3.26)$$

де $\sum K_n$ - загальний натиск колодок локомотива;

φ_{κ} - коефіцієнт тертя колодки по бандажу.

У попередніх роботах найбільша увага науковців була звернута на визначення основного опору руху составу W , який є одним із головних параметрів при нормуванні маневрової роботи.

Основний питомий опір локомотиву при русі під струмом та на холостому ході визначаються відповідно ПТР [101].

У запропонованій методиці основний питомий опір состава визначається як середньозважена величина від ваги вагонів у составі

$$w'' = \frac{\sum_{i=1}^n w_i'' \cdot m_i}{Q}, \quad (3.27)$$

де w_i'' - основний питомий опір, який діє на вагон, Н/кН.

Попередні дослідження [11] свідчать про те, що основний питомий опір, який діє на состав від рушення з місця і приблизно до величини швидкості 20 км/г зменшується від максимального до мінімального, після чого поступово починає збільшуватися.

Разом з тим, основний час розформування составів на гірці відбувається при швидкостях менше 10-15 км/г. При розрахунку швидкості руху на маневрах використання формул з ПТР [101] може привести до значних помилок, тому що ці формули передбачають при збільшенні швидкості руху збільшення основного питомого опору. У даній моделі пропонується визначати основний питомий опір руху вагонів відповідно правил та норм проектування сортувальних пристроїв [99].

Для визначення швидкості насуву состава на гірку приймають режим роботи локомотива при розгоні або на холостому ході, при цьому швидкість состава на горбу гірки повинна дорівнювати швидкості розпуску состава. Основна особливість маневрів при змінному характері руху на гірці полягає у безперервній зміні плану та профілю колії насуву і числа стрілочних переводів. Для вирішення рівняння руху состава, необхідно враховувати додаткові питомі опори від: рушення состава з місця $w_{тр}$, ухилу w_i , кривих w_r , стрілочних переводів w_c , від вітру $w_в$, від температури та навколишнього середовища.

Питомий опір при рушенні состава з місця досягає найбільших значень у початковий момент, але при одному або двох обертах колеса різко падає. Питанням щодо визначення питомого опору при руханні состава з місця займались Астахов П.Н., Бабічков А.М., Єгорченко А.Ф. [11, 13].

У даній методиці основний питомий опір при рушанні состава з місця визначається відповідно ПТР [101].

Додатковий питомий опір від ухилу для усіх видів рухомого складу рекомендовано приймати рівним числу проміле підйому або спуску [97]

$$w_i = i, \quad (3.28)$$

де i – ухил елементів профілю, ‰.

Дана формула не може бути використана у розрахунках для маневрової роботи тому що, при виконанні операцій насуву та розпуску состав може знаходитися одночасно на одному чи декількох елементах поздовжнього профілю. Дослідження показали, що при використанні цієї формули помилка у розрахунках може досягати 20%. При розрахунку питомого опору від ухилу необхідно враховувати, що в составі можуть знаходитися вагони різної ваги, а внаслідок цього необхідно враховувати опір від ухилу, як середньозважену величину в залежності від ваги вагонів

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot m_i}{Q}, \quad (3.29)$$

Додатковий опір від стрілок та кривих [50]

$$w_{kc} = (0,56 \cdot n + 0,23 \sum a) \cdot v^2, \quad (3.30)$$

де $\sum a$ - сума кутів повороту, град;

n – кількість стрілочних переводів, які знаходяться під составом у кожний проміжок часу Δt .

По закінченні насуву состава на гірку виконується розчеплення відчепів та їх відрив від составу, який насувається. В залежності від довжини відчепів

визначається швидкість розпуску v_p та місце відриву вагонів на вершині гірки [50].

$$v_p = \left[\frac{0.5 \cdot (l_n + l_{n-1})}{\frac{l_{uz} + 0.5 \cdot (b_n + b_{n-1})}{v_{\min_{n-1}}} + \Delta t} \right], \quad (3.31)$$

де l_n, l_{n-1} - довжина відчепів, м;

l_{uz} - довжина ізольованої ділянки розділової стрілки, м;

b_n, b_{n-1} - довжина колісних баз відчепів, м;

$v_{\min_{n-1}}$ - найменша швидкість проходження першим відчепом ізольованої ділянки розділової стрілки, км/г;

Δt - різниця часу скочування двох суміжних відчепів від вершини гірки до відповідної розділової стрілки, сек.

