

Міністерство освіти і науки України

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ГРЕВЦОВ СЕРГІЙ ВЕНІАМІНОВИЧ

УДК 656.212.5

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ**  
**СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ**  
**ПАРКОВИМИ ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту  
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



С. В. Гревцов

Науковий керівник:

**Козаченко Дмитро Миколайович**  
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2018

## АНОТАЦІЯ

Гревцов С. В. Підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» (275 – Транспортні технології). – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуального наукового завдання – підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів. Зокрема, наукова новизна роботи полягає в такому:

– вперше розроблено метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який дозволяє забезпечити мінімальний час розпуску состава з виконанням умов безпеки сортувального процесу;

– вперше отримано комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності уповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють оперативному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску составів для забезпечення безпеки сортувального процесу;

– удосконалено методи побудови області допустимих режимів гальмування відчепів за рахунок урахування обмежень, які накладаються на умови розпуску при наявності башмачних гальмових позицій, що дозволяє врахувати умови їх роботи в імітаційних моделях роботи сортувальних гірок;

– удосконалено методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які, на відміну від існуючих, дозволяють враховувати технологічні обмеження, викликані вимогами безпеки сортувального процесу, і можуть застосовуватись для оцінки показників роботи гірок в умовах башмачного регулювання швидкості руху вагонів та параметричних відмов уповільнювачів.

Практичне значення отриманих результатів полягають у тому, що вони можуть бути використані під час складання технологічних процесів роботи станцій, планування штату регулювальників швидкості вагонів, для розробки рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальних гірках та маневровим диспетчерам. Результати роботи використані для удосконалення роботи служби перевезень Регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», в експертній практиці Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз, а також у навчальному процесі в ході підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 275 «Транспортні технології», під час виконання дипломних магістерських робіт та в курсі лекцій з дисциплін «Станції та вузли» та «Управління експлуатаційною роботою».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

За результатами дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них 6 наукових публікацій у фахових виданнях, які входять до переліку МОН України, у тому числі одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Index Copernicus, та одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Ulrich's Periodicals Directory, 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну, що захищається автором, наведено дані про практичне використання результатів дисертації.

У першому розділі виконано аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок та існуючих наукових методів дослідження та удосконалення сортувального процесу на залізничному транспорті.

На підставі критичного аналізу наукових праць інших авторів встановлено, що цих роботах наведено математичні моделі для дослідження процесу розформування составів, розв'язання задач управління роботою автоматизованих сортувальних гірок та ін. Основними задачами, які пов'язані з роботою сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями, є зниження пошкодження коліс вагонів під час руху їх юзом та техніко-економічна оцінка ефективності механізації. Водночас виявлено, що задачі управління швидкістю скочування відчепів у разі використання башмачного гальмування приділялася недостатня увага. На підставі виконаного аналітичного огляду наукових робіт сформульовано мету дослідження, визначено основні задачі дослідження, обрано порядок та методи їх розв'язання.

У другому розділі удосконалено методи оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями та виконано дослідження умов розділення відчепів на них.

На підставі дослідження щорічних «Аналізів стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці» за період з 2006 по 2015 рік встановлено, що для сортувального процесу характерна значна кількість порушень безпеки руху. Під час сортувального процесу на залізничному транспорті можуть виникати загрози інфраструктурі залізниць, рухомому складу, вантажам, персоналу, а у випадку перевезення небезпечних вантажів і суспільству та навколишньому середовищу. У зв'язку з цим вказаний процес пов'язаний з ризиками. На підставі аналізу гіркових процесів та рекомендованих рівнів небажаних подій у дисертації запропоновано рівні імовірностей цих подій.

За результатами спостереження розроблено методи розрахунку величини тривалості операції регулювання швидкості скочування відчепа регулювальником.

Встановлено, що башмачні гальмові позиції, які обслуговуються одним регулювальником швидкості вагонів, при виборі швидкості виходу відчепів з першої та другої гальмових позицій спускної частини гірки повинні розглядатись як додаткові розділові елементи. Виконано аналіз впливу різних

параметрів на конфігурацію та розміри області допустимих режимів регулювання швидкості на гальмових позиціях спускної частини гірок з немеханізованими парковими гальмовими позиціями.

У третьому розділі розроблено методи вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими ППП.

Вибір режимів гальмування окремих відцепів на сортувальних гірках являє собою складну багатофакторну задачу, у результаті розв'язання якої повинні бути забезпечені вимоги як інтервального, так і прицільного регулювання швидкості їх скочування.

В дисертації формалізовано задачу вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. Вирішення задачі запропоновано виконувати на трьох рівнях. На першому рівні вирішується задача вибору режимів гальмування на паркових гальмових позиціях при фіксованому розподілі сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів та при фіксованій швидкості розпуску. На другому рівні вирішується задача пошуку оптимального поділу состава на групи відцепів та вибору швидкості розпуску для кожної такої групи. На третьому рівні розв'язується задача пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

У четвертому розділі розроблено вимоги до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів та удосконалено методи оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

Однією з гострих проблем механізованих сортувальних гірок є зношений стан вагонних уповільнювачів, які в результаті цього повністю або частково відключаються або не можуть реалізовувати нормативну гальмову потужність. Методологічною основою вирішення проблеми функціонування сортувальних гірок в умовах втрати уповільнювачами гальмової потужності слугує теорія безпеки руху. При цьому для роботи сортувальних гірок у захищеному режимі можуть бути використані резерви, що були в них закладені на стадії проектування, а також ті, які утворилися через значне скорочення обсягів сортувальної роботи. У дисертації обґрунтовано

використання методів організації сортувальної роботи залежно від ступеня втрати уповільнювачами гальмової потужності.

Запропоновано графічне представлення вказаних правила у вигляді системи обмежень, індивідуальних для кожної гірки. В якості заходів забезпечення сортувального процесу запропоновано використовувати зниження швидкості розпуску, розпуск відчепів лише після звільнення маршруту скочування, виконання розпуску з перервами, спуск відчепів локомотивом до сортувального парку, закриття окремих сортувальних колій для розпуску.

Запровадження додаткових обмежень під час виконання розформування составів вантажних поїздів призводить до зниження переробної спроможності сортувальної гірки. На основі методів теорії ймовірностей, теорії гіркових процесів та методів імітаційного моделювання в дисертації розроблено аналітичні та імітаційні моделі для розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок в умовах втрати гальмової потужності уповільнювачами.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, сортувальна станція, розформування поїздів, сортувальна гірка, оптимізація, моделювання.

#### **Список публікацій здобувача**

##### **Основні праці:**

1. Гревцов С. В. Дослідження умов розділення відчепів на немеханізованих гальмових позиціях // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 11. С. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682

2. Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 12. С. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.

3. Kozachenko D. M., Bobrovskyi V. I., Grevtsov S. V., Berezovyi M. I. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 3 (63). С. 28–40. doi: 10.15802/stp2016/74710.

4. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 4 (64). С. 37–46. doi: 10.15802/stp2016/77878.

5. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями // Вісник нац. техн. ун-ту «ХП». Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. Харків, 2017. № 19 (1241). С. 72–80.

6. Козаченко Д. Н., Бобровский В. И., Гревцов С. В. Оптимизация распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов // Транспортні системи і технології перевезень. 2017. Вип. 13. С. 26–36. doi: 10.15802/tstt2017/110766.

#### **Праці апробаційного характеру:**

7. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Оптимизация роспуска составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 77-ї міжнар. науково-практ. конф. (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С.155–157.

8. Козаченко Д.Н., Гревцов С. В. Обеспечение безопасности сортировочного процесса в условиях потери вагонными замедлителями тормозной мощности // Збірник наукових праць Українського держ. ун-ту залізничного транспорту. 2016. Вип. 160 (додаток).С.122–123

9. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Вплив технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок // Збірник наукових праць Українського держ. ун-ту залізничного транспорту. 2017. Вип. 169 (додаток).С.149–150

10. Козаченко Д. М., Гревцов С. В. Метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: тези доп. XI науково-практ. конф. (Дніпро, 13–14 грудня 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С.36,37.

## ABSTRACT

Grevtsov S. V. Improving the efficiency of the trains breaking-up process on sorting humps with non-mechanized target retarding positions. – Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Science, specialty 05.22.20 – Operation and Repair of Railway Transport, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2018.

The thesis is devoted to the solution of the relevant scientific problem of increasing the efficiency of the breaking and making-up of freight trains at the sorting humps with non-mechanized parking retarder position due to optimization of the speed control of cuts` rolling-down.

Originality of the obtained results consists in solving the relevant scientific problem – increasing the efficiency of the breaking and making-up of freight trains at the sorting humps with non-mechanized parking retarder position due to optimization of the speed control of cuts` rolling-down. In particular, the originality of the work lies in the following:

- for the first time the optimization method of the distribution of sorting tracks between the car speed regulators has been developed, which makes it possible to provide the minimum time for breaking-up of train in accordance with the safety conditions of the sorting process;

- for the first time a complex of dependencies has been obtained; they determine the operational requirements for the capacity of retarders at the sorting humps and allow operating personnel to implement reasonable limitations of the modes of train breaking-up to ensure the sorting process safety;

- the methods of constructing the area of permissible braking modes of cuts are improved, taking into account the limitations imposed on the conditions of breaking-up in the presence of the brake shoe retarder positions, which allows taking into account the conditions of their operation in the simulation models of the sorting humps operation;

- the methods for determining the estimated capacity of sorting humps were improved, which, unlike the existing ones, make it possible to take into account the technological limitations caused by the safety requirements of the sorting process

and can be used to evaluate the hump performance under conditions of brake shoe regulation of the car speed and parametric failures of retarders.

The practical value of the results obtained is that they can be used when working out the technological processes of the stations, planning the staff of the car speed controllers, for the development of recommendations for hump operators, hump foremen and shunting operators. The work results were used to improve the transportation service operation of the regional branch "Lviv Railway" of PJSC "Ukrzaliznytsia", in the expert practice of the Lviv Research Institute of Forensic Expertise, as well as in the educational process when training the Bachelors and Masters in the Specialty 275 "Transport Technologies", when writing the master's theses and in the course of lectures on the disciplines "Stations and Junctions" and "Management of Operational Work".

The practical implementation of the results of work is confirmed by the relevant documents given in the annexes to the dissertation.

According to the thesis results, 10 scientific works have been published. 6 of them are the scientific publications in the professional editions included in the list of the Ministry of Education and Science of Ukraine, one of them is the scientific article in the edition included in the Index Copernicus scientometric base, and one scientific article in the edition included in the Ulrich's Periodicals Directory, 4 international scientific conference abstracts.

The introduction substantiates the relevance of the problem, formulates the purpose and objectives of the research, originality, which is defended by the author, provides data on the practical use of the thesis results.

In the first section, analysis of modern methods of organizing sorting humps operation and existing scientific methods of research and improvement of the sorting process at the railway transport is carried out.

Based on the critical analysis of the scientific works of other authors, it has been established that these works present the mathematical models for studying the process of trains breaking-up, solving the problems of operation management of the automated sorting humps, etc. The main tasks related to the operation of sorting humps with non-mechanized retarder positions are reducing the damage to the car wheels during their movement and technical and economic evaluation of the

mechanization efficiency. At the same time, it was revealed that insufficient attention was paid to the tasks of controlling the speed of cuts` rolling down in the case of use of shoe braking.

On the basis of the performed analytical review of scientific works, the purpose of the research was formulated, the main tasks of the research were determined, the order and methods of their solution were chosen.

In the second section, the methods for evaluating the safety indicators of the process of train breaking-up at the sorting humps with non-mechanized retarder positions were improved and the study of the conditions for separating the cuts at them was carried out.

On the basis of the annual "Analyses of the traffic safety state in the Ukrzaliznytsia`s structure" over the period from 2006 to 2015, it was established that a significant number of traffic safety violations is characteristic for the sorting process. During the sorting process at the railway transport, there may arise the threats to the railway infrastructure, rolling stock, cargoes, personnel, and to society and environment in case of the dangerous goods transportation. In this regard, the above-mentioned process is associated with risks. Based on the analysis of the hump processes and the recommended levels of undesirable events, the levels of probabilities of these events are proposed in the thesis.

According to the results of the observation, the methods of calculating the duration value of the operation of controlling the speed of cut`s rolling down by the regulator have been developed.

It has been established that the brake shoe retarder positions, which are serviced by one regulator of the car speed, when choosing the speed of cut`s coming out of the first and second retarder positions of the rolling down part of the hump should be considered as additional separating elements. The influence of various parameters on the configuration and dimensions of the permissible modes area of speed control at the retarder positions of the rolling down part of the hump with non-mechanized parking retarder positions was analyzed.

In the third section, the methods of selecting the modes for trains breaking-up at sorting humps with non-mechanized parking retarder positions were developed.

The choice of braking modes of separate cuts at the sorting humps is a complex multifactorial task, as a result of its solution the requirements of both interval and target regulating of the speed of their rolling down should be met.

In the thesis, the problem of the choice of modes for trains breaking-up at the sorting humps with non-mechanized retarder positions was formalized. It was proposed to perform the problem solution at three levels. At the first level, the task of choosing the braking modes at parking retarder positions was solved with a fixed distribution of sorting tracks between the car speed regulators and with a fixed speed of breaking-up. At the second level, the task of finding the optimal division of train into groups of cuts and the choice of the breaking-up speed for each such group was solved. At the third level, the task of finding the optimal distribution of sorting tracks between the speed regulators of cars was solved.

In the fourth section, the requirements for organizing the sorting process under conditions of reducing the brake power of retarders were developed and the methods for evaluating the estimated capacity of the sorting humps were improved.

One of the acute problems of the mechanized sorting humps is the wear of car retarders, which, as a result, completely or partially disconnect or can not implement the standard brake power.

The theory of the traffic safety serves as the methodological basis for the solution of the problem of the sorting humps operation under conditions of brake power loss by retarders. In this case, for the operation of sorting humps in the protected mode, the reserves incorporated at the design stage, as well as those formed due to a significant reduction in the volumes of sorting work, can be used. The thesis substantiates the use of methods of organizing the sorting operation depending on the degree of brake power loss by retarders.

A graphical representation of these rules is proposed as a system of limitations, individual for each hump. As a means of securing the sorting process, it is proposed to use the reduction in the breaking-up speed, breaking-up of cuts only when the route for rolling down is free, breaking-up with pauses, rolling down of cuts to the sorting park by locomotive, the closing of separate sorting tracks for breaking-up.

The implementation of additional limitations during freight trains' breaking-up leads to a reduction in the estimated capacity of sorting hump. Based on the probability theory, the theory of hump processes and the methods of simulation modeling the analytical and simulation models for calculating the estimated capacity of sorting humps under conditions of brake power loss by retarders were developed.

**Keywords:** railway, marshalling yard, breaking-up of train, sorting hump, optimization, simulation.

### **List of candidate's publicatuons**

#### **References:**

1. Grevtsov S. V. Investigation of cuts separation on non-mechanized braking positions // *Transport systems and transportation technologies*. 2016. № 11. P. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682
2. Grevtsov S. V. The analysis of risks related to break-up of rolling stock on hump yards // *Transport systems and transportation technologies*. 2016. № 12. P. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.
3. Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov S. V., Berezoviy M. I. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders // *Science and transport progress*. 2016. № 3 (63). P. 28–40. doi: 10.15802/stp2016/74710.
4. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V., Bolvanovska T. V. Study of technical state impact of brake retarders at the processing ability of humps // *Science and transport progress*. 2016. № 4 (64). P. 37–46. doi: 10.15802/stp2016/77878.
5. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V., Bolvanovska T. V. Handling of the trains' breaking-up process on the sorting humps with non-mechanized target braking positions // *Bulletin of the national technical university "Kharkiv polytechnic institute": Mechanical-technological systems and complexes*. 2017. № 19 (1241). P. 72–80.
6. Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov S. V. Optimizing classification tracks allocation between yardmen // *Transport systems and transportation technologies*. 2017. №. 13. P. 26–36. doi: 10.15802/tstt2017/110766.

**Articles which demonstrate approval of the thesis materials:**

7. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V., Bolvanovska T. V. Optimization of trains breaking-up process on sorting humps with non-mechanized retarding positions. // Proceedings of the 77 International Scientific & Practical Conference «The problems and prospects of railway transport development» (Dnipro, DNURT, 2017 p.). Dnipro: DNURT, 2017. P.155–157.

8. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V. Provision safety of humping process in condition of reduction of brake power of car retarders // Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport. 2016. Vol. 160 (annex). P. 122–123.

9. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V., Bolvanovska T. V. Technical state impact of brake retarders at the processing ability of humps // Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport. 2017. Vol. 169 (annex). P.149–150.

10. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V. A method of finding of optimal classification tracks allocation between yardmen // XI International scientific-practical conference «Modern information and communication technologies in transport, industry and education» (Dnipro, 13–14 December, 2017.). Dnipro: DNURT, 2017. P. 36,37.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ РОБОТИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ УКРАЇНИ .....	22
1.1. Методи моделювання процесу скочування відчепів .....	23
1.2 Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках .....	28
1.3 Проблеми забезпечення безпеки сортувального процесу на гірках .....	32
1.4 Методи розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок.....	37
1.5 Постановка задач дослідження .....	40
1.6. Висновки по розділу 1 .....	43
РОЗДІЛ 2 УМОВИ РОЗДІЛЕННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ .....	44
2.1 Регулювання швидкості відчепів гальмовими башмаками.....	44
2.2 Стан безпеки сортувального процесу на сортувальних гірках .....	45
2.3 Вимоги безпеки до регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках.....	47
Висновки по розділу 2 .....	67
РОЗДІЛ 3. УПРАВЛІННЯ РОЗПУСКОМ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ПАРКОВИМИ ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ.....	69
3.1 Формалізація задачі управління розпуском составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями .....	69
3.2 Оптимізація параметрів розпуску состава при фіксованому розподілі сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів .....	71
3.3 Оптимізація розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.....	86
Висновки по розділу 0 .....	97

РОЗДІЛ 4. УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ГАЛЬМОВОЇ ПОТУЖНОСТІ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ .....	98
4.1. Формулювання проблеми функціонування сортувальних гірок в умовах параметричних відмов .....	98
4.2. Визначення умов безпечної роботи сортувальних гірок при зменшенні гальмової потужності уповільнювачів.....	100
4.3. Розробка заходів із забезпечення безпеки розформування составів на сортувальних гірках .....	109
4.4. Дослідження впливу гальмової потужності уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок.....	121
Висновки по розділу 4 .....	130
ВИСНОВКИ .....	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	135
ДОДАТКИ.....	147
Додаток А. Акти впровадження результатів дослідження .....	148
Додаток Б. Результати обчислювальних експериментів з моделювання скочування відчепів. ....	151
Додаток В. Результати вимірювання сили натиснення уповільнювачів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузоз .....	157

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НДР – науково-дослідна робота;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

ДНУЗТ – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

УДУЗТ – Український державний університет залізничного транспорту;

ПТЕ – правила технічної експлуатації залізниць України;

ОДР - область допустимих режимів гальмування відчепа;

ГП1 – перша гальмова позиція;

ГП2– друга гальмова позиція;

ПП – паркова гальмова позиція;

ЗСГ - вагонами, що заборонені до спуску з гірки без локомотива;

БПП – паркова башмачна гальмова позиція;

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Основним засобом розформування-формування составів вантажних поїздів на залізницях є сортувальні гірки. Якість їх роботи багато в чому визначає як собівартість перевізного процесу, так і його безпеку, збереження рухомого складу й вантажів, що перевозяться. На 87 % сортувальних гірок України для регулювання швидкості скочування відцепів застосовується башмачне гальмування. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується й на гірках, де механізовані всі гальмові позиції. Тому тема дисертації є актуальною для залізничного транспорту України.

**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені в Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Визначення умов та розробка рекомендацій з безпечної організації розпуску составів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузол для різних ступенів зменшення гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки та паркової гальмівної позиції»(номер державної реєстрації 0115U007067), «Удосконалення методів імітаційного моделювання сортувального процесу на гірках»(номер державної реєстрації 0117U006815), у яких автор є виконавцем та автором звітів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відцепів.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення таких **задач дослідження:**

- аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок;
- удосконалення методів оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- дослідження умов розділення відчепів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- розробка методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями;
- розробка вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів;
- удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

**Об'єктом дослідження** є процес розформування-формування составів поїздів на сортувальних станціях.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язки режимів розформування составів поїздів з показниками ефективності сортувального процесу.

**Методи дослідження.** Математична статистика та кореляційний аналіз, методи управління ризиками використані для оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. Імітаційне моделювання, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь, методи математичного програмування застосовувалися для розробки методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями та для розробки вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів. Теорія ймовірностей, теорія маневрової роботи, імітаційне моделювання, математична статистика – для удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у вирішенні актуального

наукового завдання – підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів. Зокрема, наукова новизна роботи полягає в такому:

- вперше розроблено метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який дозволяє забезпечити мінімальний час розпуску состава з виконанням умов безпеки сортувального процесу;

- вперше отримано комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності уповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють оперативному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску составів для забезпечення безпеки сортувального процесу;

- удосконалено методи побудови області допустимих режимів гальмування відчепів за рахунок урахування обмежень, які накладаються на умови розпуску при наявності башмачних гальмових позицій, що дозволяє врахувати умови їх роботи в імітаційних моделях роботи сортувальних гірок;

- удосконалено методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які, на відміну від існуючих, дозволяють враховувати технологічні обмеження, викликані вимогами безпеки сортувального процесу, і можуть застосовуватись для оцінки показників роботи гірок в умовах башмачного регулювання швидкості руху вагонів та параметричних відмов уповільнювачів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані під час складання технологічних процесів роботи станцій, планування штату регулювальників швидкості вагонів, для розробки рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальних гірках та маневровим диспетчерам. Результати роботи використані для удосконалення роботи служби перевезень Регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», в експертній практиці Львівського науково-дослідного

інституту судових експертиз, а також у навчальному процесі в ході підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 275 «Транспортні технології», під час виконання дипломних магістерських робіт та в курсі лекцій з дисциплін «Станції та вузли» та «Управління експлуатаційною роботою».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наведені в роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень отримані автором самостійно. Статті [1, 2] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає в такому: у статті [3] удосконалено методи управління гальмовими позиціями в умовах втрати уповільнювачами гальмової потужності; у статті [4] удосконалено методи оцінки впливу технічного стану уповільнювачів на переробну спроможність гірок; у статті [5] розроблено метод управління розпуском составів з немеханізованими парковими гальмовими позиціями; у статті [6] розроблено метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені: на 77-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.); на 78-й та 79-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УДУЗТ, 2016, 2017рр.); на XI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.). У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (2018 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них 6 наукових публікацій у фахових виданнях, які входять до переліку МОН України, у тому числі одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Index Copernicus, та одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Ulrich's Periodicals Directory, 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ РОБОТИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ УКРАЇНИ

Розформування-формування составів вантажних поїздів та маневрових передач є одним з наймасовіших процесів як на магістральному, так і на промисловому залізничному транспорті. Основним засобом розформування-формування составів на залізницях є сортувальні гірки. Якість їх роботи багато в чому визначає як собівартість перевізного процесу, так і його безпеку, рівень збереження рухомого складу й вантажів, що перевозяться. На залізничних станціях України експлуатується 117 сортувальних гірок, з яких лише 31 має механізовані гальмові позиції. На 15 механізованих сортувальних гірках уповільнювачі встановлені як на спускній частині, так і на сортувальних коліях. На 16 сортувальних гірках паркові гальмові позиції не механізовані. Таким чином, для 87 % сортувальних гірок України стоїть завдання організації їх роботи в умовах башмачного гальмування. Крім того, в умовах зносу й часткової несправності гальмових уповільнювачів додаткове башмачне гальмування інтенсивно застосовується й на сортувальних гірках, у яких механізовано всі гальмові позиції.

У сучасних умовах основним напрямком підвищення переробної спроможності сортувальних гірок є їх механізація та автоматизація [75]. Однак механізація сортувальних гірок має не лише позитивні, а й негативні наслідки. На станціях з механізованими позиціями уповільнювачі є найбільш трудомісткими в обслуговуванні агрегатами. Загальні витрати на підтримку роботоспроможності уповільнювачів становлять майже 70 % трудомісткості утримання всіх гіркових пристроїв [96]. Для технічного обслуговування уповільнювачів потрібні тривалі перерви, під час яких доводиться припиняти розпуск составів. Кількість включень уповільнювачів протягом доби впливає на знос ущільнювальних манжет, втулок, осей, деталей кріплення та інших деталей приводу, а величина гальмівної роботи – на знос гальмових шин,

термін служби силових вузлів тощо [30]. Крім того, жодна із серійно існуючих систем автоматичного регулювання швидкості скочування вагонів, що працюють з балочними уповільнювачами, не забезпечує точного регулювання швидкості руху відчепів на сортувальних коліях. Більше ніж половина відчепів підходять до вагонів на сортувальних коліях зі швидкістю, що перевищує встановлену ПТЕ [83].

Основною перевагою використання гальмових башмаків для регулювання швидкості скочування відчепів є відносно низькі капітальні витрати, що пов'язані лише з установкою башмакоскидачів, незначні експлуатаційні витрати, а також можливість гнучко регулювати останні залежно від обсягів роботи без шкоди для безпеки сортувального процесу. Тому башмачне гальмування успішно конкурує на сортувальних гірках з уповільнювачами як в Україні, так і в решті світу. Недоліки башмачного гальмування пов'язані з перебуванням людей у небезпечній зоні й можливістю пошкодження вагонів під час руху юзом. Тому методи вибору параметрів процесу розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями повинні враховувати особливості їх роботи.

### **1.1. Методи моделювання процесу скочування відчепів**

Сортувальні гірки являють собою складні системи, під час роботи яких взаємодіє значна кількість різноманітних об'єктів. Процес скочування відчепів з гірки є одним з основних елементів розформування-формування составів вантажних поїздів на станціях. Дослідження скочування відчепів потрібно виконувати на стадії проектування сортувальних гірок [53, 60, 70, 74, 104], їх механізації [100], під час розробки автоматизованих систем управління розформуванням [67, 68, 101, 102], аналізу техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальних гірок [18, 34, 41] та в ході навчання оперативного персоналу [79, 80].

Вперше детальні аналітичні дослідження процесу скочування відчепів з гірок були виконані академіком В. М. Образцовим у роботі [71]. У цій праці

рівняння руху описано виразом

$$P = mv \frac{dv}{ds},$$

де  $P$  – рушійна сила;  
 $m$  – маса відчепа;  
 $v$  – швидкість руху відчепа;  
 $s$  – відстань скочування.

Рушійна сила визначається з виразу

$$P = F - W,$$

де  $F$  – проекція ваги відчепа на площину скочування;  
 $W$  – сила опору руху відчепа.

Проекція ваги відчепа на площину його скочування визначається за формулою

$$F = Q \sin \alpha_n,$$

а величина опору руху – за формулою

$$W = Qw_0 + 0,07 f_v (v + v_v)^2 + 0,75 \frac{Q}{R}, \quad (1.1)$$

де  $\alpha_n$  – кут нахилу;  
 $w_0$  – основний питомий опір руху вагона;  
 $f_v$  – площа поперечного перерізу вагона;  
 $v_v$  – швидкість вітру;  
 $Q$  – вага відчепа;  
 $R$  – радіус кривої.

Для спрощення розрахунків проф. В. Д. Нікітін розробив наближений аналітичний метод розв'язання рівняння руху [72], що базувався на припущенні про постійний опір руху на деякій ділянці маршруту скочування. Практичні розрахунки на початковому етапі розвитку теорії гіркових процесів здійснювалися графоаналітичним та графічним методами, які наведені в роботах академіка В. М. Образцова [73] та проф. М. Р. Ющенко [98].

У сучасних умовах для моделювання скочування відчепів на сортувальних гірках використовуються диференціальні рівняння, у яких незалежною змінною є шлях

$$ds = \frac{v dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s)) \cdot 10^{-3}} \quad (1.2)$$

або час

$$dt = \frac{dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s)) \cdot 10^{-3}}. \quad (1.3)$$

Найбільш близький до точного аналітичний розв'язок диференціального рівняння руху відчепа сортувальною гіркою отримано проф. І. В. Жуковицьким [35]. У цій роботі наведено вирази для побудови кривих швидкості  $v(t)$  та шляху  $s(t)$  при різних співвідношеннях між ухилом колії  $i$  та основним опором руху відчепа  $w_0$ . Окрім того, для випадку відсутності вітру отримано точний розв'язок у вигляді  $v(s)$ . Наведені розв'язки отримані при постійному ухилі  $i$ , і тому при моделюванні скочування відчепа по змінному профілю за допомогою виразів  $v(t)$  і  $s(t)$  необхідно визначати на кожному кроці  $\Delta t$  значення  $i(s)$ . При цьому для розрахунку  $i(s)$  на кроці  $\Delta t$  слід знати положення відчепа  $s(t)$  у кінці кроку, яке є невідомим. Недоліком розв'язку, наведеного в [35], є також те, що в ньому не враховується опір середовища та вітру.

Основним підходом, який застосовується на сьогодні для розв'язання рівнянь (1.2) та (1.3), є числові методи розв'язання диференціальних рівнянь. Зокрема, професором В. І. Бобровським розроблено методи моделювання скочування відчепів на сортувальних гірках на підставі розв'язання диференціальних рівнянь методом Рунге–Кутта та досліджено їх ефективність [19].

Необхідно зауважити, що розвиток методів моделювання гіркових процесів значною мірою пов'язаний із задачами механізації та автоматизації роботи сортувальних гірок. У той час як задачі моделювання скочування

відчепів в умовах башмачного гальмування пов'язані переважно лише з розрахунками висоти гірок та дослідженнями безпеки руху.

Принципи моделювання гіркових процесів наведені в [20]. Управління швидкістю скочування відчепів у моделі [20] досягається за рахунок імітації впливу на вагони гальмових уповільнювачів і створення ними додаткової сили опору. При цьому керованими параметрами є швидкості виходу відчепів з першої  $v'$  та другої  $v''$  гальмових позицій, а швидкість виходу відчепів з паркової гальмової позиції обирається з умов забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості їх руху. Ці швидкості утворюють режим гальмування відчепа

$$v = \{v', v''\}.$$

Режими гальмування відчепів є обмеженими через необхідність виконання вимог прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування, а також через обмеження швидкості входу відчепів на окремі елементи гірки. Для графічного відображення режимів гальмування відчепів у [99] запропоновано кожному з них у відповідність ставити точку на площині. Допустимі режими скочування одиночного відчепа при цьому зображуються у вигляді замкнутої області допустимих режимів гальмування (ОДР)  $\Omega_t$  (рис. 1.1). Швидкості скочування відчепів фізично являють собою невід'ємні значення. У зв'язку з цим усі можливі швидкості виходу відчепів з гальмових позицій розташовані в першому квадраті. Межі області  $\Omega_t$  відповідають гранично можливим або гранично допустимим швидкостям виходу відчепів з гальмових позицій. Опис цих обмежень наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Обмеження допустимих режимів скочування одиночного відчепа

№	Опис
1	Режими з максимально можливими швидкостями виходу відцепів з першої гальмової позиції. Реалізуються при скачуванні відчепа на першій гальмовій позиції (ГП1) без гальмування. Обмеження лінійне
2	Режими з максимально можливими швидкостями виходу відцепів з другої гальмової позиції (ГП2). Реалізуються при скачуванні відчепа на другій гальмовій позиції без гальмування. Обмеження нелінійне
3	Обмеження за допустимою ймовірністю зупинки відчепа в уповільнювачах паркової гальмової позиції (ППП). Обмеження лінійне
4	Обмеження за допустимою швидкістю зіткнення вагонів у сортувальному парку. Обмеження лінійне
5	Обмеження за допустимою швидкістю входу відчепа на ГП2. Обмеження лінійне
6	Обмеження за потужністю ГП1. Реалізуються при скочуванні відчепа з гальмуванням на першій гальмовій позиції повною потужністю. Обмеження лінійне
7	Обмеження за потужністю ГП2. Реалізуються при скочуванні відчепа з гальмуванням на другій гальмовій позиції повною потужністю. Обмеження нелінійне

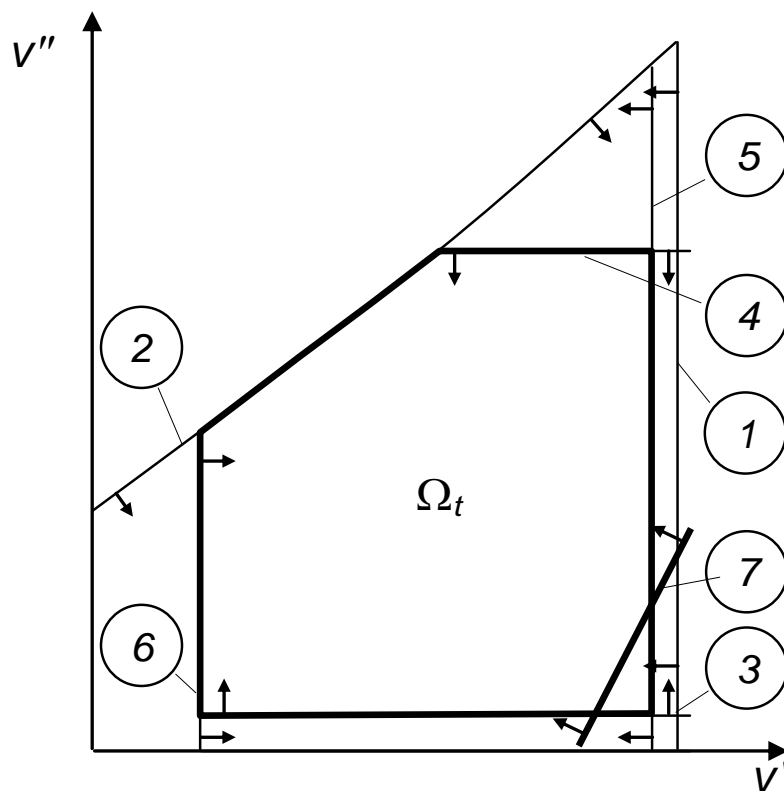


Рисунок 1.1 – Область допустимих режимів гальмування

Регулювання швидкості скочування відчепів гальмовими башмаками має певні особливості порівняно з регулюванням їх швидкості за допомогою гальмових уповільнювачів.

Енергія  $h_{гб}$ , що гаситься гальмовим башмаком, визначається виразом [26]

$$h_{гб} = \frac{fq_v l_{юз}}{Q},$$

де  $f$  – коефіцієнт гальмової дії башмака (приймається рівним  $0,17 \pm 0,03$ );

$q_v$  – навантаження на вісь для колеса, яке гальмується башмаком, тс;

$l_{юз}$  – довжина гальмового шляху (довжина юза), м;

$Q$  – маса вагона, т.

Дослідження, виконані в [94], показують, що коефіцієнт гальмової дії башмака є випадковою величиною, параметри якої залежать від значної кількості факторів, зокрема і від швидкості руху відчепів.

Швидкості входу відчепів на башмаки гальмових позицій є обмеженими. Зокрема, згідно з вимогами [26], вони не повинні перевищувати 3,5 м/с. У зв'язку з цим для сортувальних гірок з башмачними гальмовими позиціями форма області допустимих режимів гальмування відчепів повинна бути удосконалена.

## **1.2 Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках**

Показники роботи сортувальних гірок суттєво залежать від вибору режимів гальмування відчепів. Оптимальне керування розпуском передбачає використання таких режимів гальмування, при яких забезпечуються найкращі умови розділення відчепів на стрілками і уповільнювачах, а також виконуються вимоги прицільного регулювання швидкості скочування.

Під час розв'язання задачі з вибору режимів гальмування відчепів складає як елементарна розрахункова група зазвичай розглядається група з

трьох відчепів з керованим середнім [13, 15]. Величини інтервалів між відчепами на розділових елементах залежать від часу звільнення й зайняття розділових елементів першим і третім відчепами розрахункової групи, а також від режимів гальмування, що визначають швидкості виходу керованого відчепа з першої (ГП1) і другої (ГП2) гальмових позицій:

$$\delta t_1(v'_2, v''_2) = t_{н,1} + t_2(s_1, v'_2, v''_2) - \tau_1(s_1),$$

$$\delta t_2 = t_{н,2} + t_3(s_2) - \tau_2(s_2, v'_2, v''_2),$$

де  $t_{н,1}, t_{н,2}$  – початкові інтервали на вершині гірки відповідно в першій і другій парах елементарної групи;

$t_2(s_1, v'_2, v''_2)$  – час скочування керованого відчепа від моменту відриву до моменту зайняття ізольованої ділянки розділової стрілки  $s_1$  у першій парі при заданій швидкості його виходу з першої  $v'_2$  та другої  $v''_2$  гальмових позицій;

$\tau_2(s_2, v'_2, v''_2)$  – те саме, до моменту звільнення розділового елемента  $s_2$  у другій парі;

$\tau_1(s_1), t_3(s_2)$  – відповідно час скочування першого відчепа до зайняття ізольованої ділянки розділового елемента  $s_1$  і третього відчепа до звільнення ізольованої ділянки розділового елемента  $s_2$ .

Числові значення величин часу і швидкості скочування відчепів для розв'язання задачі вибору режимів їх гальмування приймаються на основі результатів математичного моделювання скочування.

Реальні состави можна розглядати як множину з  $n-2$  елементарних розрахункових груп (тут  $n$  – кількість відчепів у составі). У составах наявні розрахункові групи як зі сприятливим, так і з несприятливим поєднанням відчепів. Зокрема, сприятливими є поєднання, у яких наявні багатовагонні відчепа. У таких групах за рахунок вибору раціонального режиму гальмування відчепів можуть бути створені значні резерви часу на розділових елементах. Несприятливими є випадки поділу одновагонних відчепів на четвертій-п'ятій стрілках по маршруту скочування, особливо за наявності відчепів легкої вагової категорії.

Інтервали між відчепами, що скочуються послідовно, пов'язані між собою. Зміна режиму гальмування керованого відчепа в розрахунковій групі приводить до зміни умов скочування третього відчепа в попередній розрахунковій групі й першого відчепа в наступній. Через це вибір нераціональних режимів гальмування відчепів може призводити до погіршення умов поділу відчепів не лише в суміжних групах, але й у наступних групах зі значним запізненням. У [15] запропоновано ітераційний метод, що дозволяє до початку розпуску на підставі комплексного аналізу характеристик відчепів скласти й багаторазового розв'язання задачі пошуку оптимальних режимів гальмування в елементарних розрахункових групах перерозподілити резерви часу на розділових елементах і максимізувати мінімальний інтервал між відчепами. Як критерій оптимальності в цій роботі використовується критерій Вейбула

$$\min\{\delta t_i\} \rightarrow \max, i = 1 \dots n - 1, \quad (1.4)$$

де  $n$  – кількість відчепів у складі.

Необхідно зауважити, що обґрунтування вибору режимів гальмування в [15] виконано для умов, коли ходові характеристики відчепів відомі до початку скочування, а гальмові позиції точно реалізують задані режими гальмування. Однак досвід практичної експлуатації сортувальних гірок показує, що їх функціонування відбувається в умовах дії значної кількості випадкових факторів [14, 43].

Результати досліджень проблеми вибору режимів гальмування відчепів у стохастичних умовах наведені в [44, 45, 46]. При цьому оцінка умов інтервального регулювання швидкості скочування виконується за допомогою ризику нерозділення, що характеризує можливу кількість вагонів, які в результаті розпуску прямуватимуть на колії з порушенням плану розпуску. Ризик нерозділення відчепів може бути оцінений за допомогою виразу

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left( \frac{t_{n,i} - t_{pe} - M[\tau_i] + M[t_{i+1}]}{\sqrt{D[\tau_i] + D[t_{i+1}]}} \right) m_{i+1}, \quad (1.5)$$

де  $\Phi(x)$  – функція Лапласа;

$t_{pe}$  – мінімальний допустимий інтервал на розділовому елементі;

$M[t_i]$ ,  $M[\tau_i]$  – відповідно математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів зайняття і звільнення розділових елементів;

$D[t_i]$ ,  $D[\tau_i]$  – відповідно дисперсії випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів зайняття і звільнення розділових елементів;

$m_i$  – кількість вагонів у  $i$ -му відчепі.

Зміна критерію оптимізації з (1.4) на (1.5) дозволяє поліпшити показники інтервального регулювання швидкості скочування відцепів в умовах дії випадкових чинників. Однак завдання надійного поділу відцепів в групах з несприятливим їх поєднанням на гірках, де використовується башмачне гальмування, потребує подальшого дослідження.

Управління швидкістю скочування відцепів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями здійснюється регулювальниками швидкості вагонів. Вимоги до організації їх роботи наведені в [54]. Згідно з [54] за кожною гальмовою позицією в зміні повинні закріплюватися постійні регулювальники. У разі зміни обсягів і ритму роботи, ступеня заповнення сортувальних колій рухомим складом старший регулювальник швидкості руху вагонів може змінювати розстановку регулювальників швидкості руху вагонів по гальмових позиціях з урахуванням забезпечення особистої безпеки працівників та безпеки руху відцепів. Обов'язком старшого регулювальника є правильно розставляти регулювальників швидкості руху вагонів по коліях відповідно до обсягу й ритму роботи, ступеня заповнення сортувальних колій вагонами та погодних умов. Однак принципи розстановки регулювальників по сортувальних коліях у [54] не вказані. Аналіз методичних рекомендацій операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках [62] показує, що для сортувальних гірок з немеханізованими парковими гальмовими позиціями в них міститься вимога стосовно організації взаємодії між операторами

гальмових позицій на спускній частині гірки та регулювальниками швидкості вагонів, однак зміст цієї взаємодії також не визначається.

Таким чином, для забезпечення нормальних умов роботи регулювальників швидкості вагонів інтенсивність надходження вагонів на колії, які обслуговують ці регулювальники, повинна давати їм змогу безпечно переходити від однієї до іншої гальмової позиції.

### **1.3 Проблеми забезпечення безпеки сортувального процесу на гірках**

Основними порушеннями безпеки функціонування гіркових пристроїв при реалізації процесу розформування-формування составів є: сходи вагонів на стрілках, вагонних уповільнювачах та коліях; пошкодження вагонів та вантажів через перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів на сортувальних коліях або через відсутність проходів на стрілках спускної частини гірки.

Безпека функціонування гіркових пристроїв є властивістю системи та пристроїв гіркового комплексу забезпечувати розпуск составів без порушень вимог до безпеки функціонування [63]. У свою чергу порушення вимог до безпеки функціонування є наслідком небезпечних ситуацій, джерелами яких можуть бути як окремі фактори так і різні їх поєднання, зокрема:

- небезпечні відмови гіркових пристроїв та систем управління;
- неправильні дії операторів (чергового по гірці, операторів при черговому по гірці, машиніста локомотива);
- неякісна технічна експлуатація та помилки обслуговуючого персоналу;
- небезпечні відмови колії та рухомого складу (злами рейок, падіння деталей вагонів на рейки тощо);
- природні явища та ін.

Безпека руху поїздів являє собою комплексну проблему, що визначається організаційними, технічними, ергономічними факторами [58, 69, 84, 85, 86, 91, 93]. У цих умовах управління безпекою руху можливе лише за рахунок використання системного підходу, широкого застосування методів економічного та математичного аналізу. Особливо це стосується раціонального використання капітальних вкладень на реалізацію заходів з підвищення безпеки руху на залізницях в умовах обмеженого фінансування.

Шляхи розв'язання різноманітних задач забезпечення безпеки руху поїздів визначає теорія безпеки руху поїздів [29, 58, 87, 88]. Концепція цієї теорії базується на використанні поняття відповідального технологічного процесу та небезпечної відмови [58]. При цьому під відповідальним технологічним процесом розуміють такий технологічний процес, порушення якого понад допустимі межі може призвести до загибелі людей, екологічних катастроф, значних втрат матеріальних коштів.

У процесі розвитку теорії безпеки руху змінювалися критерії та методи розв'язання її задач. Традиційним для залізничного транспорту є застосування принципу абсолютної безпеки. Відповідно до нього ставиться задача повного усунення відмов, що призводять до порушення вимог безпеки руху. Так, принцип абсолютної безпеки викладено в п 1.1 ПТЕ [83]: «Основними обов'язками працівників залізничного транспорту є: задоволення потреб щодо перевезень пасажирів та вантажів при безумовному забезпеченні безпеки руху та збереження вантажів, що перевозяться...».

Водночас традиційний підхід до проблеми безпеки має низку суттєвих недоліків, що не дозволяє розв'язувати її раціонально [58]:

- принцип абсолютної безпеки виключає кількісне порівняння процесів руху поїздів та маневрової роботи, що реалізуються різними технічними засобами, за їх найважливішим показником – показником безпеки, оскільки всі технічні засоби забезпечують абсолютний рівень безпеки;

- розв'язання задач безпеки лише в рамках окремих технічних засобів не дозволяє оцінити безпеку руху стосовно власника рухомого складу та вантажовідправника;

- відсутність системи кількісних показників безпеки руху та методів їх розрахунку виключає можливість нормування рівня безпеки руху й маневрової роботи, можливість оцінки достатності фактичного рівня безпеки та можливість сертифікації технічних засобів транспорту за показником безпеки;

- невизначеність функціональних зв'язків між показниками безпеки руху та техніко-економічними показниками процесу перевезень, з одного боку, та заходами, спрямованими на підвищення безпеки руху, – з іншого, приводить до надання переваги організаційним заходам, що не вимагають прямого вкладення коштів у забезпечення безпеки перевезень.

Відмінним для башмачного регулювання швидкості скочування відчепів і використання гальмових уповільнювачів є принцип гальмування (у першому випадку він ґрунтується на терті башмака та протилежного колеса загальмованої осі об рейку), а також перебування людей у небезпечній зоні, що створює підвищені загрози для безпеки руху.

Гальмовий ефект від використання башмаків ґрунтується на заміні тертя кочення колеса тертям ковзання гальмового башмака та непідбашмаченого колеса об рейку. Таке ковзання називається юзом. Процес ковзання загальмованої колісної пари по рейках пов'язаний з великим виділенням тепла й розігрівом поверхні кочення до 1 000 °С, втратою міцності металу непідбашмаченого колеса та формуванням на поверхні кочення прямої ділянки – повзуна [33]. Таким чином, одним із наслідків використання гальмових башмаків для регулювання швидкості вагонів є термомеханічне пошкодження поверхні кочення коліс, що призводить до зменшення строків експлуатації коліс, буксових вузлів та пристроїв верхньої будови колії. Згідно з вимогами ПТЕ за наявності повзуна глибиною 1 мм та більше колісна пара не допускається до експлуатації. До того ж відомо [33],

що на одне колесо з бракувальним повзуном припадає приблизно 50 коліс з повзунами понад 0,4 мм, що суттєво погіршують умови динамічної взаємодії в парі колесо-рейка.

З метою обмеження тривалості розігріву коліс довжина юза згідно з [26] не повинна перевищувати 20 м. Окрім того, розробляються різноманітні технічні засоби, що зменшують негативні наслідки башмачного гальмування. Так, у [33, 12, 64, 32, 31, 77] для зменшення тривалості розігріву колеса в місці контакту пропонується використовувати спеціальні протияюзні пристрої, які монтуються на рейках і в певних місцях забезпечують підняття колеса над башмаком та прокручування колісної пари.

У [12] запропоновано конструкцію гальмового башмака, колодка якого містить виїмки, у які запресовано антифрикційний матеріал, що містить у своєму складі Fe, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, Sn, та Cu. Під час наїзду колеса на башмак відбувається його прокручування та змащування поверхні полоза антифрикційним матеріалом. При підвищенні температури в місці контакту колеса та башмака на поверхні останнього з'являються вторинні структури, які дозволяють колесу провертатися. Довжина гальмового шляху при цьому подовжується лише на 5–10 %, але суттєво зменшується ймовірність пошкодження коліс вагонів.

Робота регулювальників швидкості вагонів є однією з найбільш небезпечних на транспорті [92]. У зв'язку з цим питанням її організації присвячена значна кількість наукових праць. Зокрема, у [56] досліджується проблема психофізіологічного відбору регулювальників швидкості вагонів. Прийоми роботи регулювальників швидкості вагонів наведені в [54]. У вказаних роботах зазначаються вимоги до регулювальників стосовно дотримання вимог щодо встановленої швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, використання справного обладнання, обладнання робочих місць. Однак вказані документи не містять рекомендацій, які безпосередньо стосуються виконання процесу гальмування, порядку

безпечного пересування регулювальників між коліями, імовірнісних показників для нормування безпеки сортувального процесу.

Основними напрямками підвищення переробної спроможності та безпеки сортувального процесу є механізація й автоматизація гальмування відчепів [97, 105], покращення технології обслуговування гіркових пристроїв [89], удосконалення гіркових технологій [78]. У вказаних працях завдання управління розпуском составів вирішуються в умовах функціонування технічних засобів сортувальних гірок у межах нормативних значень. Проблема відмов окремих пристроїв на сортувальній гірці розглядається з позиції їх якнайшвидшого виявлення. Зауважимо, що в радянський період при значних обсягах перевезень сортувальні гірки були елементом, який обмежує переробну спроможність станцій, і несправності їх технічних засобів ліквідовувалися в найкоротший час. Сьогодні ж обсяги переробки вагонів істотно скоротилися. Так, завантаження непарної сортувальної гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол становить 63 %, а парної – 37 %. На залізничному транспорті спостерігається хронічна відсутність коштів на оновлення матеріально-технічної бази. Внаслідок цього характерними умовами експлуатації стали робота за наявності параметричних відмов гальмових уповільнювачів.

Основними причинами втрати уповільнювачами гальмової потужності в процесі експлуатації є їх несправність або недостатній тиск у пневмомережі. Типовий порядок дій операторів сортувальних гірок у таких умовах викладено в [62], де зазначено, що при тиску в пневмомережі менше ніж 0,65 МПа розпуск повинен припинятися. У разі несправності уповільнювачів і відключення їх для ремонту розпуск може тривати у звичайному режимі за умов відключення одного уповільнювача на першій гальмовій позиції і зі зменшенням швидкості розпуску при відключенні одного уповільнювача на другій гальмовій позиції. При відключенні частини уповільнювачів на гальмовій позиції зменшується швидкість розпуску й може використовуватися додаткове башмачне гальмування. При відключенні

одночасно двох уповільнювачів за маршрутом скочування розпуск по ньому припиняється.

Технічне обслуговування уповільнювачів на сортувальних гірках України здійснюється відповідно до [37]. Зокрема, у [37] зазначено порядок перевірки зусилля натискання шин уповільнювачів на колесо й допуски для зменшення цих значень. Результати вимірювань заносяться в журнал форми ШУ-2. Однак чинна нормативна документація не встановлює жорстких критеріїв щодо відключення уповільнювачів для ремонту через недостатню гальмову потужність. Фактично в разі втрати потужності уповільнювачами зменшується швидкість розпуску составів і маса відчепів. Однак обґрунтування цих заходів і аналіз їх ефективності відсутні.

Таким чином, проблемі функціонування гіркових комплексів в умовах зносу технічних засобів і відхилення їх параметрів від нормативних значень приділялося недостатньо уваги, тож вказані процеси потребують подальшого дослідження.

#### **1.4 Методи розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок**

Для України характерним є утворення певних резервів переробної спроможності через різкий спад обсягів вагонопотоків, з одного боку, та незадовільний стан технічних засобів – з іншого. Експлуатація технічних засобів сортувальних гірок у багатьох випадках здійснюється в «захищеному» режимі [59], коли безпека руху досягається шляхом запровадження певних експлуатаційних обмежень. Необхідно зауважити, що експлуатація технічних засобів у такому стані призводить до збільшення експлуатаційних витрат. Тому актуальним завданням для залізничного транспорту України є встановлення зв'язків між станом технічних засобів сортувальних гірок та техніко-експлуатаційними показниками їх функціонування.

Однією із основних технічних характеристик сортувальних гірок є їх переробна спроможність [23, 24, 25, 42, 62]. Розрахунок переробної спроможності сортувальних гірок та залізниць України згідно з [25] виконується за формулою

$$N = \mu_{\text{пвт}} \sum_{i=1}^m n_{p,i} b_{p,i} + N_{\text{пост}}^{\text{гір}}, \quad (1.6)$$

де  $\mu_{\text{пвт}}$  – коефіцієнт, що враховує повторне сортування частини вагонів у процесі закінчення формування з гірки й через недостатню кількість та довжину сортувальних колій;

$m$  – кількість підходів, з яких поїзди надходять у розформування;

$n_{p,i}, b_{p,i}$  – відповідно переробна спроможність гірки для поїздів з  $i$ -го підходу та середня кількість вагонів у них;

$N_{\text{пост}}^{\text{гір}}$  – кількість місцевих вагонів з колій ремонту, кутових, вагонного депо та ін., які розпускаються за час  $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гір}}$  ;

$\sum T_{\text{пост}}^{\text{гір}}$  – час займання гірки протягом доби виконання постійних операцій, кількість яких не змінюється пропорційно зі збільшенням обсягу переробки або задається на розрахунковий період.

Згідно з [42] вказаний вираз може бути записаний як

$$N = \frac{1440 \alpha_{\text{гір}} - T_{\text{пост}}^{\text{гір}}}{t_{\text{гір}} \alpha_{\text{зал}} (1 + \rho_{\Gamma})} m_c + N_{\text{пост}}^{\text{гір}}, \quad (1.7)$$

де  $\alpha_{\text{зал}}$  – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу, пов'язані з зайняттям передгіркової горловини поїзними та маневровими пересуваннями, що залежать від обсягу переробки;

$m_c$  – середня кількість вагонів у составі.

Величина  $t_{\text{гір}}$  для механізованих та немеханізованих сортувальних гірок, де працює один локомотив, розраховується за виразом

$$T_{\text{рф}} = t_z + t_n + t_p + t_{\text{ос}} + t_{\text{дод}},$$

де  $t_3$ ,  $t_n$ ,  $t_p$ ,  $t_{oc}$ ,  $t_{дод}$  – відповідно тривалість: заїзду, насуву, розпуску, осаджування та додаткових операцій.

Для гірок, де працює декілька локомотивів, величина  $t_{гip}$  визначається за результатами побудови гіркового циклу, оскільки частина перелічених вище операцій виконується послідовно, а частина – паралельно.

Тривалість гіркових операцій визначається за [61] згідно з параметрами маршрутів руху та кількістю вагонів у составі. При цьому безпосередня тривалість розпуску состава визначається за формулою

$$t_p = \frac{0,06m_p l_b}{v_p} \left( 1 - \frac{1}{2g_p} \right) + b_{зсг} t(K_{зсг}), \quad (1.8)$$

де  $m_p$ ,  $g_p$  – відповідно середня кількість вагонів та відчепів у составі, що розформовується;

$l_b$  – середня довжина вагона;

$v_p$  – середня швидкість розпуску состава з гірки;

$b_{зсг}$  – частка составів з вагонами, що заборонені до спуску з гірки без локомотива (ЗСГ), від загальної кількості составів, що розформовуються;

$t(K_{зсг})$  – додатковий час на маневри з вагонами ЗСГ, що припадають на один состав, залежно від середньої кількості груп таких вагонів у составі  $K_{зсг}$ .

Залежності швидкості розпуску від середньої довжини відчепа у составі для механізованих та немеханізованих гірок наведені на рис. 1.2.

Зауважимо, що підвищення швидкості розпуску составів поїздів є однією з основних цілей механізації сортувального процесу [11]. При цьому сучасні методи нормування швидкості розпуску відчепів не дозволяють встановити зв'язки між переробною спроможністю сортувальних гірок і їх технічним оснащенням у випадку механізації гальмування лише на спускній частині, а також у випадку зміни кількості регулювальників швидкості вагонів.

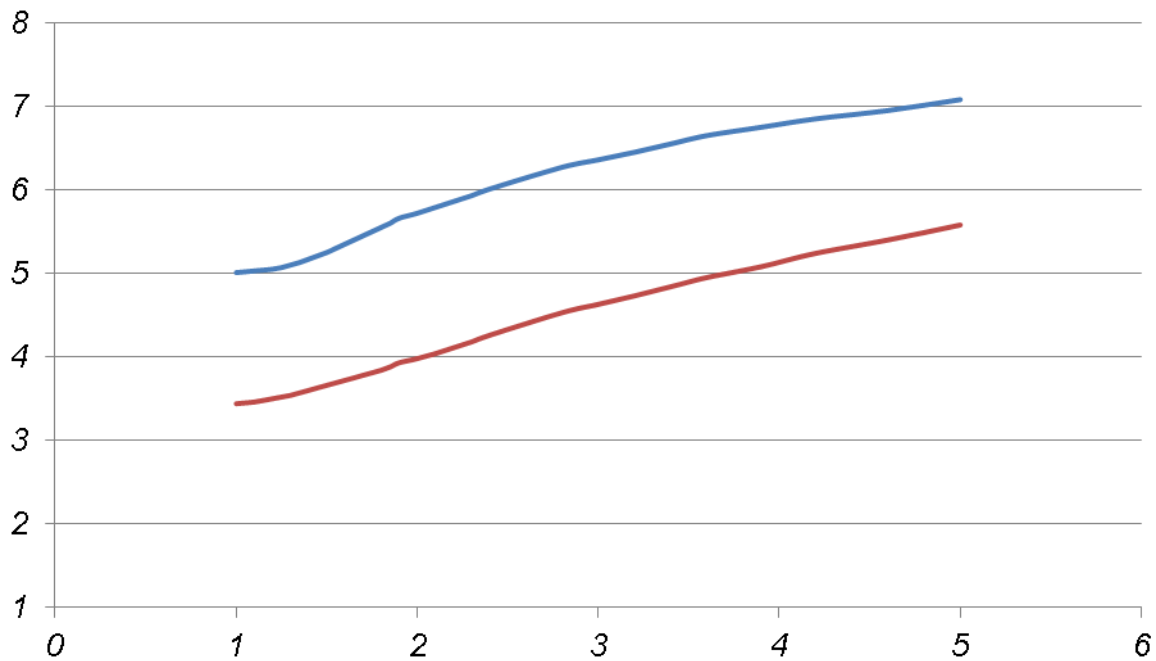


Рисунок 1.2 – Залежності швидкості розпуску від середньої довжини відчепа в составі

Принципи забезпечення безпеки розформування составів поїздів в умовах параметричної відмови уповільнювачів викладені у [62]. Дотримання вимог безпеки руху при цьому досягається переважно за рахунок зниження темпу розпуску та застосування башмачного регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальних коліях.

У цілому недоліком сучасних методів розрахунку переробної спроможності гірки є те, що в них не враховується стан технічних засобів сортувальної гірки, її функціонування в умовах технологічних обмежень для забезпечення вимог безпеки руху, а також величина штату регулювальників швидкості вагонів.

### 1.5 Постановка задач дослідження

Ефективність розформування составів поїздів визначається великою кількістю факторів, що одночасно впливають і на техніко-експлуатаційні показники роботи сортувального комплексу станції. Таким чином, для вирішення проблеми підвищення безпеки сортувального процесу та підвищення його ефективності необхідна системна оцінка факторів

технічного, організаційного, техногенного, економічного та людського характеру. Метою дослідження є підвищення показників експлуатаційної ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні задач дослідження та при виборі методів їх вирішення.

Сортувальна гірка являє собою систему, що перебуває в тісній взаємодії з іншими підсистемами сортувальної станції і з'єднана з ними множиною прямих та зворотних зв'язків, які змінюються в часі. При цьому як укрупнені елементи сортувальної гірки розглядаються колійний розвиток, система управління розформуванням составів та вагонопотік, що переробляється. Між елементами системи наявні фізичні та інформаційні зв'язки. Зовнішнім середовищем стосовно сортувальної гірки є залізнична станція. Стан системи характеризується положенням у просторі та часі окремих елементів колійного розвитку гірки та вагонів на ньому. Входом системи є вагонопотік, що прибуває в переробку, та стан зовнішнього середовища. Вихід системи утворюють состави поїздів, що накопичуються на коліях сортувального парку. Поведінка системи зумовлюється в основному впливом сил фізичного характеру, що діють на рухомий склад (сила тяжіння, сила тяги локомотива, сили опору руху), та впливом системи управління. При цьому одним з елементів системи управління є людина-оператор. Тобто сортувальна гірка є ергатичною системою. Характеристика сортувальної гірки як системи наведена в табл. 1.2 .

Цілями системи є забезпечення розформування-формування потоку составів поїздів у заданому темпі з мінімальними експлуатаційними витратами та з безумовним дотриманням умов безпеки руху. Наведені цілі є суперечливими.

Таблиця 1.2 – Характеристика сортувальної гірки як системи

Класифікаційна ознака	Клас системи
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку із зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини в реалізації керуючих впливів	Ергатична

Так, підвищення рівня безпеки можна досягти за рахунок зменшення темпу розформування поїздів чи за рахунок удосконалення технічного забезпечення гірок.

На подолання наведених суперечностей і спрямована мета дослідження. Згідно з методологією системного аналізу досягнення поставленої мети дослідження відбувається поетапно в результаті вирішення окремих задач дослідження:

- аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок;
- удосконалення методів оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- розробка методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- розробка вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів;
- удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

## 1.6. Висновки по розділу 1

1. На 87 % сортувальних гірок України для регулювання швидкості скочування відчепів застосовується башмачне гальмування. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується і на гірках, де механізовано всі гальмові позиції. Особливістю експлуатації сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями є насамперед перебуванням людей у небезпечній зоні.

2. Аналіз наукових праць, присвячених сортувальному процесу, свідчить про те, що задача управління швидкістю скочування відчепів за умов використання башмачного гальмування не вирішена остаточно і потребує додаткових досліджень.

3. Для України характерним є утворення певних резервів переробної спроможності через різкий спад обсягів вагонопотоків, з одного боку, та незадовільний стан технічних засобів – з іншого. Експлуатація технічних засобів сортувальних гірок у багатьох випадках здійснюється в «захищеному» режимі, коли безпека руху досягається шляхом запровадження певних експлуатаційних обмежень. Експлуатація технічних засобів у такому стані призводить до збільшення експлуатаційних витрат. Тому актуальним завданням для залізничного транспорту України є встановлення зв'язків між станом технічних засобів сортувальних гірок та техніко-експлуатаційними показниками їх функціонування.

## РОЗДІЛ 2

### УМОВИ РОЗДІЛЕННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ

Для сучасних умов роботи залізничного транспорту України характерним є критичний знос технічних засобів виробництва та обмеження витрат на їх ремонт. Іншою негативною тенденцією є скорочення персоналу з метою зменшення витрат на оплату праці. У зв'язку з цим на залізницях досить гостро стоїть проблема визначення безпечних умов виконання процесу перевезень. Такі проблеми функціонування залізничного транспорту повністю стосуються й сортувальних гірок. Найбільш загрозливою є ситуація зі скороченням регулювальників швидкості вагонів, що безпосередньо забезпечують безпеку процесу розформування-формування составів. У зв'язку з цим проблема нормування тривалості операцій гальмування відцепів у сортувальних парках є актуальною для залізничного транспорту України.

#### 2.1 Регулювання швидкості відцепів гальмовими башмаками

Для забезпечення гальмування відцепів сортувальні колії обладнуються башмачними гальмовими позиціями. Такі позиції застосовуються як основні гальмові засоби на немеханізованих та як додаткові на механізованих сортувальних гірках. Згідно з [26] немеханізовані гальмові позиції одного пучка розташовуються в створі й обладнуються башмакоскидачами, які встановлюються на відстані не менше ніж 25 м від граничного стовпчика останнього стрілочного перевалу або на відстані 25 м від кінця захрестовинної кривої. Гальмування відцепів башмаками пов'язано з великою кількістю небезпечних факторів, таких як робота людей у зоні підвищеної небезпеки [56], пошкодження вагонів та вантажів через перевищення встановленої швидкості співударяння, пошкодження вагонів через рух юзом із заклиненними башмаками колесами [81]. Рекомендації щодо

організації роботи немеханізованих сортувальних гірок наведено в [54]. Нормативи чисельності регулювальників швидкості вагонів указано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормативи чисельності регулювальників швидкості вагонів на коліях сортувальних парків

Кількість сортувальних колій	Чисельність регулювальників
До 6	1–2
6–10	2–3
10–16	4–5
16–21	5–6
21–27	6–7

Однак на сьогодні склалися умови, коли потужність сортувальних гірок не відповідає обсягам вагонопотоків, що на них переробляються. У зв'язку з цим темп розформування-формування поїздів може бути знижений, а відповідно потенційно можуть бути й зменшені норми, вказані в табл. 2.1.