В залежності від кроку інтегрування та швидкості розформування визначається час напіврейсу:

$$t_{i+1} = t_i + \frac{2 \cdot \Delta s_i \cdot 3600}{v_{i+1} + v_i}, \quad (3.32)$$

Точки відриву відчепів визначаються в залежності від профілю насувної, спускної частини гірки та довжини відчепів.

Точка відриву для одиночного вагона визначається за формулою [25]:

$$l_w = 10^{-3} \cdot w_i \cdot R_{ck}, \quad (3.33)$$

R_{ck} – радіус вертикальної кривої спускної частини.

Точка відриву для відчепів з декількох вагонів залежить від розташування завантажених і порожніх вагонів у відчепі [25]. Після відриву

відчепів від состава виконується перерахунок основного питомого опору состава (за формулою (3.27)) та подальший розрахунок енерговитрат електровоза при насуві частини состава, яка залишилась після відриву відчепа, з урахуванням його ваги та поздовжнього профілю, кількості стрілочних переводів та кривих. Перерахунок здійснюється після відриву кожного відчепа до повного розпуску состава. Для визначення енергозберігаючих режимів розформування составів на сортувальних станціях електричною тягою необхідно точно визначати деякі параметри, які можна розрахувати лише аналітичним методом, який потребує багато витрат часу. З цією метою розроблено алгоритм та програма по реалізації ресурсозберігаючих режимів розформування. Структурна схема складається з арифметичних і логічних операторів, які пов'язані між собою і приймають участь в розрахунках, в залежності від умов руху маневрового состава та отриманих результатів. Програмне забезпечення, яке розроблене у середовищі Mathcad 2000, дозволяє ілюструвати підсумки розрахунків за допомогою побудови графіків залежностей швидкостей, енерговитрат, часу, позицій контролера машиніста від відстані насуву для будь якої колії парку прийому (рис. 3.2).

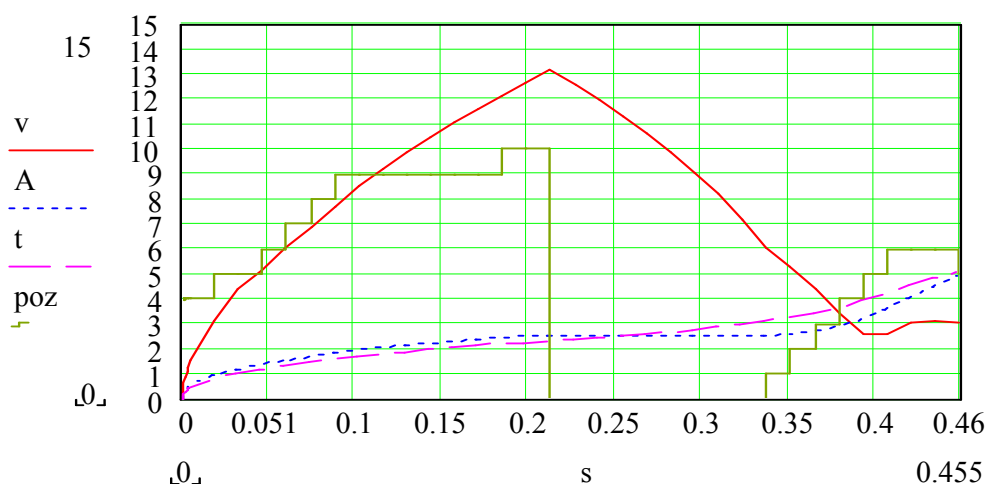


Рис. 3.2. Залежність швидкості v (км/г), енерговитрат A (10^1 кВт·г), часу t (хв.), позицій контролера машиніста poz від відстані, яку подолав состав під час насуву s (м) до вершини гірки

На підставі даного алгоритму розроблене програмне забезпечення за допомогою прикладної програми Mathcad 2000 Professional [56].

Розроблене програмне забезпечення дозволяє визначати час виконання гіркових технологічних операцій; енерговитрати локомотива, як загальні, так і окремо по кожній операції; час переходу з однієї позиції контролера на іншу; найбільш складні моменти при виборі позиції контролера, коли чергуються короткі та довгі відчепи; використовувати різні режими розформування тобто з інтенсивним переводом контролера при наборі швидкості та менш інтенсивним; вибір оптимальних позицій контролера; вартість розформування в залежності від часу доби; визначати оптимальні параметри конструкцій профілю парку прийому за критерієм мінімізації енерговитрат маневрового електровоза.