## 2.2 Стан безпеки сортувального процесу на сортувальних гірках

Дослідження щорічних «Аналізів стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці» за період з 2006 по 2015 рік [1–10] свідчить про те, що для сортувального процесу характерною є значна кількість порушень безпеки руху. За цей період на сортувальних гірках трапилося 57 транспортних подій. Основна кількість цих порушень припадає на господарство перевезень, є результатом неправильного гальмування вагонів та пов'язується з «людським» фактором. На рис. 2.1 наведено динаміку кількості працівників (загальної кількості й пов'язаних з гірковими процесами), причетних до транспортних подій по господарству перевезень. Аналіз вказаної залежності показує, що на розформування-формування поїздів на сортувальних гірках щорічно припадає від 20 % до 30 % транспортних подій по господарству перевезень.

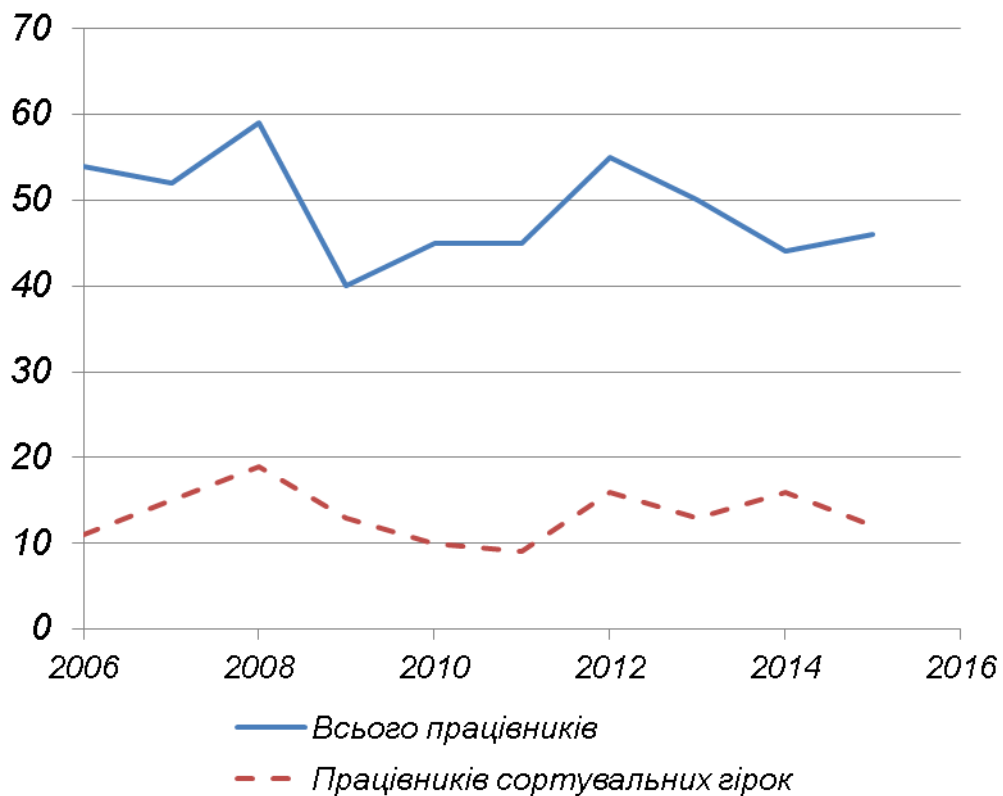


Рисунок 2.1 – Динаміка кількості працівників, причетних до транспортних подій по господарству перевезень

Додаткове навантаження на оперативний персонал викликає незадовільний технічний стан гіркових пристроїв, насамперед гальмових уповільнювачів. Зокрема, кожен четвертий уповільнювач на залізницях України не забезпечує нормативного натиснення шин на колеса. Так, недостатня ефективність гальмування вагонних уповільнювачів на сортувальній гірці ст. Нижньодніпровськ-Вузол у лютому 2014 року призвела до зіткнення вагонів на парковій колії з падінням 17-метрової прогонової конструкції пішохідного моста. Особливі загрози наявні в разі виникнення транспортних подій з вагонами, що перевозять небезпечні вантажі. У 2015 році на станції Коростень при прямуванні з гірки відчепа із 8 вагонів сталося сходження одного візка вагона з дизельним паливом (клас 3). Транспортні події, що відбувалися на сортувальних гірках у 2006-2015 році, класифікувалися як інциденти.

На залізницях Російської Федерації, що мають близьке до вітчизняних залізниць технічне забезпечення та технологію роботи, під час розформування составів сталося декілька випадків з більш тяжкими наслідками. Так, 22.10.2011 під час розпуску состава на станції Анісовка Приволжської залізниці регулювальник швидкості вагонів вийшов із запізненням до гальмування відчепа, переходив колію у невстановленому місці, спіткнувся об рейку, впав та був смертельно травмований відчепом. На станції Коршуниха-Ангарська Східно-Сибірської залізниці 10.12.2011 відбулася зміна маршруту прямування відчепа, про що не були попереджені регулювальники швидкості вагонів. Регулювальник побіг за відчепом і поклав рукою башмак під останній візок вагона. У результаті отримав травму руки з ампутацією трьох пальців.

На станції Горький Сортувальний Горьківської залізниці 28.05.2015 під час розпуску була пошкоджена цистерна з бензином. У результаті пожежі згоріли 4 цистерни з бензином, додатково було пошкоджено 10 вагонів, колія та адміністративна будівля. Загальна площа пожежі склала 500 м<sup>2</sup>.

Таким чином, завдання підвищення безпеки процесу розформування-формування поїздів є актуальним для залізничного транспорту. При цьому важливим є дослідження ризиків, що притаманні цьому процесу.

### **2.3 Вимоги безпеки до регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках**

Нормування показників безпеки для сортувальних гірок може бути виконано з використанням методів менеджменту ризику. Менеджмент ризику – це системне застосування політики, процедур і методів керування до завдань визначення ситуації, ідентифікації, аналізу, оцінки, обробки, моніторингу ризику та обміну інформацією, що стосується ризику, для забезпечення зниження втрат і збільшення рентабельності.

Поєднання двох умов – можливості появи небажаної події і сприйнятливості об'єкта до її впливу – є достатньою підставою для визнання

факту існування ризику. Під час сортувального процесу на залізничному транспорті можуть виникати загрози інфраструктурі залізниць, рухомому складу, вантажам, персоналу, а у випадку перевезення небезпечних вантажів – і суспільству та навколишньому середовищу. У зв'язку з цим процес функціонування сортувальних гірок пов'язаний з ризиками.

Для сучасних умов експлуатації залізничного транспорту характерною особливістю є суттєвий спад обсягів перевезень порівняно з тими, для яких була побудована залізнична інфраструктура. У цих умовах подальший ланцюг подій може призвести до стрибкоподібного погіршення стану безпеки руху [55]:

- зменшення капітальних витрат, а також витрат на утримання технічних засобів для забезпечення збереження величини прибутку в умовах зменшення обсягів перевезень;

- підвищення навантаження на персонал у зв'язку з об'єктивним зростанням зносу основних фондів інфраструктури; при цьому в умовах кризи чисельність персоналу залишається або постійною, або навіть зменшується з метою скорочення експлуатаційних витрат;

- підвищення кількості помилок, що допускаються персоналом під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту технічних засобів;

- збільшення експлуатаційних витрат у зв'язку з необхідністю ліквідації наслідків транспортних подій та оплатою штрафних санкцій.

В умовах коли переважна частина технічних засобів сортувальних гірок утримується в стані параметричної несправності, що вимагає ремонту в плановому порядку, а штат гіркового персоналу є не укомплектованим, традиційна для залізничного транспорту система оцінки ризиків для безпеки руху, що ґрунтується на формуванні вимог до окремих об'єктів інфраструктури та елементів перевізного процесу, є недієздатною. У зв'язку з цим для функціонування в існуючих умовах необхідним є перехід до аналізу ризиків, виходячи з вимог щодо якості послуги з перевезення вантажів. Формування підходів до забезпечення безпеки сортувального процесу в цих

умовах є метою аналізу ризиків. У межах цього дослідження аналізуються ризики, пов'язані з управлінням швидкістю скочування відчепів.

На етапі ідентифікації ризику визначається перелік несприятливих подій, прояв яких, по-перше, є реальним, по-друге, вони здатні погіршити якість навколишнього середовища й нанести шкоду людині або об'єктам інфраструктури та рухомого складу.

Порівняно з іншими процесами, що відбуваються на залізничному транспорті, відмітною рисою процесу розформування-формування составів на сортувальних гірках є скочування відчепів. У процесі переміщення великих мас, що на значній частині маршруту є не контрольованим, можуть виникати різноманітні небезпечні ситуації, які можна згрупувати за джерелами та об'єктами ризику.

Основними джерелами ризику на сортувальних гірках є рухомий склад та вантажі, що перевозяться залізницею. Основними об'єктами ризику, характерними для сортувальних гірок, є регулювальники швидкості скочування вагонів, що працюють у небезпечній зоні (індивідуальний ризик), інфраструктура сортувальних гірок, рухомий склад та вантажі, що в ньому перевозяться (технічний ризик). На сортувальних гірках також наявний економічний ризик, пов'язаний з підвищенням собівартості сортувального процесу при нераціональному його виконанні.

Небажаними подіями, які можуть статися під час розпуску состава, є:

- наїзд вагонів на регулювальника швидкості руху;
- пошкодження вагонів та вантажів при підході одних вагонів до інших;
- пошкодження уповільнювачів;
- сходи вагонів під час гальмування уповільнювачами;
- пошкодження коліс вагонів під час башмачного гальмування;
- додаткові маневрові роботи під час прямування відчепів на колії, що не передбачені планом розпуску.

Аналіз гіркових процесів дозволяє визначити причини виникнення порушення безпеки руху на сортувальних гірках. Типові рівні виникнення небажаних подій наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Типові рівні виникнення подій

Рівень частоти	Частота подій
Часті	$f > 10^{-3}$
Імовірні	$5 \times 10^{-4} \leq f < 10^{-3}$
Випадкові	$10^{-4} \leq f < 5 \times 10^{-4}$
Рідкісні	$10^{-5} \leq f < 10^{-4}$
Вкрай рідкісні	$10^{-6} \leq f < 10^{-5}$
Малоймовірні	$f < 10^{-6}$

Перевищення встановленої швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях може виникати через помилки при виборі режиму гальмування на парковій та башмачній гальмовій позиціях; втрату гальмової потужності уповільнювачів, спричинену низьким тиском у гальмовій магістралі або їх технічною несправністю; невідповідність товщини ободів коліс встановленим вимогам; потрапляння фарби або мастила на колеса вагонів; неспроможність регулювальника швидкості вагонів виконати додаткове гальмування. Причиною перевищення встановленої швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях може бути також нерозділення відчепа на стрілі з попереднім і спрямування його на колію, що зайнята вагонами з порушенням плану розпуску. Допустима ймовірність перевищення встановленої швидкості підходу відчепів до вагонів, що розташовані на сортувальних коліях, регламентується [50] і повинна бути меншою ніж 0,1.

Пошкодження уповільнювачів вагонами, що скочуються, виникає через перевищення встановленої швидкості входу вагонів на них. Цей вид ризику являє собою технічний ризик і зумовлюється властивостями уповільнювачів. Враховуючи те що уповільнювачі мають запас міцності, перевищення швидкості входу відчепа на уповільнювач, як правило, буде викликати виключно його передчасний знос, тому доцільно встановити рівень частоти

появи таких подій як «часті події», а ймовірність їх появи менше ніж 0,05 на рівні допустимого технічного ризику.

Пошкодження коліс вагонів під час башмачного гальмування виникає при перевищенні допустимої швидкості входу вагона на башмак, яке призводить до появи повзунів [65] і відповідно до збільшення частоти обточки колісних пар вагонів. Цей вид ризику являє собою технічний ризик, тому доцільно встановити рівень частоти появи таких подій як «часта подія», а ймовірність її появи менше ніж 0,05 на рівні допустимого технічного ризику.

Нерозділення відчепів і їх прямування на колії, що не передбачені планом розпуску, виникають через помилки гіркового персоналу при розробці плану розпуску состава та через втрату уповільнювачами гальмової потужності при регулюванні швидкості скочування окремих відчепів. Результатом нерозділення відчепів, як правило, є економічний ризик, пов'язаний з додатковими витратами на виконання маневрової роботи. Принципово можливим є також виникнення технічного ризику пошкодження вагонів та вантажів через перевищення встановленої швидкості співударення, а в окремих випадках і загрози для регулювальників швидкості вагонів. Згідно з [51] значення нерозділення відчепів може бути прийняте на рівні менше 0,005.

Нерозділення відчепів на гальмових позиціях може викликати підвищене навантаження на регулювальників, поспіх та помилки під час прийняття рішень. Наїзд вагонів на регулювальників може мати летальні наслідки або спричинити тяжке травмування. Згідно з міжнародною домовленістю максимально прийнятним рівнем індивідуального ризику є  $10^{-6}$  смертельних випадків на рік. Враховуючи відносно невелику кількість регулювальників швидкості вагонів та значну кількість відчепів, які кожен з них обслуговує протягом року, повинні бути створені такі умови, коли нанесення травм вагонами регулювальникам із технологічних причин виключаються. Як допустиму ймовірність нерозділення відчепів на

башмачних гальмових позиціях при плануванні розпуску состава пропонується прийняти  $f < 5 \times 10^{-3}$  (імовірні події). Подальше дотримання прийняттого рівня індивідуального ризику повинно забезпечуватися на етапі управління розформуванням состава.

Основними факторами, які впливають на частоту порушень вимог безпеки руху під час розформування составів поїздів на сортувальних гірках, є:

- інтенсивність надходження вагонів у обслуговування різноманітними пристроями та регулювальниками швидкості вагонів, яка визначається швидкістю розпуску та режимами роботи гальмових позицій;

- достовірність інформації про ходові характеристики відчепів та гальмовий опір уповільнювачів для них; обов'язкове використання уповільнювачів першої гальмової позиції для регулювання швидкості відчепів дозволить експериментально оцінити їх вплив на вагони.

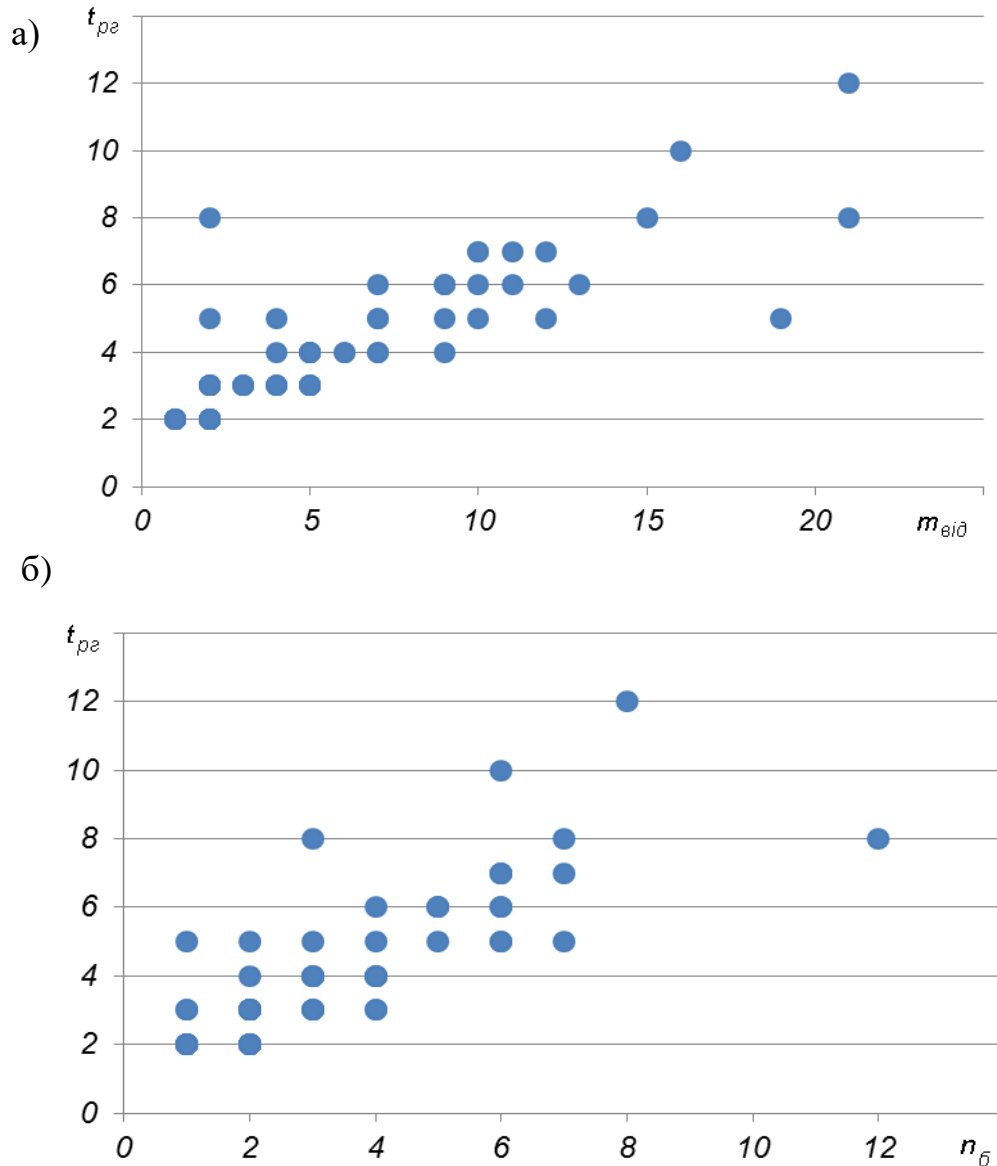
Вивчення процесів гальмування відчепів здійснювалося на станціях Клепарів та Львів. У ході дослідження вивчалася вторинна та первинна інформація [52]. Як джерела вторинної інформації використано дані фотографії робочого часу регулювальників швидкості вагонів. Для отримання первинної інформації виконано спостереження за процесом регулювання швидкості відчепів.

Аналіз форм фотографій робочого часу показав, що в них зафіксовані операції, які виконували регулювальники, їх параметри, момент початку операції та тривалість її виконання. Так, для операції регулювання швидкості відчепів зафіксовано кількість вагонів у відчепі  $m_{\text{від}}$ , кількість укладених башмаків  $n_6$  та тривалість операції регулювання швидкості  $t_{\text{рг}}$  у хвиликах.

Зокрема, фотографія робочого часу регулювальника на станції Клепарів була складена 05.10.2012 у період з 8 до 20 години. Температура повітря при цьому складала 14-19 °С, швидкість вітру 2-3 м/с, опадів не було. У процесі спостереження було виконано регулювання швидкості 75 відчепів. Середня кількість вагонів у відчепі складає 5,5. Середня кількість башмаків,

що укладаються під відчеп, – 3,2. У цілому погодні умови та світлий час доби були сприятливими для роботи регулювальника швидкості вагонів.

Поля точок, що демонструють зв'язки між величинами  $t_{рг}$  і  $m_{від}$  та  $t_{рг}$  і  $n_б$ , наведено на рис. 2.2, а та рис. 2.2, б відповідно. У цілому аналіз полів точок (див. рис. 2.2) показує, що наявний значний розкид тривалості гальмування.



а – кількість вагонів у відчепі; б – кількість гальмових башмаків

Рисунок 2.2 – Поля точок, що характеризують зв'язок тривалості регулювання швидкості відчепа з параметрами:

Також аналіз фотографій робочого часу свідчить про те, що в наведеній формі фотографії робочого часу фактично зафіксовано лише початок гальмування відчепа, а тривалість гальмування визначалась як різниця між моментами часу початку даної та наступної операції. При цьому до тривалості операції враховано як безпосередньо тривалість регулювання швидкості відчепа, так і тривалість очікування регулювальником відцепів у періоди, коли вони скочуються на інші групи колій парку. Тому методи оцінки робочого часу регулювальників швидкості вагонів, що використовуються на залізницях України, вимагають удосконалення.

Для оцінки умов роботи персоналу на башмачних гальмових позиціях виконано пряме спостереження за роботою регулювальників швидкості руху вагонів. У переважній кількості випадків регулювальник розташовується на колії завчасно до проїзду відцепом граничного стовпчика.

У процесі руху відчепа в зоні башмачної гальмової позиції здійснюється контроль його швидкості і, як правило, регулювальник супроводжує вагони до моменту перетину ними башмакоскидача. У результаті опитування регулювальників встановлено, що в умовах відсутності точної інформації про ходові характеристики відцепів та про гальмову дію башмаків застосування пізнього гальмування відцепів дозволяє більш якісно реалізувати вимоги прицільного регулювання їх швидкості. Крім того, регулювальник не має можливості перейти на іншу колію, якщо її перетинає відцеп, що скочується. Відчепа, що входять у зону регулювання зі швидкістю, яка забезпечує виконання вимог ПТЕ [83] при підході до вагонів на сортувальних коліях, регулювальники пропускають і переходять до наступного. Випадки гальмування відцепів за межею башмакоскидача не спостерігались. Під час спостереження було зафіксовано два випадки, коли регулювальник не встигав зайняти позицію на сортувальній колії і вимушений був бігти до відчепа, три випадки переходу регулювальників на незакріплені за ними суміжні колії для надання допомоги, сім випадків

зупинки відчепів у зоні башмачної гальмової позиції та перекриття ними проходів між коліями для регулювальників.

У процесі роботи регулювальника швидкості руху вагонів на нього діє велика кількість небезпечних та шкідливих дестабілізуючих факторів, а саме:

- рухомий склад, транспортні засоби, пристрої та механізми;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена вологість і рухливість повітря;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищений рівень статичної електрики;
- недостатня освітленість робочої зони в темний час доби;
- фізичні перевантаження.

Збільшення кількості колій, які обслуговує регулювальник, викликає необхідність більш інтенсивного пересування в небезпечній зоні і, як наслідок, зростання частоти появи таких небезпечних ситуацій, як його падіння на колію, наїзд рухомого складу, неправильна оцінка ходових властивостей відчепа, залишення відчепа без гальмування. Аналіз вимог Інструкції регулювальника швидкості руху вагонів [38], Інструкцій з охорони праці для регулювальника швидкості руху вагонів по станціях Львів та Клепарів, посібника [54], а також Інструкції з охорони праці для регулювальника швидкості руху вагонів ВАТ «Російські залізниці» [39] показує, що вони не містять вимог щодо безпечної відстані проходу перед відчепами, що рухаються.

Надалі зоною регулювання швидкості відчепа будемо називати ділянку довжиною 25 м від башмакоскидача в бік гірки. Довжина цієї зони відповідає мінімальній відстані до граничного стовпчика, захрестовинної кривої чи уповільнювача паркової гальмової позиції. У нормальних умовах за час руху відчепа по цій зоні регулювальнику має бути достатньо часу для оцінки

ходових властивостей відчепа та зниження його швидкості до прийнятної величини. Зоною гальмування будемо називати ділянку довжиною 20 м від башмакоскидача в бік вершини гірки. Укладання під вагони башмаків здійснюється в зоні гальмування. При цьому довжина юзу не призводить до утворення повзунів на колесах. Ділянку в межах зони регулювання, де відчеп може скочуватися з гальмуванням механізованою гальмовою позицією (спускної частини гірки або парковою), будемо називати зоною регульованого скочування.

При нормуванні штатної чисельності регулювальників швидкості вагонів та при визначенні переробної спроможності сортувальних гірок прийнято таке:

- регулювальник повинен розташовуватися на колії гальмування завчасно до входу відчепа у зону регулювання;
- одночасне гальмування відчепа механізованою парковою гальмовою позицією та башмаками не виконується;
- закінченням регулювання швидкості відчепа є момент перетину його останньою віссю башмакоскидача;
- розподіл регулювальників по коліях здійснюється старшим регулювальником завчасно до початку розпуску й не змінюється під час його виконання.

У цих умовах тривалість регулювання швидкості відчепа залежить від середньої швидкості його руху в зоні регулювання, а також від відстані проходу між коліями.

Розрахункові схеми для визначення тривалості зайнятості регулювальника гальмуванням відчепа показано на рис. 2.3, а та рис. 2.3, б.

У випадку коли на відчеп, який входить у зону гальмування, не діє механізована гальмова позиція ( $l_{зр} > l_r + l_p$ ), тривалість його гальмування може бути визначена за формулою

$$t_{рг} = \tau_{вхг} - \tau_{вх} + \frac{l_{пр}}{v_{пр}} + \frac{2(l_r + l_{об})}{v_{вхг} + v_{вихг}},$$

де  $\tau_{\text{вхг}}$ ,  $\tau_{\text{вх}}$ ,  $\tau_{\text{вихг}}$  – відповідно моменти входу відчепа в зони гальмування та регулювання швидкості і виходу відчепа із башмакоскидача;

$l_{\text{пр}}$ ,  $v_{\text{пр}}$  – відповідно відстань та середня швидкість проходу регулювальника між коліями (для першого відчепа состава  $l_{\text{пр}} = 0$ );

$v_{\text{вхг}}$ ,  $v_{\text{вихг}}$  – відповідно швидкість відчепа в момент входу його першої осі в зону гальмування та в момент перетину його останньою віссю башмакоскидача.

Коли на відчеп, який входить у зону гальмування, продовжує діяти механізована гальмова позиція ( $l_{\text{зр}} < l_{\text{г}} + l_{\text{р}}$ ), тривалість його гальмування може бути визначена за формулою

$$t_{\text{рг}} = \tau_{\text{виху}} - \tau_{\text{вх}} + \frac{l_{\text{пр}}}{v_{\text{пр}}} + \frac{2(l_{\text{зр}} + l_{\text{бв}} - l_{\text{р}})}{v_{\text{виху}} + v_{\text{вихг}}},$$

де  $\tau_{\text{виху}}$  – момент виходу відчепа з уповільнювача;

$v_{\text{виху}}$  – швидкість відчепа в момент виходу його останньої осі з уповільнювача.

У випадку коли швидкість входу відчепа в зону регулювання є такою, що забезпечує допустиму швидкість його підходу до вагонів на сортувальній колії, регулювальник витрачає час лише на оцінку швидкості відчепа:

$$t_{\text{рг}} = \frac{l_{\text{пр}}}{v_{\text{пр}}} + t_{\text{ош}},$$

де  $t_{\text{ош}}$  – витрати часу на оцінку швидкості відчепа.

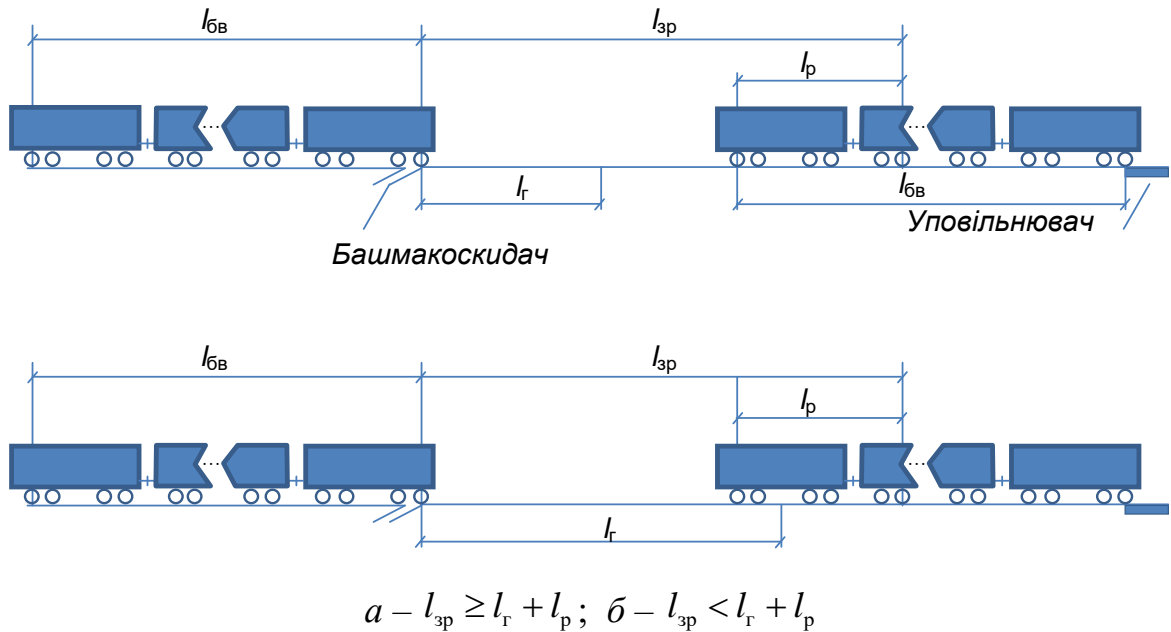


Рисунок 2.3 – Розрахункові схеми для визначення тривалості зайнятості регулювальника гальмуванням відчепа

Як приклад на рис. 2.4 наведено залежності тривалості регулювання швидкості скочування відчепів для немеханізованої сортувальної гірки від довжини відчепа для різних швидкостей його входу в зону регулювання за умови, що відчеп складається з вагонів масою брутто 85 т, а швидкість виходу відчепа з башмачної гальмової позиції повинна складати 1 м/с.

Для оцінки впливу процесу башмачного регулювання швидкості відчепів на режими гальмування відчепів гальмовими позиціями спускної частини гірки можуть використовуватися діаграми допустимих режимів гальмування.

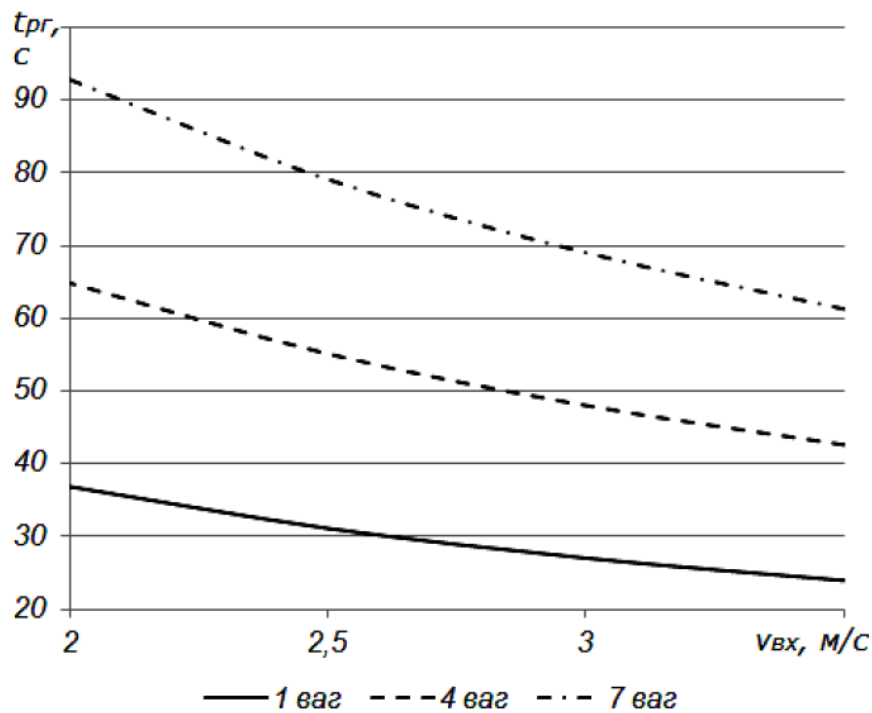


Рисунок 2.4 – Залежності тривалості регулювання швидкості відчепа від швидкості його входу в зону регулювання

Як приклад розглянута розрахункова група з п'яти відчепів на трипозиційній сортувальній гірці на 32 колії з механізованими гальмовими позиціями на спускній частині. Керованим відчепом у цій групі є третій відчеп. За рахунок вибору режимів гальмування для цього відчепа повинні бути забезпечені вимоги щодо допустимих швидкостей руху по спускній частині гірки та створені достатні інтервали для його розділення з другим та четвертим відчепами, відповідно на 2-й та 4-й стрілках по маршруту скочування і першим та п'ятим відчепами на парковій гальмовій позиції. Скочування першого та другого відчепів здійснюється у швидкому режимі, а четвертого та п'ятого – у повільному [22].

ОДР відчепа, що складається з трьох піввагонів важкої вагової категорії, при скочуванні з гірки з немеханізованою ПГП наведено на рис. 2.5. Швидкість розпуску состава при цьому була рівною 1,4 м/с.

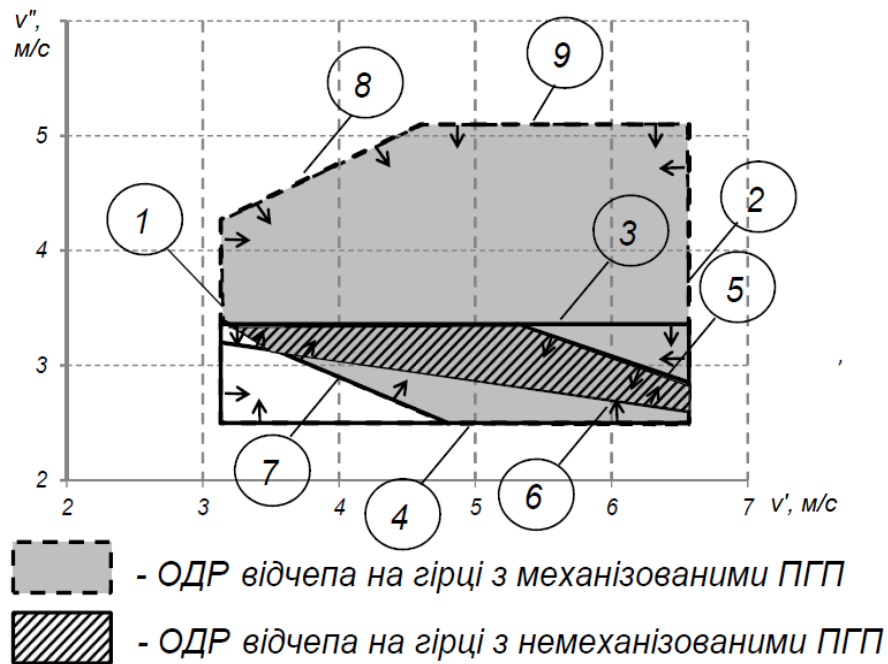


Рисунок 2.5 – Области допустимих режимів гальмування відчепа на сортувальній гірці з механізованими та немеханізованими ПГП

У процесі вибору цих швидкостей існують певні обмеження:

- 1 – за потужністю першої гальмової позиції;
- 2 – за допустимою швидкістю входу відчепа на уповільнювач другої гальмової позиції;
- 3 – за допустимою швидкістю входу відчепа на башмак;
- 4 – за умовою звільнення відчепом башмачної гальмової позиції;
- 5 – за умовою розділення першого та другого відчепів на башмачній гальмовій позиції;
- 6 – за умовою розділення другого та третього відчепів на башмачній гальмовій позиції;
- 7 – за умовою звільнення розділової стрілки перед наступним відчепом;
- 8 – за величиною прискорення на ділянці профілю між першою та другою гальмовими позиціями.

Для порівняння на рис 2.5 наведено ОДР того самого відчепа на гірці з механізованими гальмовими позиціями. При цьому обмеження 9 пов'язано з потужністю ПГП. Аналіз наведених областей показує, що ОДР відчепа на гірках з немеханізованими ПГП є суттєво меншою, ніж ОДР відчепів на гірках з механізованим ПГП. Це пов'язано з тим, що допустима швидкість

входу відчепів на гальмовий башмак становить 3,5 м/с (див. обмеження 3); у той час як допустима швидкість входу відчепа на уповільнювач типу РНЗ-2, який використовується на паркових гальмових позиціях, становить 6,5 м/с (див. обмеження 9). У зв'язку з необхідністю забезпечення допустимої швидкості входу на гальмові башмаки паркової гальмової позиції на спускній частині гірки гальмуванню підлягають практично всі вагони, навіть з поганими ходовими характеристиками.

Башмачні гальмові позиції на сортувальних коліях є додатковими елементами немеханізованих сортувальних гірок, де необхідно виконувати перевірку умов розділення відчепів. Це викликає появу нових обмежень 5 та 6, що є нехарактерними для гірок з механізованими ПГП.

Основними чинниками, які впливають на ймовірність розділення відчепів на розділових елементах згідно з (1.5) є математичні сподівання та дисперсії часу скочування відчепів до їх входу та виходу розділових елементів.

Величину дисперсії часу скочування відчепів з вагонів важкої вагової категорії від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Дисперсії випадкової величини часу скочування відчепів

Розділовий елемент	1 вагон				3 вагони			
	Швидкий режим		Повільний режим		Швидкий режим		Повільний режим	
	$D[t]$	$D[\tau]$	$D[t]$	$D[\tau]$	$D[t]$	$D[\tau]$	$D[t]$	$D[\tau]$
Стрілочний перевід 1	0,003	0,001	0,003	0,001	0,011	0,003	0,011	0,003
ГП1	0,001	0,013	0,001	0,059	0,003	0,017	0,003	0,039
Стрілочний перевід 2	0,023	0,076	0,145	0,628	0,043	0,080	0,226	0,586
ГП2	0,121	0,326	0,991	2,163	0,135	0,339	1,078	2,458
Стрілочний перевід 3	0,241	0,624	1,755	3,290	0,336	0,578	2,436	3,650
Стрілочний перевід 4	0,701	1,928	3,563	7,659	1,050	2,594	5,562	11,137
Стрілочний перевід 5	4,414	7,298	15,354	23,871	2,724	8,889	11,583	31,115
ПГП	12,095	16,883	37,611	48,076	8,901	19,888	31,149	55,284

Аналіз отриманих результатів показує, що дисперсія часу скочування відчепів до моментів заняття та звільнення паркової гальмової позиції є більшою, ніж для інших розділових елементів. Це пов'язано з тим, що відстань скочування для цього елемента є більшою, а середній час руху відчепа є меншим. Також необхідно зауважити, що зі збільшенням кількості вагонів у відчепі зменшується дисперсія часу руху відчепа до моменту заняття розділових елементів. Це пояснюється тим, що зі збільшенням кількості вагонів у відчепі зменшується середнє квадратичне відхилення його маси та основного питомого опору. Водночас зі збільшенням кількості вагонів у відчепі збільшується дисперсія часу виходу відчепа з розділових елементів, що пов'язано зі збільшенням довжини маршруту скочування.

Для оцінки впливу кількості вагонів у керованому  $i$ -му відчепі на умови розділення вагонів на паркових гальмових позиціях виконано аналіз величини розділових інтервалів у розділових парах  $j$ -го та  $i$ -го відчепів, а також  $i$ -го та  $k$ -го відчепів

$$\begin{aligned}\delta t_{\text{п}}(\mathbf{v}_i) &= \theta_{j,i-1} + \theta_{i-1,i} + t_i(\mathbf{v}_i) - \tau_j, \\ \delta t_{\text{н}}(\mathbf{v}_i) &= \theta_{i+1,k} + \theta_{i,i+1} + t_k - \tau_i(\mathbf{v}_i),\end{aligned}$$

де  $\theta_{i-1,i}$ ,  $\theta_{i,i+1}$  – початкові інтервали на вершині гірки відповідно з попереднім та наступним відчепами;

$\theta_{j,i-1}$ ,  $\theta_{i+1,k}$  – загальна величина початкових інтервалів між  $j$  та  $i-1$  відчепами і між  $i+1$  та  $k$  відчепами.

$t_i(\mathbf{v}_i)$ ,  $\tau_i(\mathbf{v}_i)$  – відповідно час скочування  $i$ -го відчепа від моменту відриву на вершині гірки до моментів входу на башмачну ПГП та виходу з неї залежно від режиму гальмування  $\mathbf{v}$ .

Необхідно зауважити, що значення величин  $\theta_{j,i-1}$ ,  $\theta_{i+1,k}$  не залежить від кількості вагонів у  $i$ -му відчепі.

Величина інтервалів з попереднім та наступними відчепами на вершині гірки визначається виразами

$$\theta_{i-1,i} = (l_{i-1} - s_{\text{в},i-1} + s_{\text{в},i}) / v_{\text{п}}, \quad (2.1)$$

$$\theta_{i-1,i} = (l_i - s_{B,i} + s_{B,i+1}) / v_p. \quad (2.2)$$

де  $l_{i-1}, l_i$  – відповідно довжина  $i-1$  та  $i$  відчепів;

$s_{B,i-1}, s_{B,i}, s_{B,i+1}$  – відповідно точки відриву  $i-1, i$  та  $i+1$  відчепів;

$v_p$  – швидкість розпуску.

Кількість вагонів у відчепі  $m_B$  впливає на параметри  $l_i$  та  $s_{B,i}$ . Тому вирази (2.1) та (2.2) можуть бути записані як

$$\theta_{i-1,i} = \theta_{\Pi} + \frac{s_{B,i}}{v_p},$$

$$\theta_{i-1,i} = l_i \frac{1 - a_B}{v_p} + \theta_{\Pi},$$

де  $\theta_{\Pi} = (l_{i-1} - s_{B,i-1}) / v_p$  та  $\theta_{\Pi} = s_{B,i+1} / v_p$  не залежать від кількості вагонів у керованому відчепі.

Залежність  $s_{B,i}(m_{B,i})$  є нелінійною. Приклад такої залежності наведено на рис. 2.6.

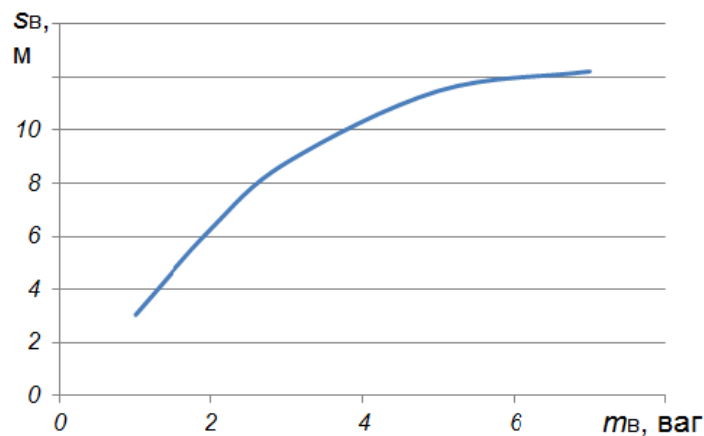


Рисунок 2.6 – Залежність відстані відриву відчепа від кількості вагонів у ньому

На рисунку 2.7 наведено залежність величини  $a_B = s_{B,i} / l_i$  від кількості вагонів у відчепі.

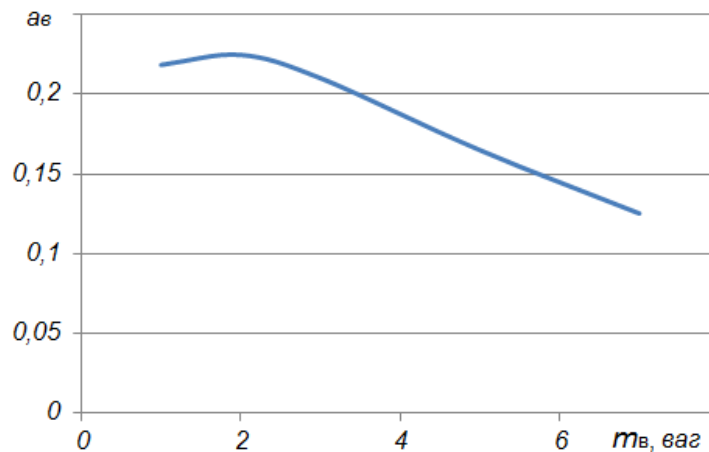


Рисунок 2.7 – Залежність величини  $a_B = s_{B,i} / l_i$  від кількості вагонів у відчепі

Для визначення впливу кількості вагонів у відчепі на тривалість скочування відчепа до моменту його входу на паркову гальмову позицію та виходу з неї виконано серію експериментів з імітаційною моделлю скочування. На рис. 2.8, а та б зображено вказані залежності для відчепів із вагонів важкої вагової категорії

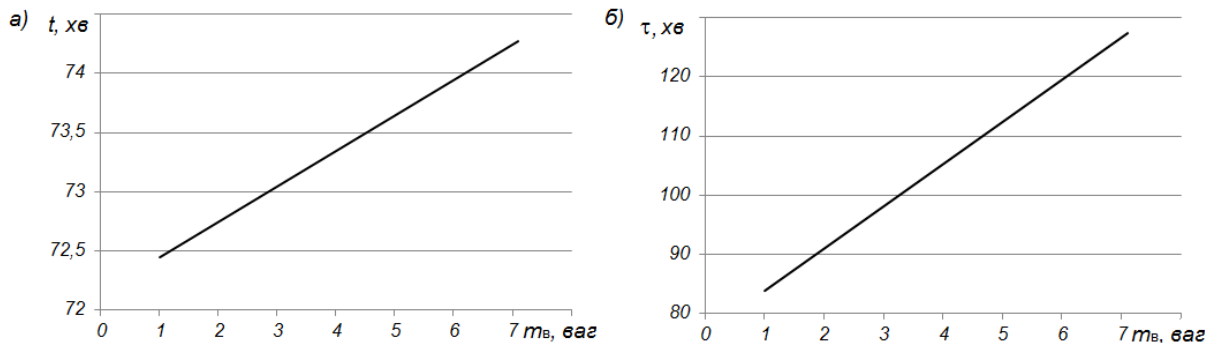


Рисунок 2.8 – Залежність часу скочування відчепа від його довжини до моменту входу на ПГП (а) та виходу з ПГП (б)

Позначимо

$$t_i = t_{\text{ск1}} + \Delta_D m_{B,i},$$

де  $t_{\text{ск1}}$  – час скочування одно вагонного відчепа від вершини гірки до входу на ПГП;

$\Delta_D$  – додатковий час скочування відчепа від вершини гірки до входу на ПГП, що припадає на один вагон.

Час виходу відчепа з ПГП може бути визначено за виразом

$$\tau_i = t_i + t_{\text{ПП}} = t_{\text{СК1}} + \Delta_{\text{д}} m_{\text{в}} + \frac{l_{\text{ПП}}}{\bar{v}_{\text{ПП}}} + \frac{l_i}{\bar{v}_{\text{ПП}}},$$

де  $l_{\text{ПП}}$  – довжина паркової гальмової позиції;

$\bar{v}_{\text{ПП}}$  – середня швидкість руху відчепа парковою гальмовою позицією.

У результаті інтервал на ППП між відчепами в першій парі буде становити

$$\delta t_{\text{п}}(\mathbf{v}_i) = \theta_{j,i-1} + \theta_{\text{п}} + \frac{s_{\text{в},i}}{v_{\text{р}}} + t_{\text{СК1}} + \Delta_{\text{д}} m_{\text{в},i} - \tau_j.$$

Враховуючи, що кількість вагонів у керованому відчепі не впливає на величини  $\theta_{j,i-1}, \theta_{\text{п}}, t_{\text{СК1}}, \tau_j$ , то збільшення кількості вагонів у відчепі призводить до збільшення величини математичного сподівання інтервалу на ППП з попереднім відчепом на величину, що становить

$$\Delta_{\text{п}} = \frac{s_{\text{в},i}}{v_{\text{р}}} + \Delta_{\text{д}} m_{\text{в},i}.$$

Інтервал на ППП між відчепами у другій парі буде становити

$$\delta t_{\text{н}}(\mathbf{v}_i) = \theta_{i+1,k} + l_i \frac{1-a_{\text{в}}}{v_{\text{р}}} + \theta_{\text{н}} + t_k - t_{\text{СК1}} - \Delta_{\text{д}} m_{\text{в}} - \frac{l_{\text{ПП}}}{\bar{v}_{\text{ПП}}} - \frac{l_i}{\bar{v}_{\text{ПП}}}.$$

Враховуючи, що кількість вагонів у керованому відчепі не впливає на величини  $\theta_{i+1,k}, \theta_{\text{н}}, t_k, t_{\text{СК1}}, \frac{l_{\text{ПП}}}{\bar{v}_{\text{ПП}}}$ , то збільшення кількості вагонів у відчепі призводить до зміни величини математичного сподівання інтервалу на ППП з наступним відчепом на величину, що становить

$$\Delta_{\text{н}} = l_i \left( \frac{1-a_{\text{в}}}{v_{\text{р}}} - \frac{1}{\bar{v}_{\text{ПП}}} \right) - \Delta_{\text{д}} m_{\text{в}}.$$

Зважаючи на те що середня швидкість проходу відчепом паркової гальмової позиції становить 2-2,5 м/с, у той час як середня швидкість руху по спускній частині гірки дорівнює 4-5 м/с [26], збільшення кількості вагонів у відчепі не призводить до суттєвого поліпшення умов розділення відцепів на

ППП, як це спостерігається при розділенні відчепів на розділових елементах спускної частини гірки.

Через значну тривалість регулювання швидкості відчепу порівняно із заняттям стрілок та уповільнювачів обмеження за розділенням на башмачних гальмових позиціях є більш жорсткими, ніж обмеження на спускній частині гірки. У зв'язку з цим, визначаючи потрібний штат регулювальників, необхідно виконувати перевірку переробної спроможності гірок. Перевірка може здійснюватися як із застосуванням методів імітаційного моделювання, так і на основі натурних спостережень, суміщених з аналітичними розрахунками. У разі застосування останнього методу обов'язковим є встановлення підвищених вимог до дотримання безпеки сортувального процесу. Резерви часу, які при цьому утворюються, необхідні для парирування небезпечних ситуацій, які не траплялися під час спостереження, але можуть спостерігатися в роботі гірки.

Для аналізу впливу умов зовнішнього середовища на конфігурацію ОДР виконано моделювання скочування відчепів у сприятливих та несприятливих умовах зовнішнього середовища [26] (див. рис. 2.9). Результати аналізу показують, що параметри зовнішнього середовища несуттєво впливають на конфігурацію ОДР відчепів при скочуванні на гірках з немеханізованими ППП.

Відсутність суттєвого впливу параметрів зовнішнього середовища на конфігурацію ОДР відчепа пояснюється тим, що швидкість його руху визначається переважно гальмовими позиціями спускної частини гірки.

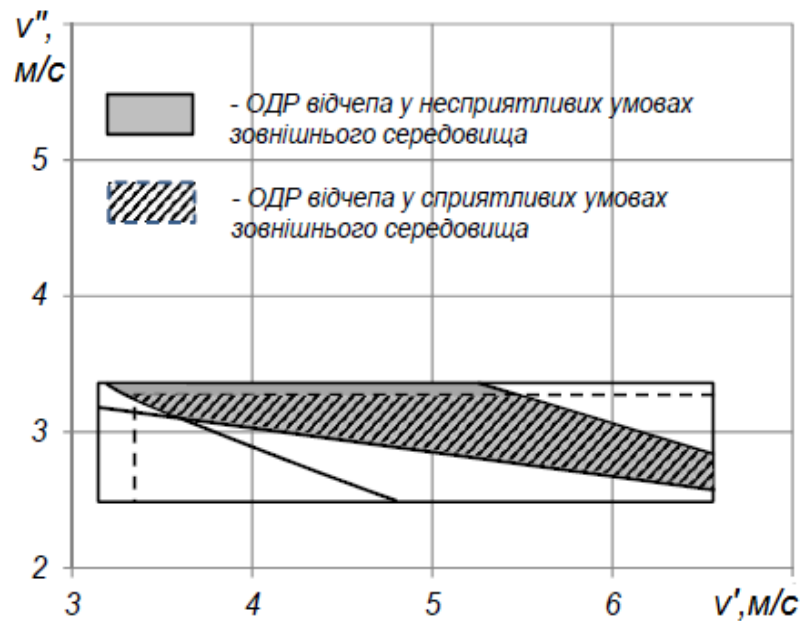


Рисунок 2.9 – Области допустимих режимів гальмування відчепа на сортувальній гірці з немеханізованими ППП у сприятливих та несприятливих умовах зовнішнього середовища

## Висновки по розділу 2

Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Сортувальна гірка являє собою складний інфраструктурний та технологічний комплекс, у ході експлуатації якого взаємодіють залізнична колія, системи автоматики, телемеханіки та зв'язку, маневрові локомотиви, вагони, вантажі, виробничий персонал, що ускладнює проблему забезпечення безпеки руху. Основними об'єктами ризику на сортувальних гірках є регулювальники швидкості скочування вагонів, що працюють у небезпечній зоні (індивідуальний ризик), інфраструктура сортувальних гірок, рухомий склад та вантажі, що в ньому перевозяться (технічний ризик), та збільшення витрат на сортувальний процес (економічний ризик). У рамках дослідження визначено основні причини виникнення порушення вимог з безпеки руху на сортувальних гірках та допустимі рівні ризику.

2. Тривалість зайнятості регулювальника гальмуванням відчепа на сортувальній колії залежить від довжини відчепа, швидкості його входу в зону регулювання та заданої швидкості виходу з неї і не залежить від

кількості гальмових башмаків, що укладаються під вагони. Розроблено формули для розрахунку тривалості даної операції.

3. Башмачні гальмові позиції на сортувальних коліях є додатковими елементами для немеханізованих гірок, на яких необхідно виконувати перевірку умов розділення відчепів. Перевірка може здійснюватися як із застосуванням методів імітаційного моделювання, так і на основі натурних спостережень, суміщених з аналітичними розрахунками.

### **РОЗДІЛ 3.**

## **УПРАВЛІННЯ РОЗПУСКОМ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ПАРКОВИМИ ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ**

Вибір режимів гальмування окремих відчепів на сортувальних гірках являє собою складну багатофакторну задачу, у результаті розв'язання якої повинні бути забезпечені вимоги як прицільного, так і інтервального регулювання швидкості скочування вагонів. Характерними умовами роботи сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями є, по-перше, ручне управління процесом гальмування на основі даних перевізних документів, а також візуальної оцінки ходових характеристик відчепів і умов їх скочування, що викликає похибки як на етапі визначення оптимальних режимів гальмування, так і на етапі їх реалізації; по-друге, функціонування сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями пов'язано з перебуванням людей в небезпечній зоні, що різко підвищує вимоги до безпеки сортувального процесу [27]. У зв'язку з цим для сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями значну роль відіграє етап планування розпуску, на якому повинні бути встановлені несприятливі поєднання відчепів і вжиті заходи щодо забезпечення безпечного перебігу сортувального процесу.

### **3.1 Формалізація задачі управління розпуском составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями**

У цій роботі розглядаються сортувальні гірки з механізованими гальмовими позиціями на спускній частині й немеханізованими гальмовими позиціями на сортувальних коліях. Відповідно до [16] розформування состава розглядається як багатокроковий процес, де окремим кроком є

скочування чергового відчепа. Як керовані параметри при розформуванні состава прийнято такі:

- кількість послідовних колій, які обслуговуються кожним регулювальником швидкості,  $x_r \in \mathbf{X}$ ,  $r=1..R$  (тут  $R$  – кількість регулювальників швидкості вагонів);

- кількість відцепів у групі, що розформується без перерви в розпуску,  $g_s$ ,  $s=1..S$  (тут  $S$  – кількість груп відцепів у составі);

- швидкості розпуску груп відцепів  $v_{p,s}$ ;

- швидкості виходу відцепів із гальмових позицій  $\mathbf{v}_j \in \mathbf{V}$ ,  $j=1..n$ .

Метою розв'язання задачі є мінімізація часу розформування состава  $T_p$ , що забезпечує максимальну переробну спроможність гірки

$$T_p = \sum_{s=1}^S T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}, \mathbf{X}) + (S-1)t_{\text{пер}} \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де  $T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}, \mathbf{X})$  – тривалість розпуску вагонів  $s$ -ї групи відцепів залежно від встановленого закріплення регулювальників за сортувальними коліями  $\mathbf{X}$ , швидкості їх розпуску  $v_{p,s}$  та режиму гальмування відцепів  $\mathbf{V}$ ;

$t_{\text{пер}}$  – тривалість перерви у розпуску після розформування групи відцепів.

Наведена задача має такі обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\min} \leq v_{p,s} \leq v_{\max}, \\ \delta t_{kjh}(v_{p,s}, \mathbf{V}) \geq t_{\text{pe,h}}, \\ \mathbf{v}_j \in \Omega_{\Pi j}(v_{p,s}), \\ 0 \leq x_i \leq x_{\max}, \quad i = 1..R, \\ \sum_{i=1}^R x_i = N, \\ kx_{\max} \geq N, \end{array} \right. \quad (3.2)$$

де  $v_{\min}$ ,  $v_{\max}$  – допустимі мінімальна й максимальна швидкості розпуску відповідно;

$t_{pe,h}$  – мінімальний інтервал часу між відчепами які скочуються, необхідний для їх розділення на  $h$ -му розділовому елементі;

$\delta t_{kjh}$  – розділовий інтервал між  $k$ -м та  $j$ -м відчепами на  $h$ -му розділовому елементі;

$\mathbf{v}_j$  – режим гальмування  $j$ -го відчепа;

$\Omega_{п,j}$  – область допустимих режимів гальмування  $j$ -го відчепа;

$x_{max}$  – максимальна кількість колій, яку може обслуговувати один регулювальник швидкості вагонів;

$N$  – кількість колій у сортувальному парку.

Розв'язання задачі (3.1) при обмеженнях (3.2) може бути зведено до розв'язання задач таких типів:

- оптимізація параметрів розпуску состава при фіксованому розподілі сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів;

- оптимізація розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

### **3.2 Оптимізація параметрів розпуску состава при фіксованому розподілі сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів**

У випадку коли розподіл сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів є фіксованим, цільова функція (3.1) та система обмежень (3.2) спрощуються та мають вигляд

$$T_p = \sum_{s=1}^S T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}) + (S-1)t_{пер} \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

при

$$\begin{cases} v_{\min} \leq v_{p,s} \leq v_{\max}, \\ \delta t_{kjh}(v_{p,s}, \mathbf{V}) \geq t_{pe,h}, \\ \mathbf{v}_j \in \Omega_{п,j}(v_{p,s}). \end{cases} \quad (3.4)$$

Необхідність забезпечення розділення відцепів на розділових елементах формують умови інтервального регулювання швидкості скочування відцепів. Розділовими елементами при цьому є:

- стрілочні переводи, на яких повинні бути забезпечені інтервали часу, достатні для їх переведення й формування встановлених маршрутів прямування відцепів;
- уповільнювачі механізованих гальмових позицій, на яких повинні бути забезпечені інтервали часу, достатні для їх загальмовування або розгальмування;
- регулювальники швидкості руху вагонів, для яких необхідно забезпечити час, достатній для безпечного переходу між сортувальними коліями.

У випадку коли жоден з режимів гальмування відчепа не забезпечує його розділення по маршруту скочування з попередніми, у розпуску повинна бути передбачена перерва з метою збільшення початкового інтервалу на вершині гірки.

Для ілюстрації розроблених методів розглянемо розформування состава з 25 відцепів на сортувальній гірці великої потужності з 32 коліями у підгірковому парку, фрагмент якої наведено на рис. 3.1. Параметри зазначеного состава вказано в табл. 3.1.

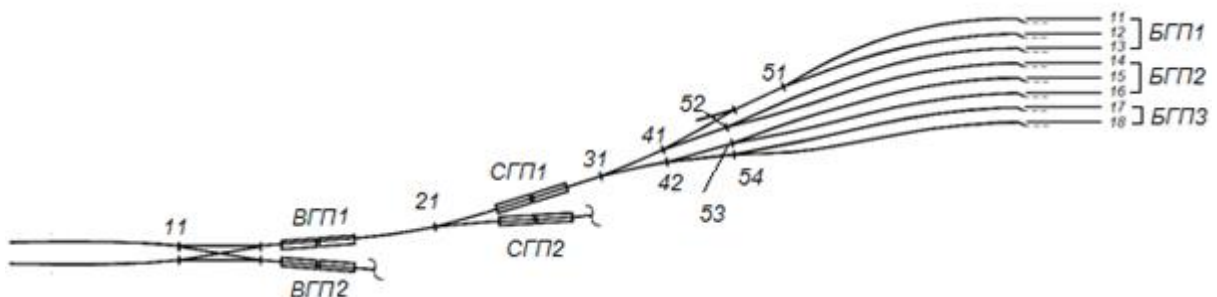


Рисунок 3.1 – Схема гіркової горловини

Таблиця 3.1 – Параметри состава, що розформовується

№ від.	№ ваг.	Тип	Вагова категорія	$l_{\text{принц, м}}$	Коля призначення	№ від.	№ ваг.	Тип	Вагова категорія	$l_{\text{принц, м}}$	Коля призначення
1	1	ПЛ	42	412	14	7	12	ЦС	77	422	13
2	2	ПВ	71	467	11	8	13	ПВ	85	504	14
	3	ПВ	71			9	14	ПЛ	79		
	4	ПВ	71				15	ПЛ	79		
3	5	ЦС	22	486	17	10	16	ПВ	30	474	17
	6	ЦС	22			11	17	ЦС	80	787	14
4	7	КР	54	504	11	12	18	ПВ	58	1085	12
	8	КР	54				19	ПВ	58		
5	9	ЦС	80	787	13	13	20	ПЛ	80	669	15
6	10	КР	65	492	18	14	21	ПВ	70	462	17
	11	КР	65			15	22	ПВ	78	1070	12

Уся множина випадків розділень відчепів на розділових елементах може бути подана у вигляді матриці розділень, форма якої наведена в табл. 3.2. Таблиця включає як первинні, так і вторинні розділення відчепів [17]. Для стрілочних переводів знаки «+» і «-» вказують напрямок проходження відчепа по ньому, відповідно вліво та вправо, а цифри вказують на попередній відчеп, з яким відбувається розділення. Для гальмових позицій знаки «+» вказують на позиції, які займає відчеп у процесі скочування, а цифри вказують на попередній відчеп, з яким наявне розділення. Виділені клітини відповідають розділовим елементам, на яких відбувається розділення відчепів. При цьому стрілочний перевід є розділовим у тому випадку, якщо при підготовці маршруту відбувається зміна його напрямку. Гальмові уповільнювачі повинні бути звільнені попереднім відчепом до входу на них наступного відчепа. Тому умови розділення на них відчепів перевіряються в усіх випадках.

Таблиця 3.2 – Матриця розділень відчепів состава

Відчеп	Коля призначення	Стрілочні переводи							Гальмові позиції				
		31	41	42	51	52	53	54	ГП1 1	ГП2 1	БГП		
											1	2	3
1	14	+	-			-						+	
2	11	+	+1		+				+1	+1	+		
3	17	-2		-				+	+2	+2			+
4	11	+3	+		+				+3	+3	+2		
5	13	+	-4			+1			+4	+4	+4		
6	18	-5		-				-3	+5	+5			+3
7	13	+6	-			+			+6	+6	+5		
8	14	+	-			-7			+7	+7		+1	
9	16	-8		+6				-	+8	+8		+8	
10	17	-		-9				+6	+9	+9			+6
11	14	+10	-			+8			+10	+10		+9	
12	12	+	+11		-4				+11	+11	+7		
13	15	-12		+10				+9	+12	+12		+11	
14	17	-		-13				+	+13	+13			+10
15	12	+14	+		-				+14	+14	+12		

Враховуючи, що параметри відчепів, умови їх скочування, а також фактичні швидкості виходу відчепів з гальмових позицій є випадковими величинами, то час скочування від моменту відриву до початку зайняття розділового елемента  $s_{kj}$   $j$ -м відчепом  $t_j(s_{kj})$ , а також час скочування від моменту відриву до моменту звільнення розділового елемента  $s_{kj}$   $k$ -м відчепом  $\tau_k(s_{kj})$  також є випадковими величинами. У результаті розділення відчепів по маршрутах скочування буде мати випадковий характер, а його імовірність може бути оцінена за допомогою виразу (1.5).

Необхідно зауважити, що для першого відчепа групи, що розформовується, безумовно, оптимальним управлінням є реалізація швидкого режиму [16], при якому тривалість зайняття відчепом маршруту скочування є мінімальною. Реалізація такого режиму забезпечує найбільший резерв часу для всіх наступних за ним відчепів. Режими гальмування відчепів з другого по  $n$ -й залежать від режимів гальмування попередніх відчепів. На етапі планування розпуску допустимими за умовами інтервального регулювання швидкості скочування відчепів будемо вважати режими, які

забезпечують розділення відчепа з усіма попередніми відчепами із заданою імовірністю. Прийнято, що допустима ймовірність нерозділення відчепів на стрілках і уповільнювачах становить не більше ніж 0,005. Якщо для деякого відчепа застосування повільного режиму гальмування не забезпечує його розділення з попередніми відчепами, то в процесі розпуску состава повинна бути передбачена перерва. При такому формулюванні задачі оцінка можливості розформування состава може виконуватися на підставі послідовного скочування відчепів, починаючи з 2-го по  $n$ -й, у максимально можливому швидкому режимі.

Аналіз областей допустимих режимів гальмування відчепів [99] свідчить про те, що пошук допустимого розв'язку здійснюється вздовж їх правої межі.

Якщо розділовий елемент розташований за другою гальмовою позицією, то пошук допустимого режиму гальмування відчепа за умовами його розділення з попередніми здійснюється в такому порядку:

Крок 1. Оцінити ймовірність  $p_{kjh}^{\text{III}}$  нерозділення  $j$ -го відчепа з попереднім  $k$ -м на  $h$ -му елементі при швидкому режимі скочування.

Крок 2. Якщо  $p_{kjh}^{\text{III}} \leq P_{dh}$  (тут  $P_{dh}$  – допустима ймовірність нерозділення відчепів на роздільному елементі), то допустимим є швидкий режим скочування. Кінець розв'язку.

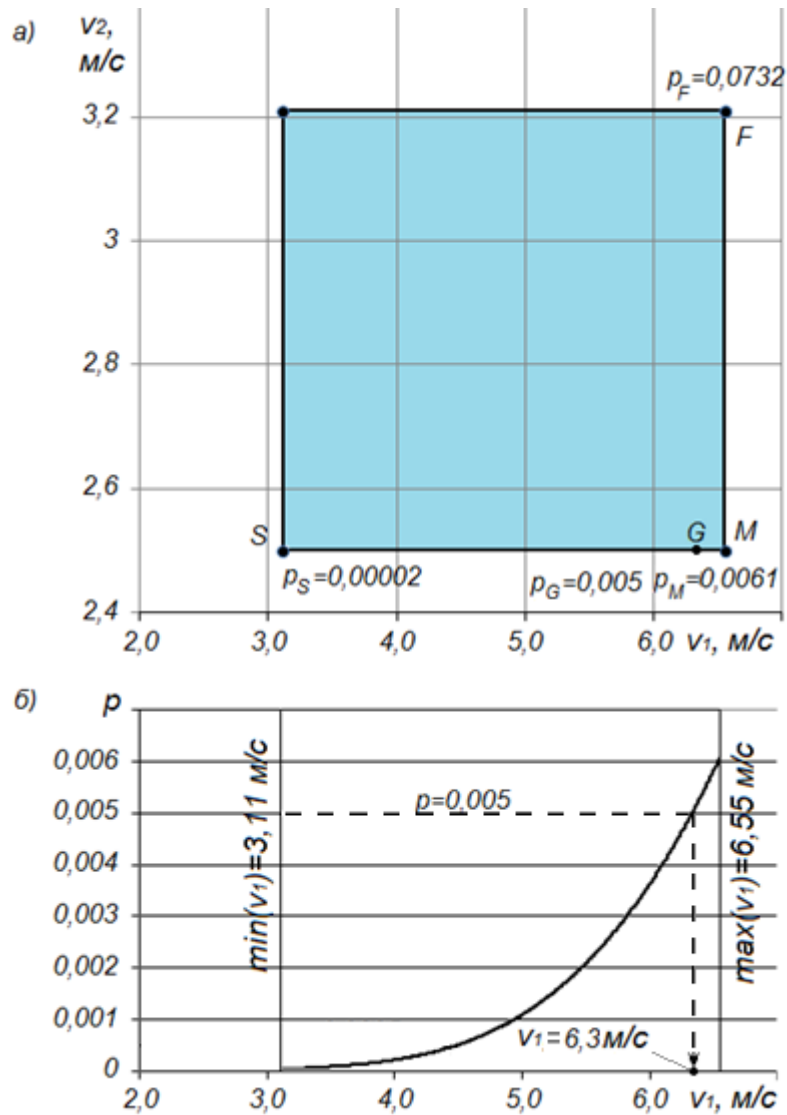
Крок 3. Оцінити ймовірність  $p_{kjh}^{\text{II}}$  нерозділення  $j$ -го відчепа з попереднім  $k$ -м на  $h$ -му елементі при повільному режимі скочування.

Крок 4. Якщо  $p_{kjh}^{\text{II}} > P_{dh}$ , то забезпечити вимоги інтервального регулювання швидкості скочування відчепа без перерви в розпуску неможливо. Кінець розв'язку.

Крок 5. Визначити ділянку межі ОДР, де  $p_{kjh}^f \leq P_{dh} \leq p_{kjh}^s$  (тут  $p_{kjh}^f, p_{kjh}^s$  – ймовірності нерозділення відчепів при використанні режимів, що відповідають верхній правій і нижній лівій вершинам ділянки межі ОДР).

Крок 6. Виконуючи лінійний пошук вздовж ділянки межі ОДР, визначити режим, у якому  $p_{kjh} = P_{dh}$ .

Як ілюстрація на рис. 3.2 наведено пошук максимально швидкого режиму гальмування, що забезпечує поділ відчепів на парковій гальмовій позиції при швидкості розпуску 0,8 м/с.



*a* – ОДР другого відчепа у парі; *б* – пошук режиму гальмування на ділянці *MS* межі ОДР

Рисунок 3.2 – Пошук режиму гальмування другого відчепа у розрахунковій парі, що забезпечує розділення з попереднім відчепом на ПГП

Аналіз режимів гальмування другого відчепа в розрахунковій парі показує, що для забезпечення допустимої ймовірності його нерозділення з

попереднім відчепом на ПГП при швидкості розпуску 0,8 м/с швидкість виходу відчепа з ГП1 повинна бути встановлена  $v_1 = 6,30$  м/с, а з другої  $v_1 = 2,50$  м/с (точка G на ОДР).

З використанням цього методу виконано моделювання розформування состава на швидкості  $v_{\min} = 0,8$  м/с. План розформування состава наведено на рис. 3.3.

Відчеп	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$v_p$ , м/с	0,8								
Режим	ШР	ШР	ШР	ШР	БГП: 4	СТР3: 5	ШР	ШР	ШР

Відчеп	10	пере- рва	11	12	13	14	15
$v_p$ , м/с	0,8		0,8				
Режим	ШР		ШР	ШР	БГП 11	ШР	ШР

Рисунок 3.3 – Режими розформування состава на швидкості 0,8 м/с

Підвищення швидкості розпуску групи відчепів є можливим до того моменту, поки ймовірність нерозділення її відчепів зберігає допустимі значення. При цьому підвищення швидкості розпуску призводить до скорочення початкового інтервалу між відчепами на вершині гірки, скорочуючи тим самим тривалість скочування відчепа від моменту відриву до моменту входу на першу гальмову позицію. Максимально допустимою швидкістю розпуску групи відчепів будемо називати найбільшу швидкість розпуску  $v_{рд}$  ( $v_{\min} \leq v_{рд} \leq v_{\max}$ ), перевищення якої призводить до порушення умов інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Ймовірність нерозділення відчепів на розділових елементах має складну нелінійну залежність від швидкості розпуску. На неї впливають параметри маршруту скочування, умови зовнішнього середовища характеристики відчепів, а також режими гальмування відчепів на гальмових позиціях. Отримати цю залежність в аналітичному вигляді не є можливим, і основним методом для її оцінки на сьогодні є імітаційне моделювання процесу розформування составів. З метою скорочення обсягів обчислювальних експериментів з визначення максимально допустимої швидкості розпуску

доцільно оцінювати її на підставі статистичних залежностей, одержуваних за даними обмеженої кількості експериментів з імітаційною моделлю скочування відчепів.

Величини початкових інтервалів часу на вершині гірки між відривами відчепів від состава визначалися за формулою

$$\theta_{i,i+1} = \frac{l_i - s_{0,i} + s_{0,i+1}}{v_p},$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -го відчепу;

$s_{0,i}, s_{0,i+1}$  – відповідно координата відриву  $i$ -го та наступного за ним відчепу.

Положення точки відриву відчепа від состава залежить від поздовжнього профілю гірки, розподілу навантажень на осі вагонів та питомих сил опору руху. Враховуючи те що величина швидкості розпуску не впливає на перші дві складові, через невелику різницю між мінімальним та максимальним значеннями швидкості розпуску вона несуттєво впливає на величину опорів руху.

У результаті аналізу даних імітаційних експериментів встановлено, що залежність початкового інтервалу між відчепами від швидкості розпуску може бути подана за допомогою виразу

$$\theta_{kj}(v_p) = \frac{A_{kj}}{v_p}, \quad (3.5)$$

де  $A_{kj}$  – емпіричний коефіцієнт.

Як приклад на рис. 3.4 наведено залежності величини інтервалів на вершині гірки першого відчепа та відчепів, з якими він має розділення по маршруту скочування.

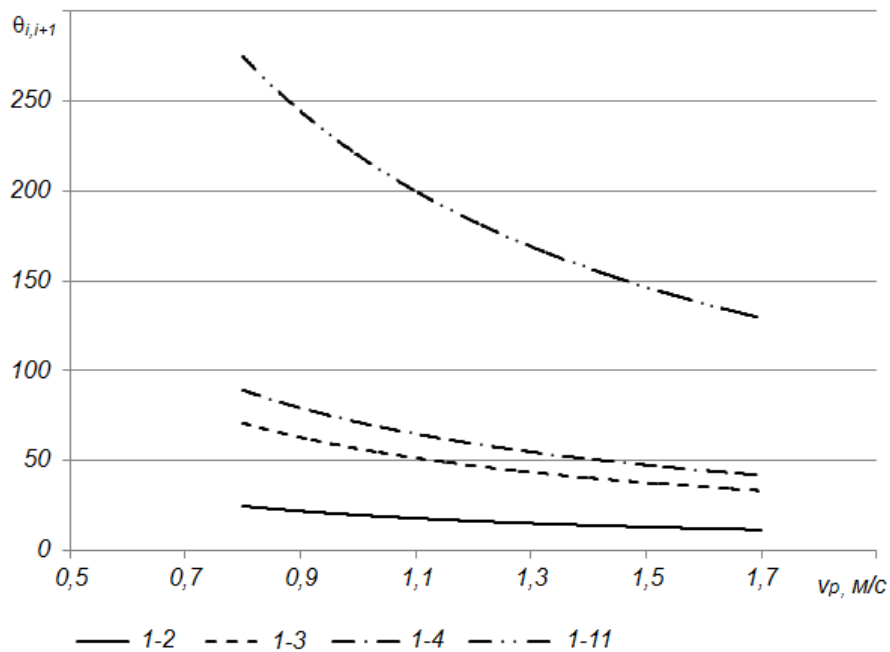


Рисунок 3.4 – Залежності величини початкових інтервалів між відчепами на вершині гірки від швидкості розпуску

Величина коефіцієнта  $A_{i,i+1}$  може бути визначена за результатами моделювання розпуску составів за формулою

$$A_{i,i+1} = \frac{v_{\min} \theta(v_{\min})_{i,i+1} + v_{\max} \theta(v_{\min})_{i,i+1}}{2}.$$

Тривалість скочування відчепів від моменту відриву від состава до моментів зайняття та звільнення розділових елементів по маршруту залежить від значної кількості факторів, у тому числі від режимів гальмування відчепів та величини сил опорів руху по маршруту скочування.

При застосуванні швидкого режиму скочування швидкість розпуску состава переважно впливає на тривалість його руху на ділянці від вершини гірки до входу на гальмову позицію, де відбувається його гальмування до встановленої вимогами прицільного регулювання швидкості.

Питомий опір руху відчепа від середовища та вітру, так само як і питомий опір руху від стрілок та кривих, залежить від квадрату швидкості його руху. На підставі аналізу результатів імітаційного моделювання скочування відчепів встановлено, що за фіксованих значень швидкостей

виходу відчепів з гальмових позицій залежність між швидкістю розпуску состава та середньою швидкістю руху відчепа від точки його відриву до точки розділення із суміжними відчепами може бути апроксимована поліномом другого степеня. У зв'язку з цим залежності математичного сподівання часу руху відчепа між точками його відриву від состава та розділення із суміжним відчепом у швидкому та повільному режимах скочування від швидкості розпуску состава можуть бути описані виразами

$$t_{\bar{v},j}(v_p) = \frac{l_M}{\bar{v}_{\bar{v}}(v_p)} = \frac{1}{a_{t0} + a_{t1}v_p + a_{t2}v_p^2}, \quad (3.6)$$

$$t_{\bar{v},i}(v_p) = \frac{l_M}{\bar{v}_M(v_p)} = \frac{1}{b_{t0} + b_{t1}v_p + b_{t2}v_p^2}, \quad (3.7)$$

де  $l_M$  – довжина ділянки скочування між точкою відриву відчепа від состава і точкою зайняття або звільнення розділового елемента;

$\bar{v}_{\bar{v}}(v_p)$ ,  $\bar{v}_M(v_p)$  – середня швидкість руху відчепа на ділянці скочування;

$a_{t0}$ ,  $a_{t1}$ ,  $a_{t2}$ ,  $b_{t0}$ ,  $b_{t1}$ ,  $b_{t2}$  – емпіричні коефіцієнти.

Залежності тривалості руху 14-го відчепа між точками його відриву від состава та входу на башмачну гальмову позицію від швидкості розпуску наведено на рис. 3.5.

Швидкість розпуску певним чином впливає і на середні квадратичні відхилення часу руху відчепів по маршруту. Враховуючи те що точність реалізації гальмовими позиціями заданої швидкості виходу відчепів з уповільнювачів здійснює набагато більший вплив на величину середньої швидкості руху відчепа по маршруту, ніж швидкість розпуску, то вплив  $v_p$  на величину  $\delta$  у випадку, якщо розділення відбувається після впливу гальмових позицій, є несуттєвим і можна вважати, що величина  $\delta$  не залежить від  $v_p$ .

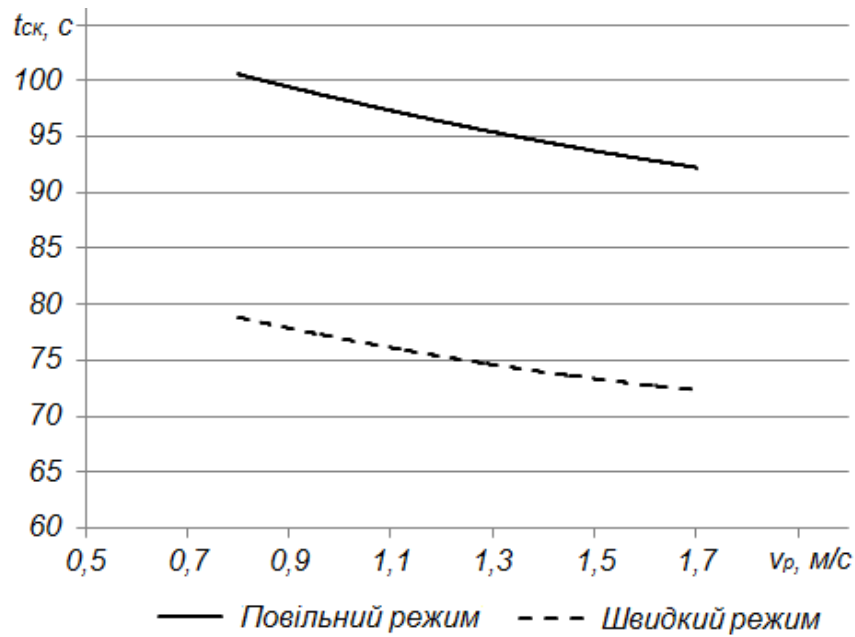


Рисунок 3.5 – Залежності тривалості руху 14-го відчепа між точками його відриву від состава та входу на башмачну гальмову позицію від швидкості розпуску

У цілому залежність середнього квадратичного відхилення швидкості скочування відчепа може бути апроксимовано за допомогою виразів

$$\delta_{ш,i}(v_p) = \sqrt{\frac{1}{a_{d0} + a_{d1}v_p + a_{d2}v_p^2} + \delta_{шр}^2},$$

$$\delta_{п,i}(v_p) = \sqrt{\frac{1}{b_{d0} + b_{d1}v_p + b_{d2}v_p^2} + \delta_{шр}^2},$$

де  $a_{d0}$ ,  $a_{d1}$ ,  $a_{d2}$ ,  $b_{d0}$ ,  $b_{d1}$ ,  $b_{d2}$  – статистичні коефіцієнти.

$\delta_{шр}$ ,  $\delta_{пр}$  – середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа від входу на першу гальмову позицію до точки розділення із суміжним відчепом при швидкості розпуску  $\frac{v_{\min} + v_{\max}}{2}$ .

Залежності середнього квадратичного відхилення тривалості руху 14-го відчепа між точками його відриву від состава та входу на башмачну гальмову позицію від швидкості розпуску наведено на рис. 3.6.

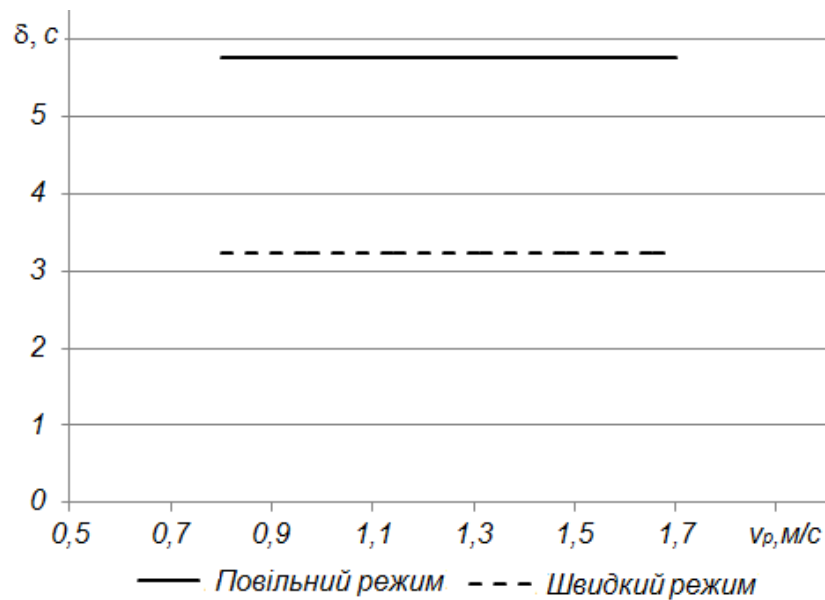


Рисунок 3.6 – Залежність середнього квадратичного відхилення тривалості руху 14-го відчепа між точками його відриву від состава та входу на башмачну гальмову позицію від швидкості розпуску

У цілому, для побудови статистичних залежностей часу руху та середнього квадратичного відхилення часу руху відчепа від швидкості розпуску состава при швидкому та повільному режимах необхідно виконати моделювання його скочування при швидкостях розпуску  $v_{\min}$ ,  $\frac{v_{\min} + v_{\max}}{2}$  та  $v_{\max}$ .

Визначення допустимої швидкості розпуску здійснюється методами прямого пошуку в діапазоні  $[v_{\min}, v_{\max}]$ . Як метод пошуку може бути використаний модифікований метод «золотого перетину», алгоритм якого формулюється в такий спосіб.

Крок 1. Прийняти  $v_{рд} = v_{\max}$ .

Крок 2. Якщо  $v_{\min} = v_{\max}$ , то перейти на крок 5.

Крок 3. Визначити ймовірності поділу відчепів  $p_{kjh}(v_{рд})$  у всіх розділових парах при швидкості  $v_{рд}$ .

Крок 4. Якщо  $\max(p_{kjh}(v_{рд})) < P_{дh}$ , то прийняти  $v_{\min} = v_{рд}$ ,  $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$  та перейти до кроку 2.

Крок 5. Якщо  $\max(p_{kjh}(v_{рд})) > P_{дh}$ , то прийняти  $v_{\max} = v_{рд}$ ,  $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$  та перейти до кроку 2.

Крок 6. Кінець розв'язку.

Розглянемо состав, що складається з  $G$  відчепів. У процесі розпуску після відриву  $g_i$  відчепів може бути передбачена перерва і утворена  $s_i$  група. Тривалість розпуску состава визначається тривалістю розпуску кожної з груп і тривалістю перерв між їх розпусками.

$$\sum_{i=1}^G \frac{l_i}{v_{рд,i}} + (G-1)t_{пер} \rightarrow \min,$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї групи вагонів.

Зменшення швидкості розпуску груп вагонів состава призводить до зростання часу, що витрачається на розпуск. Водночас зменшення швидкості розпуску може викликати об'єднання груп і скорочення кількості перерв між розпусками. Необхідно зауважити, що мінімально можлива кількість перерв у розпуску відповідає мінімальній швидкості розпуску. Максимально доцільна кількість перерв у розпуску відповідає максимальній швидкості розпуску. У зв'язку з цим оптимізація поділу состава на групи відчепів може здійснюватися шляхом аналізу доцільності скорочення кількості перерв за рахунок зменшення швидкості розпуску.

Розглянемо состав, що складається з двох груп, між розпуском яких є перерва. Виключення перерви у розпуску доцільно в разі, якщо

$$\frac{l_1 + l_2}{v_{рд12}} < \frac{l_1}{v_{рд1}} + \frac{l_2}{v_{рд2}} + t_{пер}; \quad (3.8)$$

$$v_{рд12} \leq \min(v_{рд1}, v_{рд2}),$$

де  $v_{рд1}, v_{рд2}, v_{рд12}$  – відповідно допустимі швидкості розпуску першої, другої і об'єднаної першої і другої груп.

На підставі аналізу виразу (3.8) може бути сформульовано Правило 1, відповідно до якого мінімальна швидкість розпуску, при якій виключення перерви в розпуску є доцільним, може бути встановлена з виразу

$$v_{кр12} = \max \left( v_{\min}, \frac{(l_1 + l_2)v_{рд1}v_{рд2}}{l_1v_{рд2} + l_2v_{рд1} + t_{пер}v_{рд1}v_{рд2}} \right).$$

Тому для визначення доцільності об'єднання груп вагонів в одну необхідно виконати моделювання розпуску состава на швидкості  $v_{кр}$ . Якщо на цій швидкості можуть бути забезпечені вимоги інтервального регулювання, то об'єднання груп доцільно й необхідно встановити допустиму швидкість розпуску об'єднаної групи, інакше об'єднання груп не доцільно.

Нехай має місце состав з двох груп, які недоцільно об'єднувати так, що

$$\frac{l_1}{v_{рд1}} + \frac{l_2}{v_{рд2}} + t_{пер} < \frac{l_1 + l_2}{v_{рд12}}.$$

Представимо цей вираз як

$$t_{пер} < \frac{l_1}{v_{рд1}} \left( \frac{v_{рд1}}{v_{рд12}} - 1 \right) + \frac{l_2}{v_{рд2}} \left( \frac{v_{рд2}}{v_{рд12}} - 1 \right).$$

Аналіз даного виразу показує, що збільшення значень  $l_1$  та  $l_2$ , а також зменшення величини  $v_{рд12}$  призводить до збільшення правої частини нерівності і не може викликати його порушення. Таким чином, може бути сформульовано Правило 2, яке полягає у тому, що якщо на деякому етапі встановлено, що при поточній швидкості розпуску виключення перерви між групами є недоцільним, то при приєднанні до цих груп інших груп, з вагонів попереду або позаду розглянутих, виключення перерви між групами буде не доцільним.

Розглянемо можливість розформування состава без перерв у розпуску з  $n$  груп. Якщо в процесі аналізу можливості об'єднання різних варіантів об'єднання від 2 до  $n-1$  послідовних груп встановлено, що хоча б для однієї такої групи об'єднання не доцільно, то і об'єднання  $n$  груп не доцільно. В іншому випадку буде порушено Правило 2. Таким чином, для розформування

состава з  $n$  груп вагонів має бути доцільно розформування без перерви у розпуску груп з 1 по  $n-1$  і з 2 по  $n$ . Відповідно до Правила 1 доцільність розпуску без перерви  $n$  груп відчепів може бути встановлена з виразу

$$v_{\text{кр}1n} = \max \left( v_{\text{min}}, \min \left( \frac{(l_{1,n-1} + l_n) v_{\text{рд}1,n-1} v_{\text{рд}n}}{l_{1,n-1} v_{\text{рд}n} + l_2 v_{\text{рд}1,n-1} + t_{\text{пер}} v_{\text{рд}1,n-1} v_{\text{рд}n}}, \frac{(l_1 + l_{2,n}) v_{\text{рд}1} v_{\text{рд}2,n}}{l_1 v_{\text{рд}2,n} + l_2 v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}} v_{\text{рд}2,n} v_{\text{рд}1}} \right) \right),$$

де  $l_{1,n-1}$ ,  $l_{2,n}$  – відповідно загальна довжина відчепів з 1-го по  $(n-1)$ -й та з 2-го по  $n$ -й;  $l_n$  – довжина  $n$ -го відчепа;  $v_{\text{рд}1,n-1}$ ,  $v_{\text{рд}2,n}$  – відповідно допустимі швидкості розпуску без перерви груп відчепів з 1-го по  $(n-1)$ -й та з 2-го по  $n$ -й;  $v_{\text{рд}n}$  – допустима швидкість розпуску  $n$ -го відчепа.

Пошук оптимального поділу состава на групи пропонується здійснювати відповідно до такого алгоритму:

Крок 1. Виконати моделювання розпуску состава зі швидкістю  $v_{\text{max}}$  і встановити множину відчепів, після яких повинні бути зроблені перерви в розпуску  $Q_6$ . Визначити тривалість розпуску кожної з утворених груп.

Крок 2. Виконати моделювання розпуску состава зі швидкістю  $v_{\text{min}}$  та встановити множину відчепів, після яких повинні бути зроблені перерви в розпуску  $Q_M$ .

Крок 3. Якщо множини  $Q_6$  та  $Q_M$  збігаються, то оптимальна швидкість розпуску всіх груп состава  $v_{\text{max}}$ . Кінець розв'язку.

Крок 4. Додати в множину можливих варіантів об'єднання груп  $R$  варіант організації розпуску состава з необ'єднаними групами.

Крок 5. Прийняти  $i=1$ .

Крок 6. Прийняти  $i=i+1$ .

Крок 7. Якщо  $i > n$ , то для варіантів множини  $R$  визначити загальну тривалість розформування й вибрати найменшу. Кінець розв'язку.

Крок 8. Розглянути можливість об'єднання для кожної з  $i$  послідовних груп. Якщо об'єднання доцільно, додати можливі варіанти розпуску составів з об'єднанням груп від 1 до  $i$  в множину  $R$ .

Крок 9. Перейти на крок 6.

Оптимальний режим розпуску состава, параметри якого подані в табл. 3.1, наведено на рис. 3.7.

Відцеп	1	2	3	4	пере- рва	5	6	7	8	
$v_p$ , м/с	1,7					1,7				
Режим			ШР	ШР		ШР	ШР	ШР	ШР	ШР

Відцеп	пере- рва	9	10	пере- рва	11	12	13	14	15		
$v_p$ , м/с		1,7				1,7					
Режим		ШР	ШР		ШР	СТР4: 11	ШР	СТР4: 13	ШР		

Рисунок 3.7 – Оптимальний режим розпуску состава

У разі якщо тривалість перерви між розпусками становить 0,33 хв, то розглянутий склад може бути розформований за 3,1 хв із середньою швидкістю розпуску 1,18 м/с. Скочування відцепів состава може здійснюватися у швидкому режимі (ШР) з виключенням відцепів 12 і 14, режими гальмування яких вибираються з умов забезпечення їх розділення відповідно з відчепами 11 і 13 на стрілках спускної частини гірки.

### 3.3 Оптимізація розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів

Умови регулювання швидкості руху відцепів кожного состава істотно відрізняються залежно від характеристик вагонів і ступеня заповнення сортувальних колій. У зв'язку з цим, відповідно до Інструкції регулювальника швидкості вагонів [38], перед розпуском старший регулювальник швидкості вагонів розставляє регулювальників по сортувальних коліях з урахуванням обсягу й ритму їх роботи, ступеня заповнення сортувальних колій і погодних умов. Сьогодні вказана задача розв'язується на основі досвіду старших регулювальників швидкості вагонів. Автоматизація розв'язання цієї задачі дозволить забезпечити підвищення швидкості розформування составів з безумовним виконанням вимог безпеки розпуску.

У цьому дослідженні прийнято, що призначення регулювальників на сортувальні колії виконується до початку розпуску состава й не змінюється в

його процесі. При цьому  $i$ -й регулювальник обслуговує  $x_i$  послідовних колій сортувального парку.

З огляду на те що при обслуговуванні однієї сортувальної колії одним регулювальником швидкості вагонів досягається мінімум ймовірності нерозділення відчепів, що надходять в обслуговування на башмачні гальмові позиції, то при  $k \geq N$  задача має тривіальний розв'язок – на кожен колію повинен бути призначений один регулювальник, при цьому частина регулювальників може бути не задіяна. У разі якщо  $kx_{\max} = N$ , розв'язок задачі також тривіальний, оскільки кожен регулювальник повинен обслуговувати максимально можливу кількість сортувальних колій.

Якщо  $k < N < kx_{\max}$ , то необхідно оцінювати вплив розподілу сортувальних колій між регулювальниками на умови розформування составів. При цьому має дотримуватися умова  $1 \leq x_i \leq x_{\max}$ , оскільки залишати незадіяними частину регулювальників швидкості вагонів у цих умовах є нераціональним. З огляду на обмежену кількість варіантів розподілу, задача може бути розв'язана шляхом їх повного перебору. Однак кількість аналізованих варіантів може бути зменшена з використанням спрямованого їх перебору.

При послідовному призначенні регулювальників швидкості вагонів на сортувальні колії кількість колій  $x_i$ , яку може обслуговувати  $i$ -й регулювальник з урахуванням обмежень (3.2), визначається умовою

$$N - (k - i)x_{\max} - n_{i-1} \leq x_i \leq N - k + i - n_{i-1},$$

де  $n_{i-1}$  – загальна кількість колій, які обслуговують попередні  $i-1$  регулювальники швидкості.

Для прикладу розглянемо розподіл колій між  $k=3$  регулювальниками швидкості вагонів у разі, якщо кожен регулювальник може обслуговувати не більше  $x_{\max}=4$  колій. Різні варіанти розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості руху вагонів визначають розрахункові групи відчепів, які розділяються на башмачних гальмових позиціях. Усі можливі

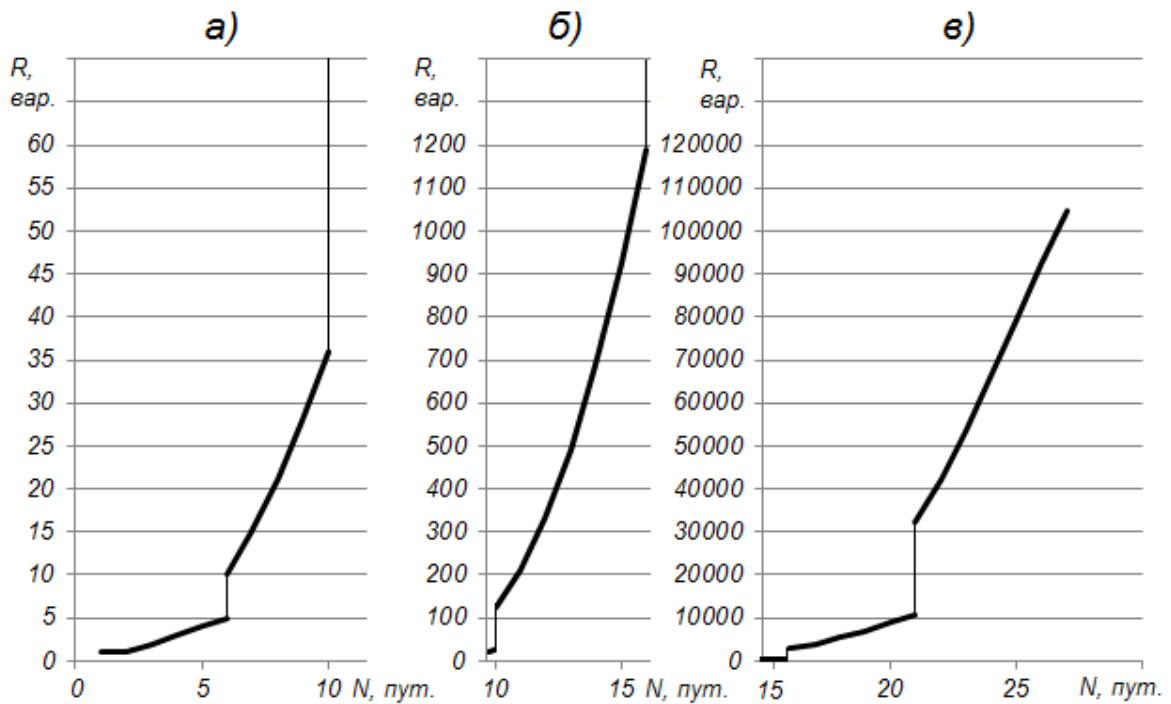
варіанти розділення відчепів на паркових башмачних гальмових позиціях для розглянутого прикладу зведені в матрицю й наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Можливі варіанти розділення відчепів на паркових башмачних гальмових позиціях

Варі- ант	Кількість колій			Номери відчепів															Кількість розділень	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	Колії призначення відчепів															Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>			
	14	11	17	11	13	18	13	14	16	17	14	12	15	17	12					
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Номери регулювальників, що виконують гальмування відчепів															Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	
1	4	3	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	2	1	1	2	2	1	6	
2	4	2	2	1	1	3	1	1	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	4	
3	4	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	1	2	3	1	5	
4	3	4	1	2	1	2	1	1	3	1	2	2	2	2	1	2	2	1	5	
5	3	3	2	2	1	3	1	1	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	4
6	3	2	3	2	1	3	1	1	3	1	2	3	3	2	1	2	3	1	2	3
7	3	1	4	2	1	3	1	1	3	1	2	3	3	2	1	3	3	1	3	
8	2	4	2	2	1	3	1	2	3	2	2	2	3	2	1	2	3	1	2	4
9	2	3	3	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	1	2	3	1	2	3
10	2	2	4	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	1	3	3	1	3	
11	1	4	3	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	4	
12	1	3	4	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	4	

Загалом кількість можливих варіантів розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів істотно залежить від кількості колій у парку.

На рис. 3.8 наведено залежності між кількістю колій  $N$  і кількістю можливих варіантів їх розподілу  $R$  між регулювальниками швидкості вагонів у разі, коли кількість регулювальників відповідає нормам, наведеним у [54].



$a - N=1 \dots 10$ ;  $б - N=10 \dots 15$ ;  $в - N=15 \dots 27$

Рисунок 3.8 – Залежність між кількістю колій  $N$  і кількістю можливих варіантів їх розподілу  $R$  між регулювальниками швидкості вагонів

З огляду на те що визначення часу розпуску составів виконується ймовірнісними методами на підставі багаторазових обчислювальних експериментів, виникає задача зменшення кількості варіантів, що розглядаються, за рахунок відсіву нераціональних. З цією метою як математичний метод розв'язання задачі може бути використано метод гілок і меж, який полягає у визначенні верхньої межі розв'язку  $T_v$ , яка відповідає відомому розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, що задовольняє обмеження (3.2) з найменшою тривалістю розпуску, і нижньої межі розв'язку  $T_n$ , що відповідає відомій оцінці тривалості розпуску состава такій, що заздалегідь не перевищує фактичну тривалість розпуску.

Наведений у табл. 3.4 аналіз множини можливих поєднань пар відчепів, що розділяються на башмачних гальмових позиціях, показує, що для великої кількості варіантів наявні повтори розділових груп, аналіз яких дозволяє скоротити обсяг обчислювальної роботи при пошуку оптимального варіанта.

Таблиця 3.4 – Пари відчепів, що розділяються на башмачних паркових гальмових позиціях

Сполучення	Варіанти												V <sub>max</sub> , м/с	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1-2	1	1	1											0,91
1-3				2										1,7
1-5								2	2	2	2	2		1,7
1-8					2	2	2							1,7
2-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,7
3-6		3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,7
3-8				2										1,7
3-9	2													1,7
4-5	1	1	1	1	1	1	1							0,81
4-12								1	1	1				1,7
5-7	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1,7
6-9			3			3	3		3	3	3	3	3	1,7
6-10		3			3			3						1,7
7-8	1	1	1					2	2	2	2	2	2	<0,8
7-12				1	1	1	1							1,7
8-9				2	2			2						1,07
8-11	1	1	1			2	2		2	2	2	2	2	1,7
9-10	2		3	2		3	3		3	3	3	3	3	<0,8
9-11					2			2						<0,8
9-13		2												1,7
10-11				2										0,8
10-13	2						3			3			3	1,7
10-14		3	3		3	3		3	3		3		3	1,7
11-12	1	1	1								2	2	2	<0,8
11-13				2	2	2		2	2					1,7
12-13											2			<0,8
12-15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			2	1,7
13-14	2			2			3			3			3	<0,8
13-15											2			1,7

Необхідно зауважити, що надходження на сортувальні колії, які обслуговуються одним регулювальником, відчепів, що скочуються послідовно, як правило, погіршує умови їх розділення; навпаки, збільшення кількості відчепів, які прямують на сортувальні колії, що обслуговуються іншими регулювальниками, між відчепами, які розділяються, приводить до поліпшення умов для виконання вимог інтервального регулювання швидкості руху відчепів.

У зв'язку з цим, визначаючи початковий розподіл сортувальних колій

між регулювальниками швидкості вагонів, доцільно вибрати варіант з найменшою кількістю розділових груп з послідовних відчепів  $Z_1$  (див. табл. 3.3). За наявності декількох варіантів з однаковою кількістю таких розділень вибір найкращого варіанта виконується за кількістю поділів груп з одним проміжним відчепом  $Z_2$  і т.д. Так, у прикладі, наведеному в табл. 3.3, як початковий доцільно вибрати варіант 6, коли перший регулювальник обслуговує 3 колії, другий – 2 і третій – 3. При цьому наявні два випадки розділення суміжних відчепів і три випадки, коли між відчепами, які розділяються, є лише один додатковий відчеп. Оптимальна тривалість розпуску состава при фіксованому розподілі сортувальних колій між регулювальниками може бути встановлена відповідно до алгоритму, який наведено в підрозділі 0.2, і становить  $T_B = 227,2$  с. При цьому виникає необхідність поділу состава на три групи відчепів з перервами після 4-го і 9-го відчепів. Швидкість розпуску третьої групи становить 1,54 м/с через обмеження за умовою розділення відчепів на башмачній гальмовій позиції в парі 11-13 і на третьому стрілочному переводі по маршруту скочування в парі 13-14.

Тривалість розпуску груп, умови розділення в яких є аналогічними тривалості розпуску груп у составі, який використовувався для розрахунку верхньої межі, приймається рівною розрахованим раніше значенням. При цьому умови розділення в цих групах далі можуть не контролюватися. Так, у розглянутому прикладі дублюються умови розділення в групах з 1-го по 9-й відчеп у варіантах 6 і 7, а також 10-15 у варіантах 6 та 9. Пари, які виключаються з розгляду з різних причин, у табл. 3.4 викреслюються.

Як зазначалося вище, одним з основних факторів, від якого залежить можливість успішного розділення відчепів, є величина інтервалу між ними на вершині гірки. При цьому можливі такі поєднання пар відчепів, які не будуть розділятися на башмачних гальмових позиціях при жодних можливих режимах гальмування відчепів, а також поєднання відчепів у парах, між якими будуть настільки великі початкові інтервали, що вони будуть

розділятися при будь-яких раціональних режимах гальмування. Граничними режимами гальмування відчепа є швидкий і повільний режими скочування [15].

Найкращі умови для розділення групи відчепів, що скочуються на колії, які обслуговуються одним регулювальником, наявні в тому випадку, коли перший відчеп пари скочується у швидкому режимі, а другий у повільному. Необхідно вказати, що в разі, якщо допустима швидкість розпуску  $v_p$  кожної послідовної пари відчепів, що скочуються у таких групах, менша ніж  $v_{\min}$ , то в розпуску повинна бути зроблена перерва, наявність якої не залежить від номерів регулювальників, що виконують гальмування. Клітини, що відповідають парам відчепів, між якими повинна бути передбачена обов'язкова перерва, виділені в табл. 3.4 кольором. У разі якщо між двома відчепами в розпуску передбачається перерва, то з розгляду повинні бути виключені довші розділові пари для інших регулювальників, що перекривають цю пару. Так, у парах 7-8, 9-10, 11-12, 13-14 поділ не може бути забезпечено навіть у сприятливих умовах, тому для всіх варіантів, у яких вони присутні, у розпуску повинні бути передбачені перерви. З огляду на те що для варіанта 1 при скочуванні відчепів 13 і 14 між ними повинна бути передбачена перерва, перевірку умов поділу відчепів пари 12-15 можна не виконувати.

Нижня межа тривалості розпуску состава для кожного  $r$ -го варіанта може бути встановлена за формулою

$$T_H^r = \sum_{s=1}^{S^*} T_{p,s}^{\text{опт}}(\mathbf{v}_{p,s}^*) + (S^* - 1)t_{\text{пер}},$$

де  $S^*$  – кількість груп, утворених через обов'язкові перерви в розпуску;

$\mathbf{v}_{p,s}^*$  – максимально допустимі швидкості розпуску для окремих пар відчепів у групі;

$T_{p,s}^{\text{опт}}(\mathbf{v}_{p,s}^*)$  – мінімальна тривалість розпуску групи відчепів залежно від множини обмежень для окремих пар.

Визначення величини  $T_{p,s}^{opt}(\mathbf{v}_{p,s}^*)$  виконується за допомогою методики, яка наведена в підрозділі 3.2. Для прикладу розглянемо розрахунок величини  $T_H$  для варіанта 7. Розпуск груп відчепів 10-13 і 14-15 може виконуватися зі швидкістю не більше ніж 1,7 м/с; при цьому витрати часу будуть становити не менше ніж 41,2 і 16,6 с відповідно. Розпуск групи відчепів 1-9 може виконуватися без перерви в розпуску зі швидкістю, яка не перевищує 0,81 м/с, через обмеження в парі 4-5 (див. табл. 3.4), при цьому тривалість розпуску буде становити не менше ніж 259,3 с; як альтернатива після 4-го відчепа може бути передбачена перерва, що дозволить розпускати відчепа зі швидкістю 1,7 м/с, при цьому тривалість розпуску з урахуванням перерви становитиме 143,5 с. Загальна тривалість розпуску состава при реалізації 7-го варіанта з урахуванням перерв буде становити не менше  $T_H^7 = 241,3$  с, що перевищує встановлену раніше верхню межу розв'язку  $T_B = 227,2$  с. У зв'язку з цим надалі варіант 7 може не розглядатися. З аналогічних міркувань з розгляду можуть бути виключені також варіанти 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12.

Найгірші умови поділу відчепів на башмачних гальмових позиціях виникають при максимально допустимій швидкості розпуску у випадках скочування першого відчепа пари з мінімальною і другого – з максимальною раціональною швидкістю руху по спускній частині гірки. Раціональна швидкість руху для першого відчепа пари вибирається з таких міркувань:

- перший відчеп групи – швидкий режим скочування (Б)
- відчеп з послідовності відчепів, що скочуються на колії, які обслуговуються різними регулювальниками швидкості вагонів, починаючи від першого до поточного – швидкий режим скочування з урахуванням обмежень, які висуваються вимогами інтервального регулювання швидкості на стрілках і уповільнювачах з попередніми відчепами (П);
- інші відчепа – повільний режим скочування (М).

Раціональні швидкості руху другого відчепа пари обираються з таких міркувань:

- останній відчеп групи - повільний режим скочування (М);
- відчеп з послідовності відчепів, що скочуються на колії, які обслуговуються різними регулювальниками швидкості вагонів, починаючи від поточного до останнього – повільний режим скочування з урахуванням обмежень, які висуваються вимогами інтервального регулювання швидкості на стрілках і уповільнювачах з наступними відчепами (С);
- інші відчепи - швидкий режим скочування (Б)

Якщо в процесі аналізу умов розділення відчепів состава встановлено, що для певної пари розділення відбувається навіть у найгірших умовах, то така пара може бути виключена з розгляду.

У табл. 0.1 наведено результати аналізу умов розділення відчепів для варіанта 9. Відповідно до даних табл. 0.1 з розгляду можна виключити контроль умов поділу в парах 1-5 і 3-6.

При подальшому порівнянні необхідно циклічно повторювати пошук у варіанті з мінімальним значенням  $T_n^r$  найкоротшої послідовності відчепів, що розділяються, розрахунок для неї допустимої швидкості розпуску в сприятливих умовах, перерахунок значення  $T_n$  та відкидання нераціональних варіантів.

Варіантом розподілу сортувальних колій між регулювальниками, який залишився, є варіант 9. Як розрахункове поєднання відчепів прийнято розділення відчепів у парі 2-4 на башмачній гальмовій позиції і в парі 4-5 на 4-й розділовій стрілці по маршруту скочування. Допустима швидкість розпуску при цьому становить 1,26. У цих умовах нижня межа тривалості розпуску складу за варіантом 9 становитиме  $T_n^9 = 227,2$  с, що дорівнює верхній межі розв'язку.

Таблиця 0.1 – Аналіз розділення відчепів у несприятливих умовах

Сполучення	Режим	Пояснення	$P_H$
1-5	ББ	Пара складається з відчепа 1, який є першим відчепом групи, і відчепа 5, який розташований у середині состава і режим гальмування якого обмежений відчепом 7	0
2-4	ПБ	Пара складається з відчепів 2 і 4, які розташовані в середині состава. Відчеп 2 є першим відчепом, який надходить у обслуговування до регулювальника 1; попередній відчепу 2 відчеп 1 рухається у швидкому режимі. За відчепом 4 розташовані відчепа 5 і 7, які прямують до регулювальника 2	0,054
3-6	ПС	Пара складається з відчепів 3 і 8, які розташовані в середині состава і які є першим і останнім відчепами, що надходять у обслуговування до регулювальника 3. Перед парою 3-8 і після неї відчепа прямують у обслуговування до різних регулювальників	0
5-7	ММ	Пара складається з відчепа 5, який розташований у середині состава, і відчепа 7, який є останнім відчепом групи. Перед відчепом 5 рухаються відчепа 2 і 4 у обслуговування до регулювальника 1	0,041

Таким чином, оптимальним варіантом розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів є варіант 6, який передбачає обслуговування трьох колій регулювальником 1, двох колій регулювальником 2 і трьох колій регулювальником 3. Тривалість розпуску состава при цьому становитиме 227,2 с. Для порівняння найгіршим варіантом розподілу є варіант 1, при якому тривалість розпуску дорівнюватиме 301,2 с.

Виконані дослідження дозволяють запропонувати такий алгоритм для оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів:

Крок 1. Розробити варіанти розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

Крок 2. Вибрати варіант початкового розподілу сортувальних колій між

регулювальниками швидкості вагонів і на підставі моделювання розпуску состава встановити верхню межу розв'язку  $T_B$ .

Крок 3. Прийняти як розрахункові сполучення пари послідовних відцепів і встановити допустимі швидкості розпуску для них у сприятливих умовах.

Крок 4. Якщо в процесі аналізу залишився лише один варіант розподілу сортувальних колій між регулювальниками, то кінець розв'язку. Варіант, який залишився, є оптимальним.

Крок 6. Виконати поділ состава на групи, між якими необхідно передбачати перерви в розпуску.

Крок 7. Встановити умови розділення відцепів у разі несприятливого поєднання факторів. У випадках якщо нерозділення відцепів у таких умовах не відбувається, виключити зазначені пари з розгляду.

Крок 8. Тривалість розпуску груп, для яких виконано моделювання розпуску, прийняти рівною встановленому значенню. Для тих груп, моделювання розпуску яких не виконувалося, встановити мінімально можливу тривалість розпуску на підставі даних про максимальну швидкість розпуску окремих сполучень відцепів.

Крок 9. Для решти варіантів розподілу сортувальних колій між регулювальниками встановити нижню межу розв'язку  $T_H^r$ .

Крок 10. Виключити з розгляду варіанти, у яких  $T_H^r > T_B$ .

Крок 11. Для варіанта з найменшим значенням  $T_H^r$  знайти найкоротшу послідовність відцепів з невідомою допустимою швидкістю розпуску і встановити її на основі моделювання.

Крок 12. Якщо для деякого варіанта  $r$  виконана оцінка всіх розділових інтервалів і  $T_H^r < T_B$ , то виключити з розгляду варіант, який використовується для розрахунку  $T_B$ . Прийняти  $T_B = T_H^r$ .

Крок 13. Перейти до кроку 4.

## **Висновки по розділу 0**

1. У результаті виконаного дослідження розроблено методику вибору параметрів управління розпуском составів, що враховує особливості роботи сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями. В основу пропонованої методики покладено методи математичного моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок і математичної статистики. Результати дослідження можуть використовуватися для вирішення як оперативних задач, пов'язаних з управлінням розпуском, так і технологічних задач, таких як оцінка переробної спроможності гірок і нормування штату регулювальників швидкості вагонів.

2. У процесі досліджень розроблено метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який ґрунтується на оцінці тривалості розпуску составів на підставі аналізу умов поділу в окремих розрахункових групах відчепів і відкидання нераціональних варіантів на основі методу гілок і меж, що дозволяє підвищити швидкість пошуку оптимального розв'язку.

## **РОЗДІЛ 4.**

### **УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ГАЛЬМОВОЇ ПОТУЖНОСТІ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ**

Однією з негативних тенденцій сучасних умов функціонування залізничного транспорту України є критичний знос основних технічних засобів, який перевищує 85 %, і хронічний дефіцит коштів на їх оновлення. Істотний спад обсягів перевезень призводить до утворення значного резерву парку зношених технічних засобів. У цих умовах у різних сферах діяльності галузі виникає питання безпечного виконання технологічного процесу за допомогою наявних технічних засобів.

Основними технічними засобами, які забезпечують розформування-формування составів вантажних поїздів на залізничному транспорті, є сортувальні гірки. Вони є одним із найбільш небезпечних місць на станціях, для яких характерна значна кількість випадків травматизму, сходів вагонів, їх пошкоджень і пошкоджень вантажів. Гострою проблемою механізованих сортувальних гірок є зношений стан вагонних уповільнювачів, які в результаті цього повністю або частково відключаються або не можуть реалізовувати нормативну гальмову потужність.

#### **4.1. Формулювання проблеми функціонування сортувальних гірок в умовах параметричних відмов**

Методологічною основою вирішення проблеми функціонування сортувальних гірок в умовах втрати уповільнювачами гальмової потужності може служити теорія безпеки руху [59]. Відповідно до концепції цієї теорії система може перебувати в роботоспроможному, нероботоспроможному безпечному і нероботоспроможному небезпечному станах. У роботоспроможному стані функціонування технологічної системи відбувається в умовах, коли її параметри відповідають вимогам технічної, технологічної та конструкторської документації, а також виконуються

показники якості функціонування. У разі невиконання цих умов технологічна система перебуває в нероботоспроможному стані. Якщо в цьому стані виникають вражаючі фактори, то він є небезпечним, інакше – безпечним. Якщо перехід технологічної системи в нероботоспроможний небезпечний стан виключається з високою часткою ймовірності, то маємо технологічну систему із захищеними станами. Стосовно розглянутої проблеми, управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках зменшенням гальмової потужності уповільнювачів є параметричною відмовою. При цьому необхідно знайти такі технологічні обмеження, накладення яких на умови розпуску дозволить забезпечити виконання вимог безпеки сортувального процесу.

Додаткові обмеження при організації розформування-формування составів поїздів призводять до зменшення переробної спроможності гірок.

Проектування будівництва й модернізації сортувальних гірок виконувалося відповідно до вимог [82], а з 2013 року – відповідно до [26]. У [82, 26] зазначено, що кількість гальмових позицій сортувальної гірки, їх розташування, потужність та обладнання повинні гарантувати безпечне сортування вагонів при встановленій максимальній швидкості розпуску. При цьому уповільнювачі повинні забезпечувати допустиму швидкість входу відчепів на другу і третю гальмові позиції, повну зупинку відчепів на цих позиціях, а також допустиму швидкість підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях.

Перевірка потужності гальмових засобів сортувальних гірок при їх проектуванні здійснюється шляхом моделювання скочування одиночного чотиривісного піввагона масою 100 т з основним опором 0,5 Н/кН (бігун БТ). Для забезпечення надійності та живучості системи регулювання швидкості скочування відчепів необхідна потужність гальмових позицій розраховується з урахуванням коефіцієнта її збільшення  $k_p=1,2$ . При цьому на першій гальмовій позиції встановлюється додатковий уповільнювач; крім того, округлення потрібної кількості уповільнювачів виконується в більшу

сторону. У результаті сортувальні гірки повинні мати резерви потужності гальмових позицій, які можуть бути використані при зменшенні гальмової потужності уповільнювачів у процесі їх експлуатації.

Необхідно зазначити, що на деяких гірках на стадії проектування були допущені істотні відхилення від вимог [82] і резерви гальмової потужності на них мінімальні. Як приклад можна навести парну сортувальну гірку станції Нижньодніпровськ-Вузол, де на першій гальмовій позиції встановлений один уповільнювач замість двох, а живлення повітропроводної мережі здійснюється від компресорної станції вагонного депо, яка забезпечує тиск 0,5-0,56 МПа замість 0,65 МПа. У зв'язку з цим резерви потужності гальмових уповільнювачів мають індивідуальний для кожної гірки характер і можуть істотно відрізнятися.

#### **4.2. Визначення умов безпечної роботи сортувальних гірок при зменшенні гальмової потужності уповільнювачів**

На сортувальних гірках залізниць України використовуються балочні уповільнювачі, гальмування вагонів якими забезпечується за рахунок тертя коліс об їх шини. Питома енергетична висота, яка погашається і яку реалізує уповільнювач, визначається за формулою

$$h_{\tau} = \frac{z\mu P_k K_{\text{пр}} n l_{\text{ш}}}{Q}, \quad (4.1)$$

де  $z$  – кількість поверхонь, що труться (2 – для односторонніх уповільнювачів і 4 – для двосторонніх);

$\mu$  – коефіцієнт тертя колеса вагона об шину уповільнювача;

$P_k$  – сила тиску гальмівної шини уповільнювача на колесо;

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт приведення, який визначається відстанню між центром ваги площі зчеплення гальмівної шини з колесом до точки опори колеса й радіусом колеса;

$n$  – кількість осей відчепа;

$l_{ш}$  – довжина шин уповільнювача;

$Q$  – маса відчепа.

Визначити енергетичну висоту, яку реалізує уповільнювач при гальмуванні конкретного відчепа, за формулою (4.1) досить складно, оскільки, насамперед, коефіцієнт тертя є випадковою величиною, що змінюється в межах від 0,05 до 0,20 [40]; крім того, висота бандажів коліс і положення шин уповільнювача також є випадковими величинами, що змінюються в межах допусків. У результаті й погашена уповільнювачем енергетична висота в кожному окремому випадку є випадковою величиною. Аналіз науково-дослідних звітів Галузевої гіркововипробувальної лабораторії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна показує, що гальмова потужність нових уповільнювачів встановлювалася на підставі статистичного матеріалу, накопиченого за результатами вимірювань гальмування відчепів у різних умовах з довірчою ймовірністю не менше ніж 0,95.

Показником якості сортувального процесу є ймовірність забезпечення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях. Однак контроль зазначеної вимоги на сортувальних гірках не виконується. Необхідно зауважити, що перевищення встановлених швидкостей зіткнення вагонів у кожному окремому випадку не приводить до виникнення транспортних пригод, однак викликає збільшення частоти цих подій. Основним результатом цього порушення вимог ПТЕ є накопичення втомних змін у конструкції вагонів, що викликає передчасний їх знос.

З огляду на вищесказане, оцінка впливу потужності уповільнювачів на показники безпеки сортувального процесу на підставі експериментальних спостережень є досить складним завданням, що вимагає великих витрат ресурсів і часу для накопичення статистичного матеріалу. Тому для встановлення режимів розпуску, що забезпечували б вимоги безпеки руху, виконано дослідження гіркових процесів за допомогою моделювання скочування відчепів [22].

Аналіз формули (4.1) показує, що фактична потужність уповільнювачів гальмових позицій  $H_\phi$  може бути визначена за результатами перевірки зусилля натискання їх шин на колесо за допомогою виразу

$$H_\phi = \frac{H_{\text{ном}}}{r p_{\text{ном}}^{\min}} \sum_{j=1}^r p_j, \quad (4.2)$$

де  $p_j$  – виміряні відповідно до [37] зусилля натискання шин по осях важелів;

$r$  – кількість важелів;

$H_{\text{ном}}$  – номінальна гальмова потужність уповільнювача;

$p_{\text{ном}}^{\min}$  – мінімальне номінальне зусилля натискання шин уповільнювачів на колесо.

Достатність встановленої потужності уповільнювачів визначається на основі аналізу виконання комплексу умов.

Уповільнювачі першої гальмової позиції ГП1 повинні забезпечити вхід всіх відчепів на другу гальмову позицію ГП2 з допустимою швидкістю. Ця вимога висувається у зв'язку з тим, що при більшій швидкості входу відчепів на ГП2 можливе пошкодження ними уповільнювачів.

Найменша потрібна потужність ГП1 визначається за результатами моделювання скочування бігуна БТ у сприятливих умовах за формулою

$$H_{\text{гп1}} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{нгп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{гп2}}^2}{2g'_{\text{бт}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нгп2}} - h_{\text{ск}}^{\text{нгп2}} - h_{\text{св}}^{\text{нгп2}}, \quad (4.3)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нгп2}} i l 10^{-3}$  – профільна висота ділянки від вершини гірки до входу на пучкову гальмову позицію;

$V_{0,\text{ном}}$  – номінальна швидкість розпуску;

$h_{\text{осн}}^{\text{нгп2}}, h_{\text{ск}}^{\text{нгп2}}, h_{\text{св}}^{\text{нгп2}}$  – питома робота сил опору руху відповідно основного, стрілок і кривих, середовища й вітру на ділянці від вершини гірки до входу на пучкову гальмову позицію;

$g'_{\text{бр}}$  – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції обертових мас вагона,  $\text{м/с}^2$ .

З метою нормування вираз (4.3) може бути записано як

$$\sum_j^{k_1} p_j^{\text{ГП1}} \geq C_1. \quad (4.4)$$

Тут параметр  $C_1$  характеризує мінімально допустиме значення зусилля натискання шин уповільнювачів на колесо, що визначається як

$$C_1 = \frac{r p_{\text{ном}}^{\text{мін}}}{H_{\text{ном}}} \left( \sum_{\text{ВГ}}^{\text{нГП2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{ГП2}}^2}{2g'_{\text{бр}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нГП2}} - h_{\text{ск}}^{\text{нГП2}} - h_{\text{св}}^{\text{нГП2}} \right),$$

де  $\sum_j^{k_1} p_j^{\text{ГП1}}$  – сума вимірних величин зусиль натискання шин уповільнювачів ГП1 по осях важелів.

З огляду на той факт, що забезпечити альтернативні способи гальмування відчепів на цій ділянці гірки неможливо, то при порушенні умови (4.4) розпуск повинен бути припинений.

Уповільнювачі ГП1 і ГП2 повинні забезпечити вхід усіх відчепів на паркову гальмову позицію ПГП з допустимою швидкістю. Перевірка можливості виконання цієї умови здійснюється за допомогою виразу

$$\sum_{i=1}^2 H_{\text{ГП},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{нПГП}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{ПГП}}^2}{2g'_{\text{бр}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нПГП}} - h_{\text{ск}}^{\text{нПГП}} - h_{\text{св}}^{\text{нПГП}}, \quad (4.5)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нПГП}} i l 10^{-3}$  – профільна висота ділянки від вершини гірки до входу на паркову гальмову позицію;

$V_{\text{ПГП}}$  – допустима швидкість входу відчепа на паркову гальмову позицію;

$h_{\text{осн}}^{\text{нПГП}}, h_{\text{ск}}^{\text{нПГП}}, h_{\text{св}}^{\text{нПГП}}$  – питома робота сил опору руху відповідно основного, стрілок і кривих, середовища й вітру на ділянці від вершини гірки до входу на ПГП.

При порушенні умови (4.5) розпуск повинен бути припинений.

Відповідно до [26] перша і друга гальмові позиції спільно повинні забезпечити зупинку відчепа на другій гальмовій позиції. Зазначена вимога висувається з тією метою, щоб у разі виникнення в межах стрілочної зони ситуації, що загрожує безпеці руху, була можливість зупинити відчепа, які скочуються. Перевірка можливості виконання цієї умови здійснюється за допомогою формули

$$\sum_{i=1}^2 H_{\Gamma i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{кГП2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0, \text{НОМ}}^2}{2g'_{\text{БТ}}} - h_{\text{ОСН}}^{\text{кГП2}} - h_{\text{СК}}^{\text{кГП2}} - h_{\text{СВ}}^{\text{кГП2}}, \quad (4.6)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{кГП2}} i l 10^{-3}$  – профільна висота ділянки від вершини гірки до виходу з ГП2;

$h_{\text{ОСН}}^{\text{кГП2}}, h_{\text{СК}}^{\text{кГП2}}, h_{\text{СВ}}^{\text{кГП2}}$  – питома робота сил опору руху відповідно основного, стрілок і кривих, середовища й вітру на ділянці від вершини гірки до виходу з ГП2.

Графічно безпечні режими роботи гальмових уповільнювачів можуть бути зображені у вигляді області допустимих режимів гальмування [99]. Для ілюстрації обмежень 3, 5 і 6 вони наведені на координатній площині  $H_{\text{ГП1}} O H_{\text{ГП2}}$  на рис. 4.1 у вигляді ліній  $U_1, U_2$  і  $U_3$ , які виділяють три області  $\Omega_1, \Omega_2$  і  $\Omega_3$ . Якщо наявні потужності ГП1 і ГП2 відповідають області  $\Omega_1$ , то розпуск виконується в нормальному режимі, якщо області  $\Omega_2$  – з обмеженнями, області  $\Omega_3$  – розпуск припиняється.

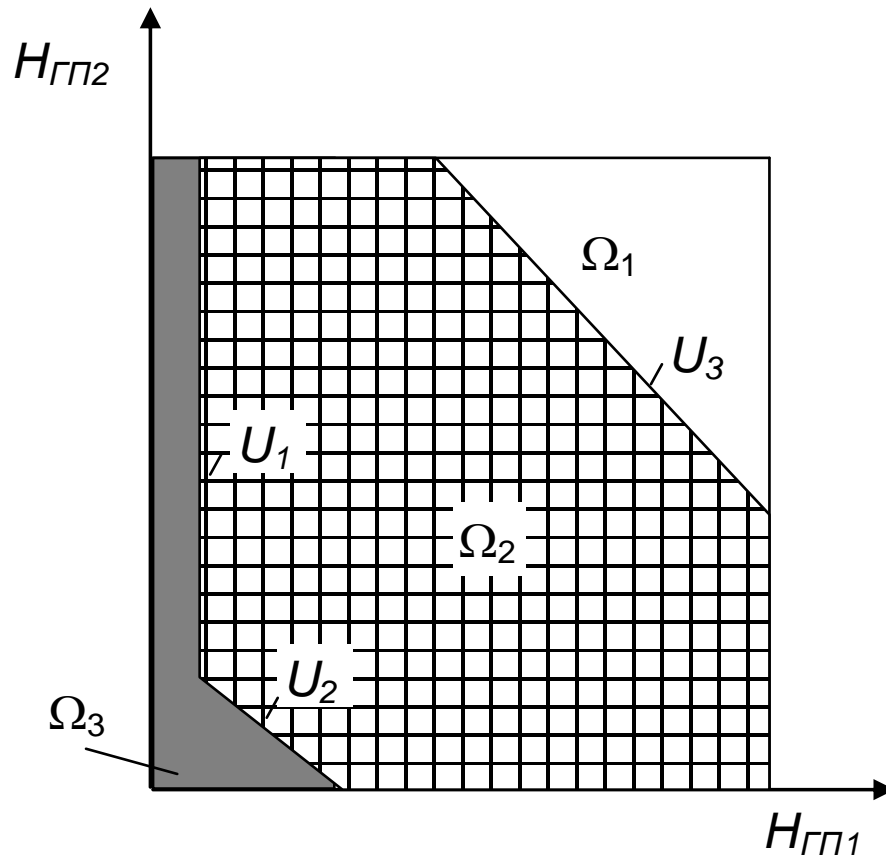


Рисунок 4.1 – Графічне зображення обмежень потужності гальмових позицій спускної частини гірки

Опір середовища й вітру, а також стрілок і кривих залежить від швидкості руху відчепів. Тому вплив першої та другої гальмових позицій на втрату вагоном енергетичної висоти не рівнозначний.

У зв'язку з цим умови (4.5) і (4.6) можна подати як

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\Gamma\Pi 1} + k_1 \sum_j^{r_2} p_j^{\Gamma\Pi 2} \geq C_2, \quad (4.7)$$

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\Gamma\Pi 1} + k_2 \sum_j^{r_2} p_j^{\Gamma\Pi 2} \geq C_3, \quad (4.8)$$

де  $\sum_j^{r_2} p_j^{\Gamma\Pi 2}$  – сума вимірних величин зусиль натискання шин уповільнювачів

по осях важелів.

Ліва частина виразів (4.7) та (4.8) відповідає фактичному зусиллю натиснення шин уповільнювачів на колесо з урахуванням різного ступеня їх

впливу на величину енергетичної висоти, яку погашають та яка характеризується коефіцієнтами  $k_1 > 1$  та  $k_2 > 1$ . Параметри  $C_2$  і  $C_3$  характеризують мінімально допустиме значення зусилля натискання шин уповільнювачів на колесо, при яких виконуються умови (4.5) і (4.6). Значення коефіцієнтів  $k_1, k_2$ , а також параметрів  $C_2, C_3$  визначаються на підставі моделювання скочування відчепів.

При невиконанні вимоги (4.8) процес інтервального регулювання швидкості скочування відчепів повинен переводитися в захищений стан. Результатом втрати потужності уповільнювачами спускної частини гірки може бути збільшення ймовірності нерозділень відчепів, а також небезпечні ситуації, пов'язані із зупинками відчепів у стрілочній зоні. Захищений стан сортувального процесу при цьому може реалізовуватися за рахунок призупинення розпуску для забезпечення поділу несприятливих поєднань відчепів у пучках і за рахунок припинення розпуску для забезпечення поділу відчепів, які прямують в одну секцію. Використання першого режиму допускається при можливості реалізації достатніх інтервалів на розділових елементах, розташованих до ГП2, у розрахунковому поєднанні бігунів [26]. При цьому можливість поділу повільного легкого і швидкого важкого бігунів визначається умовою

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ГП1}} \geq C_4, \quad (4.9)$$

а потужність ГП2 і паркової гальмової позиції допускають часткове використання ГП1 для забезпечення поділу повільного важкого і швидкого легкого бігунів. Ця умова формулюється як

$$\left( \sum_j^{r_2} p_j^{\text{ГП2}} + k_3 \sum_j^{r_3} p_j^{\text{ППП}} \right) / k_H \geq C_5, \quad (4.10)$$

де  $\sum_j^{r_3} p_j^{\text{ППП}}$  – сума вимірних величин зусиль натискання шин уповільнювачів

ППП по осях важелів.

Значення коефіцієнта  $k_3$ , а також параметрів  $C_4, C_5$  визначаються на підставі моделювання скочування відчепів.

У захищеному стані інтервального регулювання швидкості скочування відчепів черговий по гірці перед розпуском на основі аналізу структури состава й стану колій сортувального парку повинен виділити несприятливі поєднання відчепів і намітити відсівні колії. У процесі розпуску має максимально використовуватися потужність першої гальмової позиції, а другої – залежно від потреб прицільного регулювання швидкості скочування відчепів. Проштовхування вагонів, що зупинилися в стрілочній зоні, забороняється.

Потужність уповільнювачів на спускній частині сортувальної гірки та на сортувальних коліях повинна забезпечувати вимоги прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, які полягають в їх докочуванні до вагонів у сортувальному парку зі встановленою ПТЕ швидкістю  $V_{\text{рт}} = 5$  км/год. Як розрахункова точка прицілювання при цьому приймається точка на відстані 50 м від паркової гальмової позиції [26]. Необхідно зауважити, що поздовжні профілі великої кількості сортувальних колій залізничних станцій України мають прискорюючі ухили. У таких умовах уповільнювачі повинні забезпечувати зупинку відчепів на ПГП, тобто як розрахункова приймається точка виходу з ПГП, а  $V_{\text{рт}} = 0$ . У цілому вимоги прицільного регулювання описуються умовою

$$\sum_{i=1}^3 H_{\text{гп},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{рт}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{рт}}^2}{2g'_{\text{от}}} - h_{\text{осн}}^{\text{рт}} - h_{\text{ск}}^{\text{рт}} - h_{\text{св}}^{\text{рт}}, \quad (4.11)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{рт}} i l 10^{-3}$  – профільна висота ділянки від вершини гірки до розрахункової точки;

$h_{\text{осн}}^{\text{рт}}, h_{\text{ск}}^{\text{рт}}, h_{\text{св}}^{\text{рт}}$  – питома робота сил опору руху відповідно основного, стрілок і кривих, середовища й вітру на ділянці від вершини гірки до розрахункової точки.

Умова (4.11) може бути записана як

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ГП1}} + k_4 \sum_j^{r_2} p_j^{\text{ГП2}} + k_5 \sum_j^{r_3} p_j^{\text{ГП3}} \geq C_6. \quad (4.12)$$

Значення коефіцієнтів  $k_4, k_5$ , а також параметра  $C_6$  визначаються на підставі моделювання скочування відчепів.

У разі якщо ця умова не виконується, то процес прицільного регулювання швидкості скочування відчепів переводиться в захищений стан за рахунок їх додаткового башмачного гальмування на сортувальних коліях. Використання цього стану можливо, якщо потужність гальмових позицій на маршруті скочування забезпечує допустиму швидкість входу відчепів на башмачну гальмову позицію  $V_{\text{тб}} \leq 3,5$  м/с [26]. Ця умова формулюється за допомогою виразу

$$\sum_{i=1}^3 H_{\text{ГП},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{БГП}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{тб}}^2}{2g'_{\text{бт}}} - h_{\text{осн}}^{\text{БГП}} - h_{\text{ск}}^{\text{БГП}} - h_{\text{св}}^{\text{БГП}}, \quad (4.13)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{БГП}} i l 10^{-3}$  – профільна висота ділянки від вершини гірки до башмачної гальмової позиції;

$h_{\text{осн}}^{\text{БГП}}, h_{\text{ск}}^{\text{БГП}}, h_{\text{св}}^{\text{БГП}}$  – питома робота сил опору руху відповідно основного, стрілок і кривих, середовища і вітру на ділянці від вершини гірки до башмачної гальмової позиції.

Умова (4.13) може бути записана як

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ГП1}} + k_6 \sum_j^{r_2} p_j^{\text{ГП2}} + k_7 \sum_j^{r_3} p_j^{\text{ГП3}} \geq C_7. \quad (4.14)$$

Значення коефіцієнтів  $k_6, k_7$ , а також параметра  $C_7$  визначаються на підставі моделювання скочування відчепів.

У захищеному стані прицільного регулювання швидкості скочування відчепів темп розпуску повинен бути таким, щоб регулювальники швидкості вагонів встигали виконувати гальмування відчепів. При послідовному

скочуванні відчепів призначенням на колію, що обслуговується одним регулювальником, розпуск повинен припинятися. Довжина вільних кінців сортувальних колій має забезпечувати можливість гальмування відчепа до безпечної швидкості його підходу до стоячих вагонів на коліях. Проштовхування вагонів на ділянці до башмакоскидача забороняється.

У цілому на підставі аналізу потужності гальмових уповільнювачів сортувальної гірки можуть бути виділені такі режими розпуску:

- штатний режим;
- захищений режим забезпечення вимог інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, який реалізується за рахунок зниження швидкості насування й переривання розпуску при прогнозуванні небезпечних ситуацій на спускній частині гірки;
- захищений режим забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, який реалізується за рахунок додаткового башмачного гальмування відчепів на сортувальних коліях, переривання розпуску для забезпечення можливості послідовного гальмування відчепів регулювальниками швидкості скочування вагонів на різних коліях і виконання додаткової роботи з підготовки колій до розпуску;
- заборона на спуск вагонів з гірки на певні колії без локомотива.

#### **4.3. Розробка заходів із забезпечення безпеки розформування составів на сортувальних гірках**

Розробка заходів із забезпечення безпеки розформування составів на сортувальних гірках проілюстрована на прикладі парної та непарної сортувальних гірок станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Парна сортувальна гірка є автоматизованою трипозиційною сортувальною гіркою. У підгірковому парку 16 колій. Схема колійного розвитку гірки наведена на рис. 4.2.

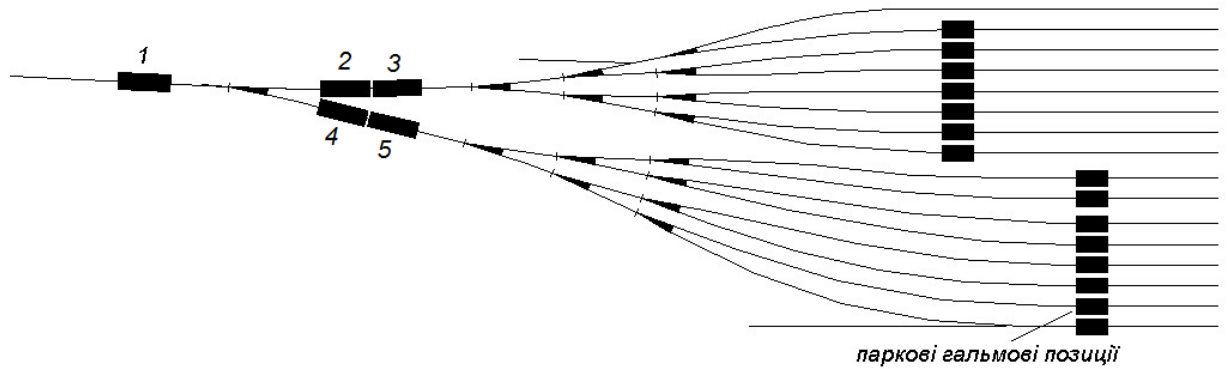


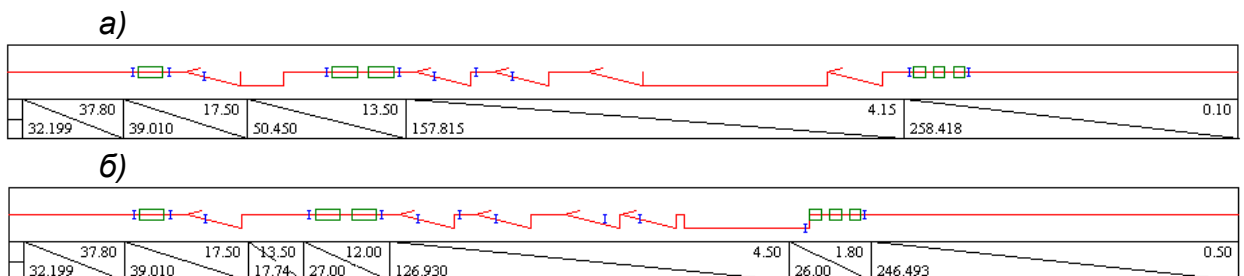
Рисунок 4.2 – Схема парної сортувальної гірки

Сортувальна гірка має одну спускну колію. Сортувальні колії згруповано у два пучки. Спускна частина сортувальної гірки обладнана уповільнювачами КЗ-3. Паркові гальмові позиції обладнані уповільнювачами РНЗ-2 по три на кожну колію. Характеристика уповільнювачів парної сортувальної гірки наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристика гальмових уповільнювачів парної сортувальної гірки

Номер уповільнювача	Тип уповільнювача	Кількість ланок	Гальмова потужність, м. ен. в.	Нормативне зусилля натиснення гальмових шин, т
Спускна частина				
1,2,3,4,5	КЗ-3	3	1,0	10±2
Паркові гальмові позиції				
	РНЗ-2	1	0,4	10,0±2

Розгортку та поздовжній профіль парної сортувальної гірки наведено на рис. 4.3.



а – перший пучок; б – другий пучок

Рисунок 4.3 – Поздовжні профілі та розгортки маршрутів скочування парної сортувальної гірки

Проблемами парної сортувальної гірки є технічні несправності всіх уповільнювачів спускної частини сортувальної гірки та недостатня величина тиску в гальмовій магістралі, яка становить 5-5,7 МПа замість 6,5 МПа.

Непарна сортувальна гірка є механізованою трипозиційною сортувальною гіркою. У підгірковому парку 31 колія. Схема колійного розвитку гірки наведена на рис. 4.4.

Сортувальна гірка має одну спускну колію, на якій встановлено два гальмові уповільнювачі НК-114 – триланковий та п'ятиланковий. Сортувальні колії згруповано в п'ять пучків, які обладнано гальмовими уповільнювачами різних типів: НК-114, ЗВУ, КЗ-3, КЗ-5. На першому пучку застосовується башмачне гальмування. Паркові гальмові позиції на коліях інших пучків обладнані уповільнювачами РНЗ-2 по три на кожен колію. Характеристика уповільнювачів непарної сортувальної гірки наведена в табл. 4.2.

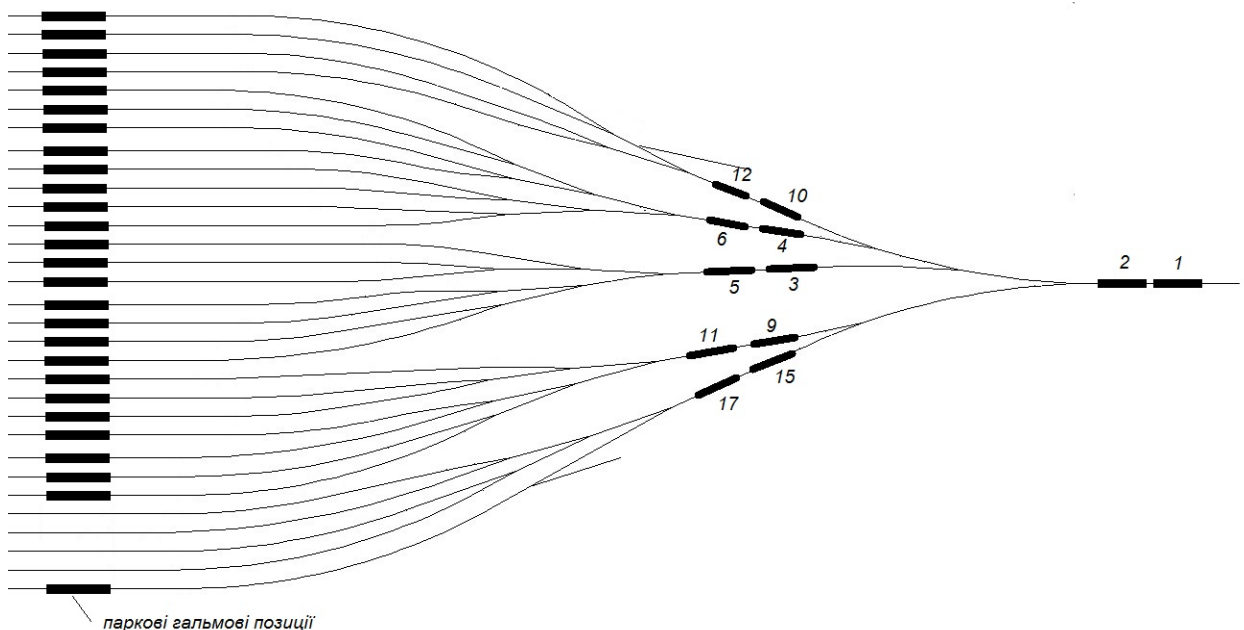
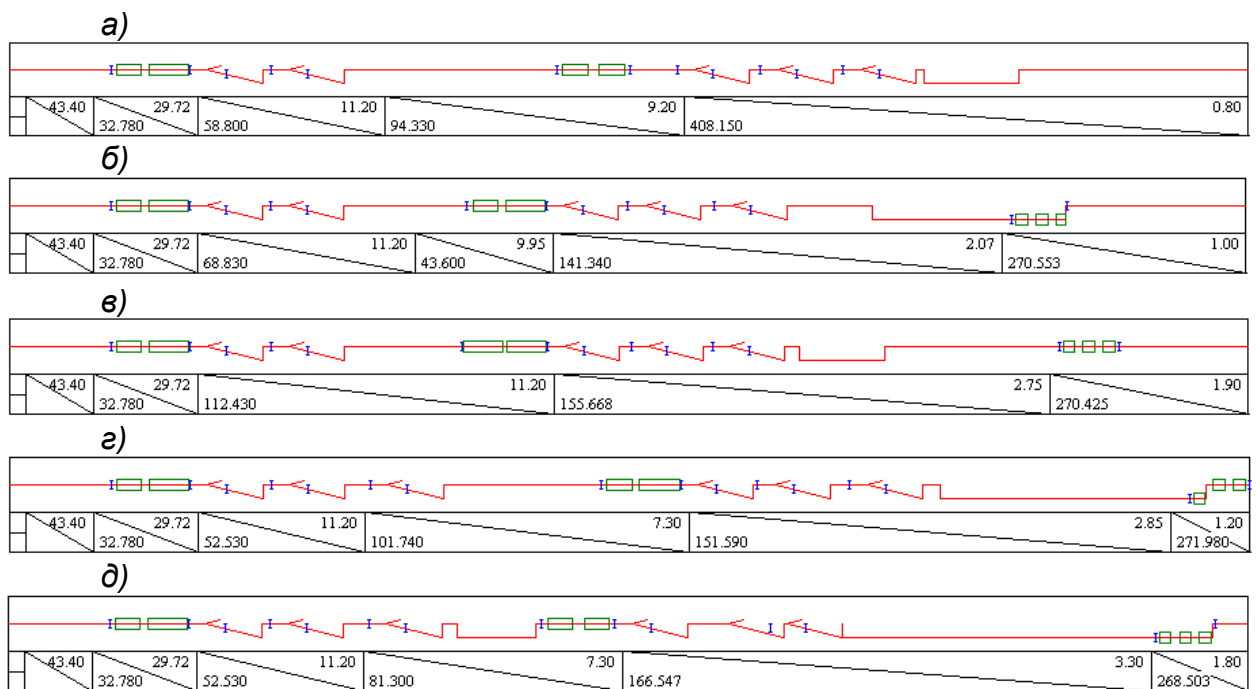


Рисунок 4.4 – Схема непарної сортувальної гірки

Таблиця 4.2 – Характеристика гальмових уповільнювачів непарної сортувальної гірки

Номер уповільнювача	Тип уповільнювача	Кількість ланок	Гальмова потужність, м. ен. в.	Нормативне зусилля натиснення гальмових шин, т
Спускна частина				
1	НК114	3	1,5	12,5±0,5
2	НК114	5	2,0	12,5±0,5
3	ЗВУ	5	1,9	12,5±0,5
4	КЗ-3	3	1,0	10±2
5	НК114	5	2,0	12,5±0,5
6	КЗ-5	5	1,4	10±2
9	НК114	3	1,5	12,5±0,5
10	КЗ-3	5	1,0	10±2
11	КЗ-5	5	1,4	10±2
12	ЗВУ	5	1,9	12,5±0,5
15	КЗ-3	3	1,0	10±2
17	КЗ-3	3	1,0	10±2
Паркові гальмові позиції				
	РНЗ-2	1	0,4	10,0±2

Розгортки та поздовжні профілі непарної сортувальної гірки наведено на рис. 4.5.



*а* – перший пучок; *б* – другий пучок; *в* – третій пучок; *г* – четвертий пучок; *д* – п'ятий пучок

Рисунок 4.5 – Поздовжні профілі та розгортки маршрутів скочування непарної сортувальної гірки

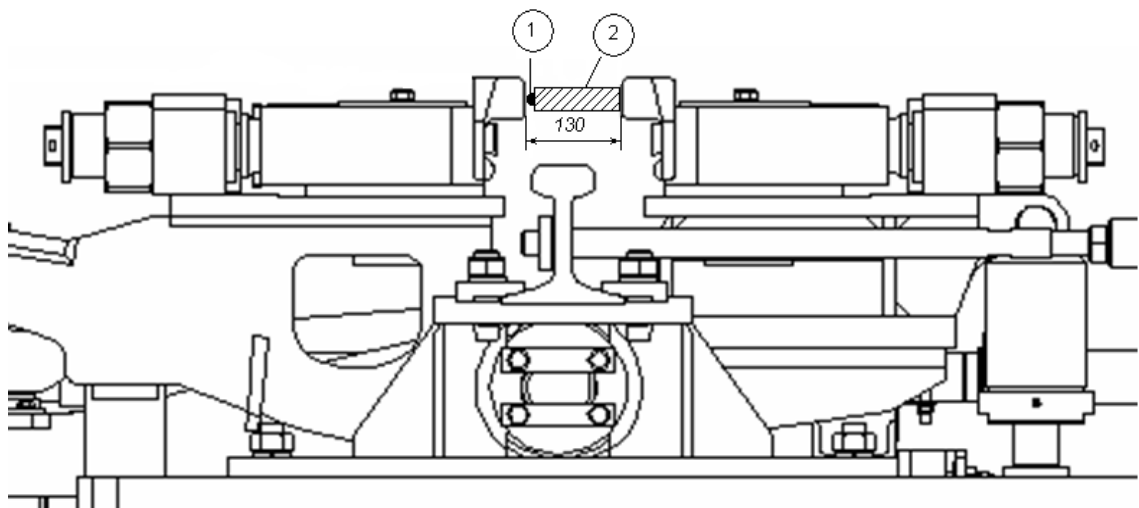
Проблемами непарної сортувальної гірки є несправності уповільнювачів КЗ та ЗВУ, що не забезпечують досягнення встановленої гальмової потужності, а також прискорюючі ухили сортувальних колій.

Для визначення фактичної гальмової потужності уповільнювачів виконано вимірювання сили натиснення їх шин на колеса вагонів. Об'єктом випробувань при цьому були вагонні уповільнювачі, що встановлені на спускній частині та на сортувальних коліях непарної сортувальної гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

Для визначення зусилля натиснення шин уповільнювача на колесо вагона використовувалися такі засоби вимірювання:

- вимірювально-реєстраційна станція на базі тензометричної апаратури ТМА32;
- тензорезистор КФ5П1-10-200(А12), вмонтований у месдозу товщиною 20 мм.

Для виконання вимірювань месдоза закріплюється на металевому вкладиші товщиною 110 мм, який встановлюється між шинами уповільнювача (рис. 4.6). Загальна ширина вкладиша та месدوزи 130 мм відповідає ширині обода колеса вагона.



1 – месдоза; 2 – металевий вкладиш

Рисунок 4.6 – Розташування месدوزи на уповільнювачі

Результати вимірювань сили тиску шин уповільнювача на колесо наведено в додатку А.

Гальмова потужність уповільнювачів визначена за методикою, описаною в п. 4.2, і наведена в табл. 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Гальмові потужності уповільнювачів парної сортувальної гірки

Номер уповільнювача	Тип уповільнювача	Кількість ланок	Гальмова потужність, м. ен. в.	Нормативне зусилля натиснення гальмових шин, т	Потужність гальмової позиції
Спускна частина					
1	КЗ-3	3	0,97	0,94	0,94
2	КЗ-3	3	0,5	0,43	1,37
3	КЗ-3	3	0,98	0,94	
4	КЗ-3	3	0,32	0,25	0,69
5	КЗ-3	3	0,47	0,44	
Паркові гальмові позиції					
	РНЗ-2	1	0,4	10,0±2	

Таблиця 4.4 - Гальмові потужності уповільнювачів непарної сортувальної гірки

Номер уповільнювача	Тип уповільнювача	Кількість ланок	Фактична гальмова потужність, м. ен. в.	Розрахункова гальмова потужність, м. ен. в.
Спускна частина				
1	НК114	3	0,96	0,96
2	НК114	5	1,87	1,87
3	ЗВУ	5	1,29	0,99
4	КЗ-3	3	0,83	0,81
5	НК114	5	1,64	1,64
6	ЗВУ	5	1,17	0,92
9	НК114	3	0,94	0,94
10	КЗ-3	5	0,87	0,81
11	КЗ-5	5	1,30	0,99
12	ЗВУ	3	1,04	0,82
15	КЗ-3	3	0,81	0,76
17	КЗ-3	3	0,98	0,94
Паркові гальмові позиції				
	РНЗ-2	1	0,6	0,6

Розроблена методика дозволяє оцінити вплив застосовуваних у даний час обмежень швидкості розпуску й маси відчепів на безпеку сортувального процесу.

Допустимі величини швидкості розпуску составів для сортувальних гірок різної потужності встановлені в [26]. Зокрема, для гірок великої потужності розрахунок поздовжнього профілю й потужності гальмових засобів виконується при максимальній швидкості 2,2 м/с, для гірок середньої потужності – 1,9 м/с. Мінімальна швидкість розпуску може бути прийнята 0,8 м/с, встановлена як номінальна для немеханізованих гірок малої потужності. Таким чином, додаткова величина енергетичної висоти, яку погашають і мають реалізувати уповільнювачі, в разі перевищення мінімальної швидкості розпуску, становить 0,23-0,16 метрів енергетичної висоти. Зазначена величина є несуттєвою порівняно з потужністю гальмових позицій сортувальних гірок великої і середньої потужності. У зв'язку з цим швидкість розпуску составів несуттєво впливає на потрібну потужність уповільнювачів гальмових позицій. Основний ефект, який досягається при зниженні швидкості розпуску, – збільшення резервів часу на розділових елементах до 11 с, що дозволяє гарантувати поділ відчепів на стрілках, розташованих до ГП2. З огляду на те що на ці стрілки припадає понад 70 % розділень, то зниження швидкості насування істотно скорочує кількість перерв у розпуску й забезпечує економію витрат на розгони й гальмування составів.

Втрата уповільнювачами гальмової потужності обмежує можливість осіб, які керують процесом скочування відчепів, реагувати на небезпечні ситуації на спускній частині гірки, а також призводить до зростання завантаження регулювальників швидкості вагонів на сортувальних коліях. Величина додаткового резерву часу, що досягається при зниженні швидкості розпуску, не забезпечує парирування цих небезпечних ситуацій і в разі їх виникнення безпека сортувального процесу повинна забезпечуватися не за рахунок низької швидкості розпуску, а за рахунок планування перерв у

розпуску для виключення небезпечних ситуацій.

При скачуванні багатовагонних відцепів необхідно враховувати певні особливості їх руху.

Наслідком збільшення кількості вагонів у відцепі є зменшення його прискорення на швидкісній ділянці гірки. Як приклад, на рис. 4.7 наведено залежності  $V = f(S)$  для одно- і десятивагонного відцепів. При цьому, з огляду на низьку швидкість входу останнього на ГП1, можливі помилки чергового по гірці при виборі режиму гальмування відчепа і втрата потужності уповільнювача через пропуск частини вагонів без гальмування.

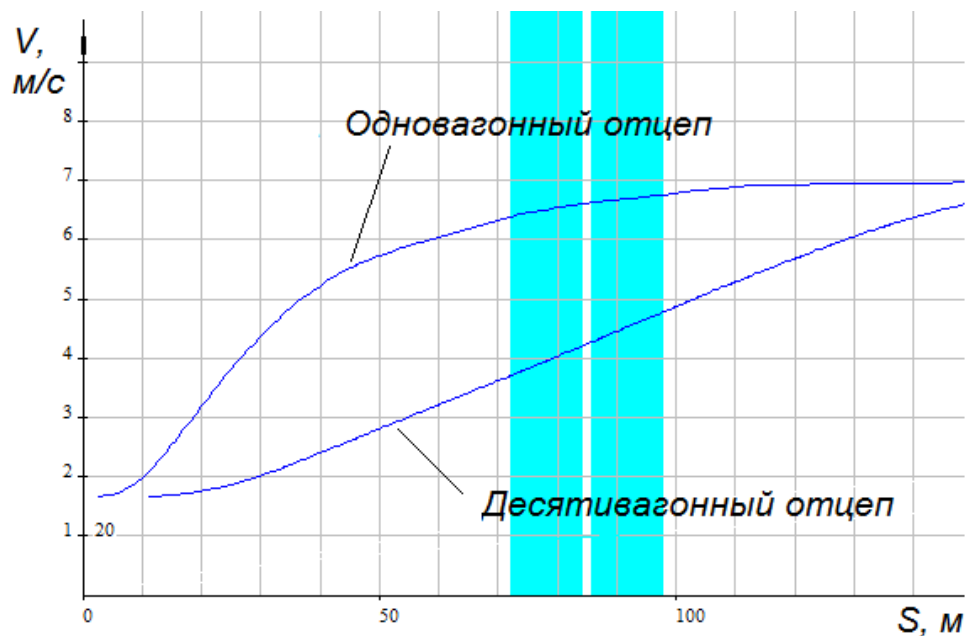


Рисунок 4.7 – Графіки швидкості скочування одно- і десятивагонного відчепа

Необхідно зауважити, що при збільшенні кількості вагонів у відцепі загальна робота уповільнювачів для їх гальмування зменшується. Це пояснюється менш інтенсивним розгоном вагонів на швидкісній ділянці у зв'язку з тим, що частина вагонів відчепа до вершини гірки заважає набору прискорення. Окрім того, зі збільшенням кількості вагонів у відцепі зменшується їх площа обдуву.

На окремих сортувальних гірках, як, наприклад, на непарній гірці

станції Нижньодніпровськ-Вузол, через близьке розташування уповільнювачів ГП1 до вершини гірки можлива зупинка довгих відцепів вже на ГП1 і їх нагін составом, який насувається. Результатами такої ситуації може бути схід вагонів і пошкодження уповільнювачів.

Виконані в [95, 90] дослідження показують, що на швидкостях менше ніж 5 км/год у бічних рамах візків вагонів виникають наднормативні напруження, що призводять до їх передчасного зносу. Для забезпечення нормальних умов експлуатації вагонів у [90] рекомендована швидкість входу вагонів в уповільнювачі становить не менше ніж 10-15 км/год. У зв'язку з цим, можна рекомендувати обмежувати довжину відцепів таким чином, щоб швидкість їх входу на першу гальмову позицію в несприятливих умовах становила не менше 3 м/с.

У результаті несприятливими умовами гальмування багатовагонних відцепів є такі:

- висока імовірність помилки при виборі режиму гальмування, оскільки гальмування відцепів повинно здійснюватись, незважаючи на низьку їх швидкість руху;
- одночасне перебування гальмованих вагонів в уповільнювачах першої та другої гальмової позиції, що ускладнює контроль за процесом гальмування, особливо в умовах, коли відцеп складається з вагонів різних вагових категорій, а керування уповільнювачами спускної частини здійснюється однією особою;
- низька швидкість входу відчепа на першу гальмову позицію і створення значних зусиль у бокових рамах візків при гальмуванні.

Питома робота гальмівних сил уповільнювача пропорційна осеметрам гальмування. Тому в процесі гальмування до повної зупинки багатовагонні відчепа повинні пройти більший шлях, ніж одновагонні. У зв'язку з цим при підготовці сортувальних колій до розпуску повинна бути забезпечена довжина колії, достатня для зниження швидкості багатовагонного відчепа до прийняттого значення. У разі якщо на колії використовується додаткове

башмачне гальмування, то ця відстань повинна визначатися від башмакоскидача. У [57] рекомендується обмежувати довжини відчепів, виходячи з можливості забезпечення виходу перших їх вагонів з ПГП з встановленою ПТЕ швидкістю підходу відчепів вагонів, що стоять на сортувальних коліях, 5 км/год. Аналіз причин виникнення небезпечної ситуації на гірці, що вимагає введення такого обмеження, показує, що вона пов'язана не зі скочуванням багатовагонного відчепа, а з організацією проштовхування вагонів, що зупинилися за парковою гальмовою позицією, за допомогою багатовагонного відчепа. З огляду на погану прогнозованість руху вагонів на низьких швидкостях, а також при їх поєднанні зі стоячими вагонами таке проштовхування може спричинити зупинку відчепа на спускній частині гірки і є неприпустимим. Тому безпека розпуску повинна забезпечуватися за рахунок завчасної підготовки колії до скочування багатовагонних відчепів або за рахунок призупинення розпуску та вжиття заходів щодо ліквідації небезпечної ситуації.

Зазначені небезпечні ситуації характерні як для умов функціонування сортувальних гірок у штатному режимі, так і для позаштатних режимів, зумовлених втратою уповільнювачами гальмової потужності. Тому можна зробити висновок, що проблема скочування багатовагонних відчепів вимагає додаткових досліджень, однак прямий зв'язок між безпекою сортувального процесу й скочуванням багатовагонних відчепів в умовах втрати потужності уповільнювачів відсутній.

Таким чином, у результаті дослідження отримано комплекс залежностей, які визначають експлуатаційні вимоги до потужності уповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють оперативному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску для забезпечення безпеки сортувального процесу.

З метою встановлення безпечних умов розпуску составів виконано моделювання скочування відчепів на ЕОМ і на його підставі побудовано діаграми допустимих висот, що гасяться уповільнювачами спускної частини

гірки. Модель скочування відчепа ґрунтується на розв'язанні диференціального рівняння руху й для заданих умов дозволяє встановити швидкості та час руху по маршруту скочування. Як розрахункові умови прийнято сприятливі умови скочування при попутному вітрі 5 км/год та 12 км/год. На підставі моделювання розпуску відцепів побудовано області, що характеризують систему обмежень потужності гальмових позицій спускної частини гірки.

Області, що характеризують систему обмежень потужності гальмових позицій для парної сортувальної гірки, наведено на рис. 4.8.

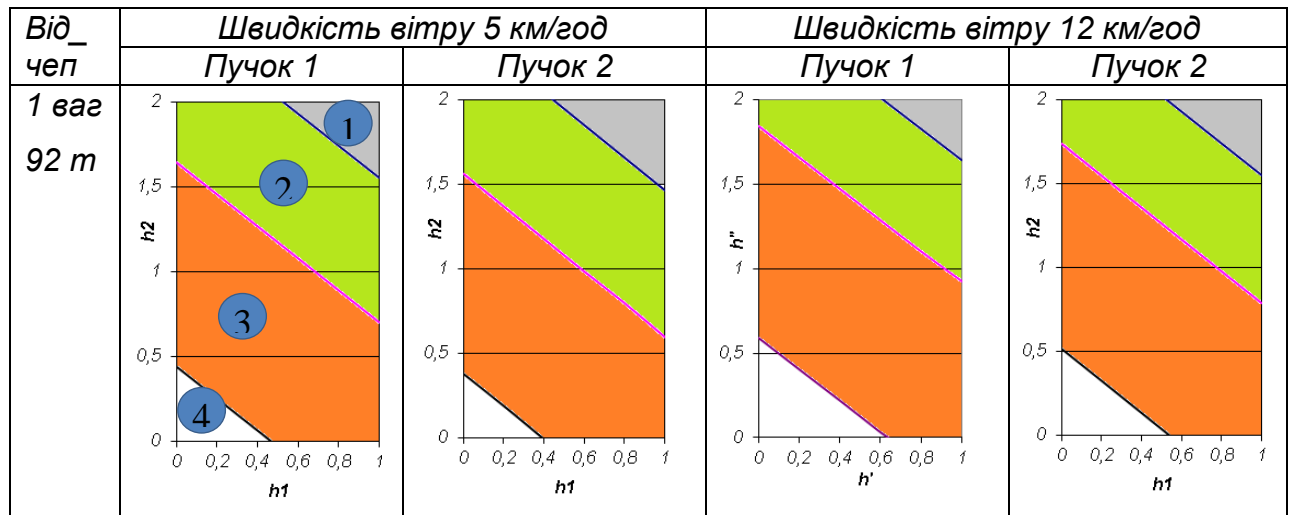


Рисунок 4.8 – Області, що характеризують систему обмежень потужності гальмових позицій для парної сортувальної гірки

Області на рис. 4.8 розбиваються на підобласті в такому порядку, починаючи з правого верхнього кута:

1 – підобласть, у якій виконується умова зупинки відчепа на пучковій гальмовій позиції;

2 – підобласть, на якій виконується умова забезпечення допустимої швидкості виходу відчепа з ПГП при силі тиску її уповільнювачів на колеса вагонів 10 т.

3 – підобласть, на якій виконується умова забезпечення допустимої швидкості виходу відчепа з ППП при силі тиску її уповільнювачів на колеса вагонів 15 т.

4 – підобласть, де гальмової потужності уповільнювачів недостатньо і потрібне додаткове гальмування відцепів башмаками.

Аналіз гальмової потужності уповільнювачів парної сортувальної гірки показує, що для першого пучка вони належать до другої зони, а для другого пучка – до третьої зони області режимів гальмування парної сортувальної гірки. У зв'язку з цим на гірці скочування наступного відчепа повинно здійснюватися лише після звільнення попереднім стрілочних зон по маршруту. Основна робота з гальмування повинна бути перенесена на першу гальмову позицію. Потужність другої гальмової позиції обирається з умов забезпечення парковою гальмовою позицією вимог прицільного гальмування. Потужності уповільнювачів другого пучка недостатньо для гальмування всіх відцепів до заданої швидкості підходу відцепів до вагонів на сортувальних коліях. У зв'язку з цим при масовому розформуванні можуть траплятися випадки перевищення встановленої ПТЕ швидкості й необхідно застосування додаткового башмачного гальмування відцепів.

Області гальмування для пучків 2-5 з механізованими парковими гальмовими позиціями непарної гірки наведено на рис. 4.9.

Аналіз гальмової потужності уповільнювачів непарної сортувальної гірки показує, що в усіх випадках вони належать до першої зони області режимів гальмування непарної сортувальної гірки. У зв'язку з цим на гірці можлива реалізація неперервного розпуску.

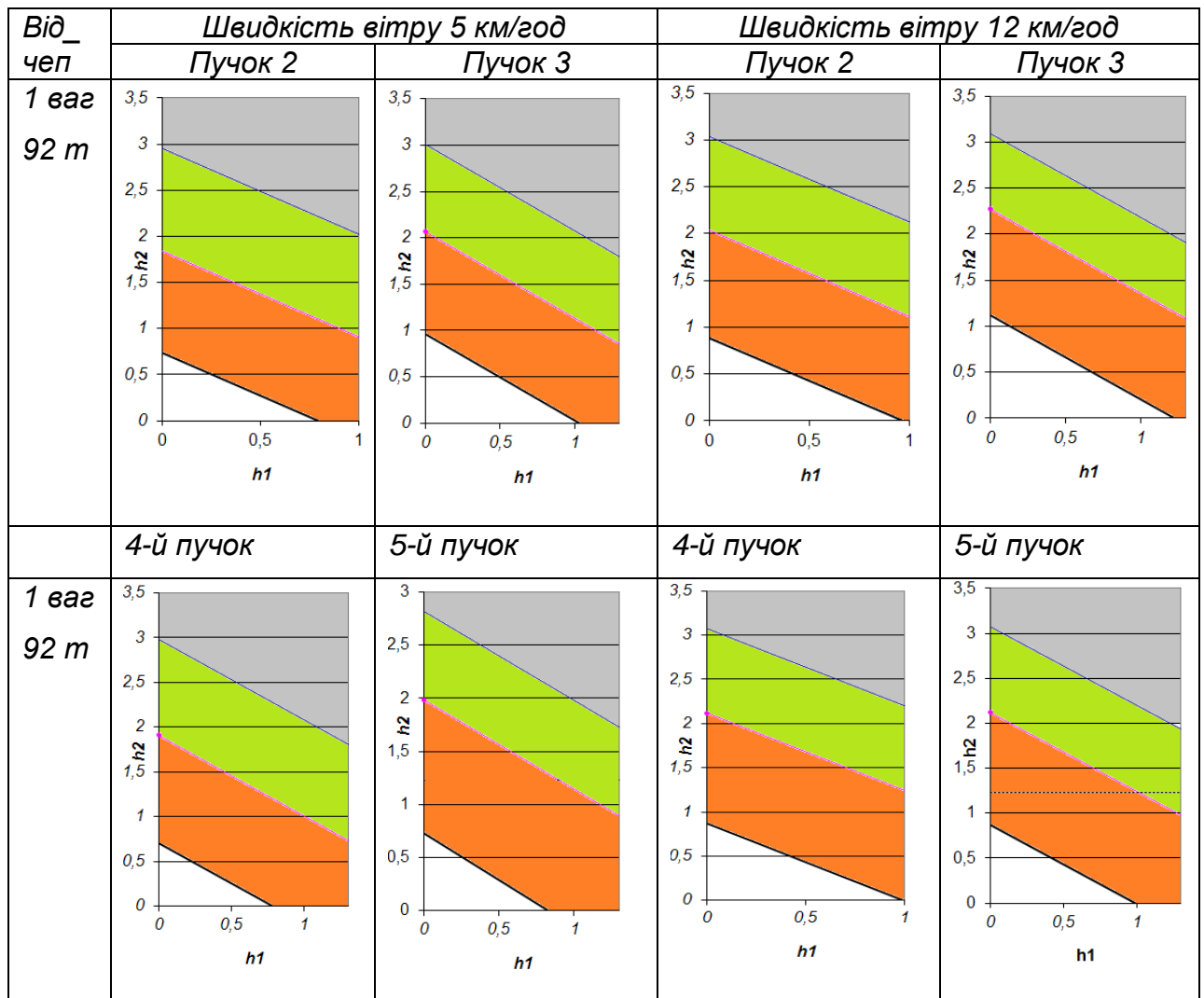


Рисунок 4.9 – Области гальмування для непарної сортувальної гірки

#### 4.4. Дослідження впливу гальмової потужності уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок

Технологічними обмеженнями, що накладаються на процес розформування-формування поїздів, є обмеження швидкості розпуску составів, призупинення розпуску та організація скочування наступного відчепа після звільнення маршруту попереднім, додаткове гальмування відчепів гальмовими башмаками, виконання маневрової роботи з осаджування, закриття окремих колій для розпуску [103]. Функціонування сортувальних гірок пов'язано з дією значної кількості випадкових факторів, таких як характеристики відчепів, умови зовнішнього середовища, величини

гальмової потужності, що реалізується уповільнювачами, та ін. У зв'язку з цим для дослідження поставлених задач використовуються методи імітаційного моделювання та математичної статистики. Визначення швидкості та часу руху відцепів по маршрутах здійснюється на підставі моделювання їх скочування із сортувальної гірки.

Обмеження швидкості скочування відцепів дозволяє забезпечити безпеку процесу розформування-формування при незначній втраті уповільнювачами гальмової потужності в умовах, коли залишкової потужності уповільнювачів достатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відцепів та зупинки відцепів на другій гальмовій позиції. Розрахунок переробної спроможності сортувальної гірки в цьому випадку виконується для допустимої швидкості розпуску згідно з чинною методикою [25].

У випадку, коли потужності уповільнювачів на спускній частині гірки разом з уповільнювачами на сортувальних коліях достатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відцепів, однак недостатньо для зупинки вагонів на другій гальмовій позиції, виникають загрози для безпеки руху при зупинці відцепів на стрілочній зоні або при незакочуванні їх за граничні стовпчики сортувальних колій. Для недопущення небезпечних ситуацій у такому випадку скочування наступного відчепа повинно починатися лише тоді, коли попередніми відчепами повністю звільнено маршрут їх руху.

Процес розформування состава поїзда можна розглядати як сукупність процесів розформування окремих груп відцепів. Поділ составів на групи відбувається у зв'язку з наявністю в них вагонів, спуск яких через гірку без локомотива заборонений [36]. При цьому спуск до сортувального парку вказаних вагонів не потребує регулювання швидкості уповільнювачами й гальмовими башмаками. Окрім того, при обслуговуванні таких відцепів на сортувальній гірці створюється інтервал, достатній для підготовки її технічних засобів та персоналу для безпечного скочування наступного

відчепа. Тому під час розформування составів зупинка відцепів гальмовими уповільнювачами на спускній частин гірки через зайнятість маршрутів скочування здійснюється не для всіх відцепів. Технологічно виникнення небезпечних ситуацій, що вимагають такої зупинки, є неможливим для перших відцепів состава, відцепів з вагонами, які заборонені до спуску з гірки без локомотива, та відцепів, що рухаються за ними. А також при скочуванні відцепів у різні пучки сортувального парку між послідовними відчепами, коли створюється достатній інтервал часу для парирування небезпечних ситуацій за рахунок переведення відцепів на відсівні колії.

Ймовірність розділення відцепів на стрілочній позиції за умови, що кожна стрілка має однакову кількість колій при відхиленні вліво та вправо, може бути визначена формулою [21]

$$P = \frac{2S^2}{M(M-1)},$$

де  $S$  – кількість колій, що примикають до одного напрямку стрілочного перевodu;

$M$  – кількість колій у сортувальному парку.

Тривалість зайняття відчепами маршрутів скочування може бути визначена за середньою швидкістю руху по окремих ділянках сортувальної гірки [26] за виразом

$$t_m = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{60v_i},$$

де  $l_i$ ,  $v_i$  – відповідно довжина та середня швидкість руху відчепа на  $i$ -й ділянці скочування.

Для прикладу в табл. 4.5 наведено характеристики маршрутів скочування відцепів на трипозиційній сортувальній гірці з 32 коліями у сортувальному парку. Пучкова гальмова позиція на вказаній гірці розташовується за другими стрілками по маршруту скочування. Середня кількість вагонів у відцепі состава становить 2,5.

Таблиця 4.5 – Характеристики маршрутів скочування

№ стрілочної позиції	Імовірність розділення відчепів	Довжина маршруту	Тривалість зайняття маршруту
1	0,516	-	-
2	0,258	-	-
3	0,129	219,15	0,75
4	0,065	243,12	0,83
5	0,032	291,37	1,00

Математичне сподівання часу затримки розпуску перед скочуванням відчепа визначається за формулою

$$\bar{t}_3 = \sum_{i=1}^n P_{i^*Mi} \cdot t_i$$

Залежність середньої кількості відчепів у составі, для яких повинна здійснюватися затримка розпуску, від середньої кількості відчепів у составі та середньої кількості відчепів, що заборонені до спуску з гірки без локомотива, наведено на рис. 4.10.

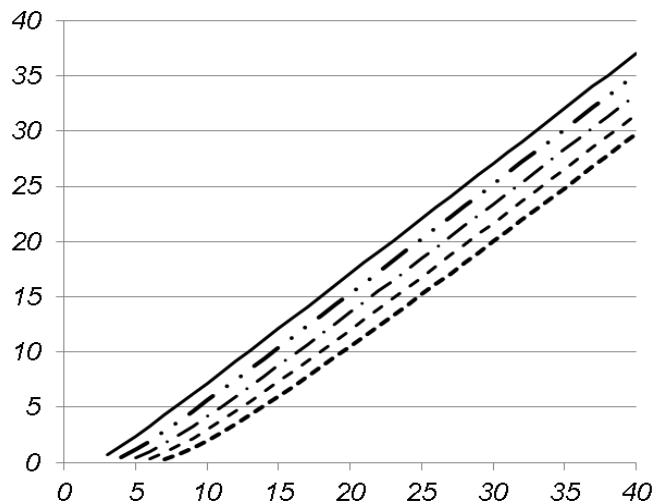


Рисунок 4.10 – Залежності кількості відчепів у составі, що вимагають затримки перед розпуском, від середньої кількості відчепів у составі

Збільшення тривалості розформування состава при цьому може бути визначено як

$$T_{зр} = n_3 \bar{t}_3,$$

де  $n_3$  – кількість зупинок розпуску состава.

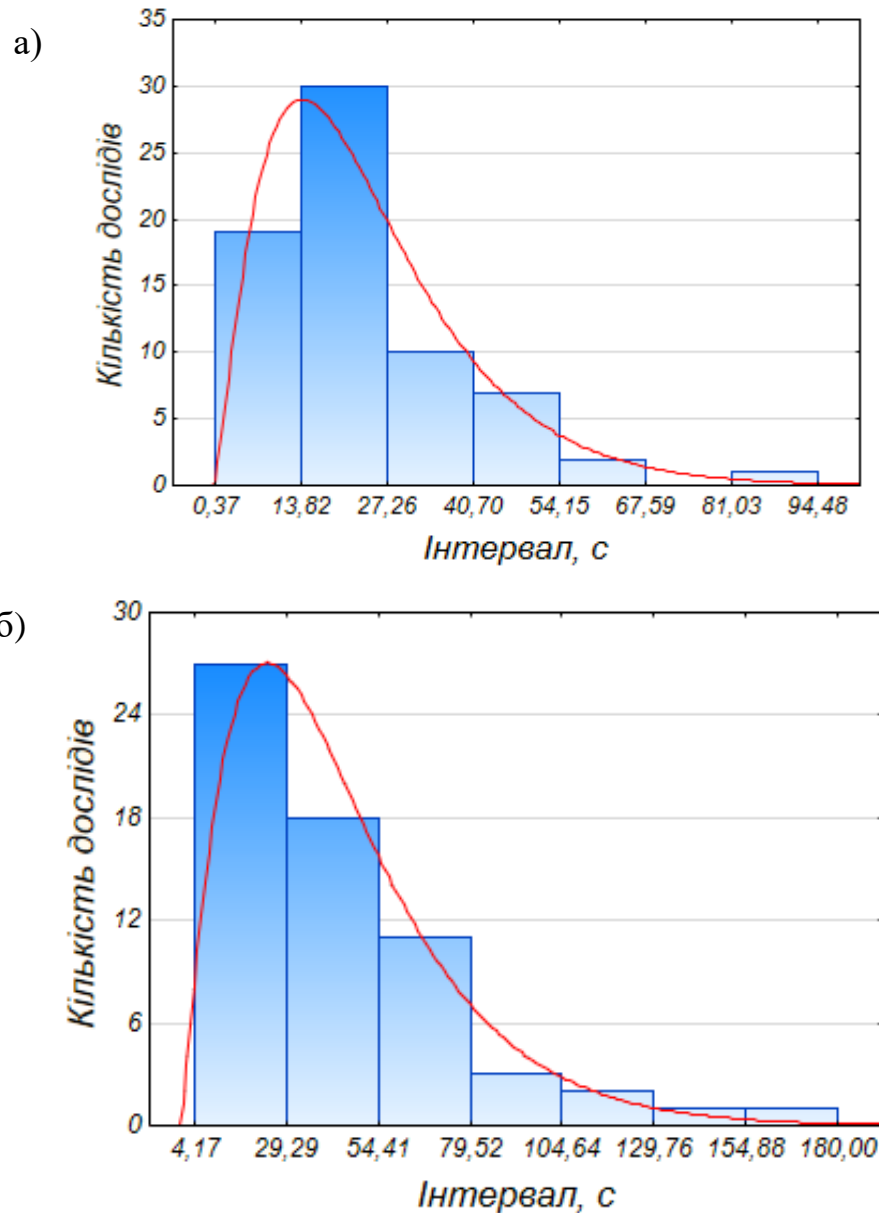
Для розглянутої в прикладі гірки при середній кількості відчепів у составі 22 та за наявності в середньому в составі одного відчепа, що заборонений до спуску з гірки без локомотива, додатковий час на розпуск состава становить 3,5 хв.

У випадку коли потужності гальмових позицій на спускній частині гірки та сортувальних коліях недостатньо для забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальних коліях, необхідно застосовувати додаткове башмачне гальмування. При цьому потрібно зауважити, що механізовані сортувальні гірки не мають достатнього штату регулювальників для забезпечення гальмування відчепів. Тому інтенсивність надходження відчепів на сортувальні колії повинна бути знижена для того, щоб вона не перевищувала інтенсивності їх обслуговування регулювальниками швидкості руху вагонів. За необхідності під час розпуску повинні створюватися перерви для того, щоб регулювальники переходили з однієї колії на іншу.

При дослідженні прицільного регулювання швидкості скочування відчепів група колій, що обслуговується одним регулювальником швидкості руху вагонів, може розглядатись як одноканальна система масового обслуговування (СМО). Вхідний потік цієї СМО створюють відчепа состава, що надходять на сортувальні колії. Апаратом обслуговування при цьому є регулювальник швидкості руху вагонів. Під обслуговуванням розуміється гальмування регулювальником відчепа гальмовими башмаками.

Дослідження інтенсивності надходження вагонів у обслуговування може бути виконано на підставі імітаційного моделювання процесу розформування составів. Тривалості скочування відчепів залежать від швидкості розпуску, режимів гальмування, ходових характеристик відчепів та колій їх призначення. Гістограми та функції щільності розподілу

інтервалів між надходженням відчепів у обслуговування при чотирьох та восьми коліях у групі наведені на рис. 4.11.



*a* – регулювальник обслуговує 8 колій; *б* – регулювальник обслуговує 4 колії

Рисунок 4.11 – Гістограми та функції щільності розподілу випадкової величини інтервалів між надходженням відчепів в обслуговування регулювальниками швидкості руху вагонів:

Статистична обробка результатів моделювання показує, що випадкова величина інтервалу між надходженням відчепів до регулювальника має показниковий розподіл.

Для визначення тривалості зайнятості регулювальника обслуговуванням одного відчепа виконано хронометраж відповідної технологічної операції на станціях Львів та Клепарів. За результатами хронометражу встановлено, що середня тривалість зайнятості регулювальника гальмуванням відцепів на сортувальній колії може бути визначена за виразом

$$t_{\text{рш}} = 0,06 + 0,2m_{\text{від}},$$

де  $m_{\text{від}}$  – середня кількість вагонів у відцепі.

Інтервал між надходженням відцепів на колії, що обслуговуються одним регулювальником, є випадковою величиною, яка залежить від швидкості розпуску состава, розподілу відцепів за призначеннями, кількості регулювальників та розподілу сортувальних колій між ними, тривалості руху відцепів маршрутами скочування. Для прикладу на рис. 4.12 наведено графік надходження відцепів у обслуговування регулювальниками, коли состав складається з вагонів призначенням на колії 1-16, які обслуговуються чотирма регулювальниками.

Аналіз цього графіка показує, що при рівномірній швидкості розпуску будуть спостерігатися випадки одночасного надходження до регулювальників швидкості відцепів 6 та 8, 7 та 9, 16 та 17, а також 14 та 21. Для забезпечення безпечних умов розформування состава необхідно виконувати призупинення розпуску. Тривалість перерви у розпуску визначається потрібним часом для створення достатнього інтервалу між моментами надходження відцепів до регулювальників швидкості, а також часом, потрібним для надання команди на поновлення розпуску, сприйняття її машиністом та розгону состава.

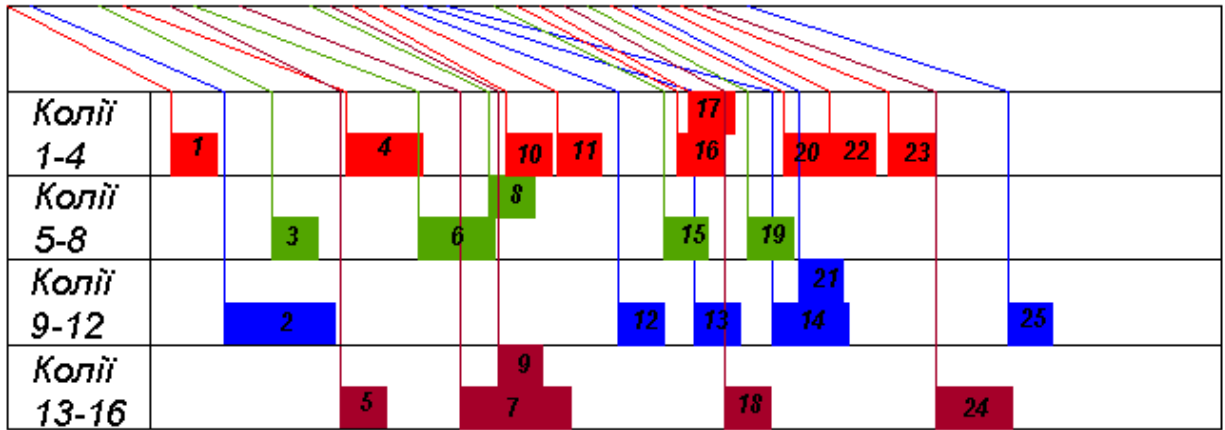


Рисунок 4.12 – Графік надходження відчепів у обслуговування регулювальниками швидкості вагонів

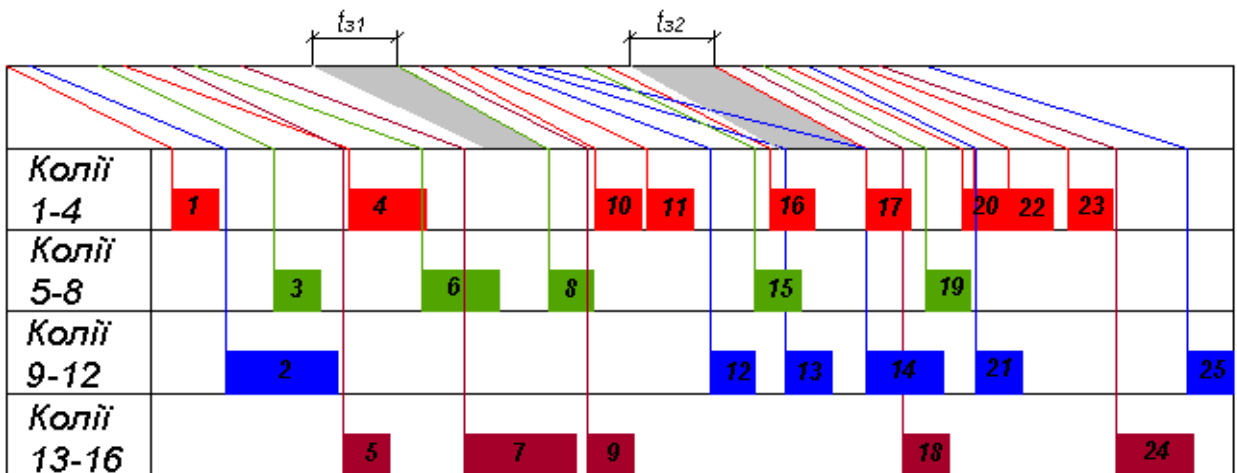


Рисунок 4.13 – Модифікований графік надходження відчепів у обслуговування регулювальниками швидкості вагонів

Задача вибору моментів зупинки розпуску є багатоваріантною і повинна розв'язуватися з умови мінімізації загальної величини затримок.

Модифікований графік надходження відчепів у обслуговування регулювальниками швидкості вагонів з перервами розпуску після відривів 7-го та 16-го відчепів наведено на рис. 4.13. При цьому прийнято, що мінімальна тривалість перерви в розпуску становить 0,5 хв.

У випадку якщо кількість регулювальників буде зменшена до двох, то кількість зупинок повинна бути збільшена через одночасне надходження в обслуговування відчепів 4 та 6, 15 та 16, 14 та 18, 18 та 20.

Через наявність складних зв'язків між швидкістю розпуску состава, режимами гальмування відчепів та інтервалами між ними на гальмових позиціях величина затримок у розпуску повинна визначатися на підставі хронометражних спостережень за роботою гірки або за результатами імітаційного моделювання її функціонування.

Додатково необхідно вказати, що застосування гальмових башмаків для регулювання швидкості скочування відчепів призводить до скорочення корисної довжини сортувальних колій і, як наслідок, до збільшення витрат часу на підготовку їх до розпуску.

У випадку якщо потужності гальмових позицій недостатньо для забезпечення входу відчепів на башмачну гальмову позицію з допустимою для нею швидкістю 3,5 м/с [26], спуск вагонів на неї може здійснюватися маневровим локомотивом. Методика урахування таких відчепів при нормуванні тривалості розпуску состава є аналогічною до методики нормування тривалості маневрів з вагонами, що заборонені до спуску з гірки без локомотива [61].

Альтернативним методом є закриття сортувальних колій для розпуску. У такому випадку використовується змінна спеціалізація сортувальних колій і збільшується частка повторного сортування. Методика оцінки впливу кількості колій у сортувальному парку на умови роботи технічних станцій наведена в [76].

Таким чином, на основі виконаних досліджень запропоновано удосконалені методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які, на відміну від існуючих, дозволяють враховувати технологічні обмеження, що викликані вимогами безпеки сортувального процесу й можуть застосовуватися для оцінки показників роботи гірок в умовах параметричних відмов уповільнювачів.

Застосування запропонованих методів дозволяє для існуючих обсягів роботи оцінювати вплив несправності уповільнювачів на погіршення показників роботи сортувальних гірок.

## Висновки по розділу 4

Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки.

1. Чинна нормативна документація залізниць не встановлює жорстких критеріїв щодо відключення уповільнювачів для ремонту через недостатню гальмову потужність, а також науково обґрунтованих методів експлуатації сортувальних гірок у таких умовах. У результаті на сортувальних гірках підвищується ймовірність порушення вимог ПТЕ і виникнення транспортних пригод.

2. Для забезпечення безпеки сортувального процесу в умовах втрати гальмової потужності уповільнювачами можуть застосовуватися заходи, які базуються на зниженні швидкості розпуску, його перериванні, використанні додаткового башмачного гальмування, більш частого осаджування й підтягування вагонів у процесі підготовки колій до розпуску. У роботі наведено методику, що дозволяє встановити граничні значення зусиль натискання шин уповільнювачів на колесо, при яких необхідно виконувати перехід у різні захищені стани сортувального процесу.

3. Методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, що покладені в основу чинних нормативних документів, не враховують технічний стан уповільнювачів. Тому їх застосування не дозволяє оцінювати техніко-експлуатаційну ефективність ремонтних заходів, спрямованих на переведення функціонування сортувальних гірок із безпечних нероботоспроможних станів у роботоспроможний стан.

4. У випадку якщо гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки недостатньо для зупинки відчепів, під час розпуску повинні передбачатись перерви для звільнення попередніми відчепами маршрутів скочування. З використанням методів теорії імовірностей визначено залежності, що дозволяють встановлювати тривалість вказаних зупинок.

5. У випадку якщо гальмової потужності уповільнювачів на спускній частині гірки та на сортувальних коліях недостатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, необхідно

використовувати додаткове башмачне гальмування. У роботі розроблено методи, які на підставі імітаційного моделювання сортувального процесу дозволяють встановлювати потрібну величину збільшення тривалості розпуску, що забезпечують безпеку руху при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. На 87 % сортувальних гірок України для регулювання швидкості скочування відчепів застосовується башмачне гальмування. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується і на гірках, де механізовано всі гальмові позиції. Особливості експлуатації сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями насамперед пов'язані з перебуванням людей у небезпечній зоні. Аналіз наукових праць, присвячених сортувальному процесу, свідчить про те, що задача управління швидкістю скочування відчепів за умов використання башмачного гальмування не вирішена остаточно і потребує додаткових досліджень.

2. Розформування-формування составів на сортувальних гірках є відповідальним технологічним процесом, на який припадає 20–30 % транспортних подій по господарству перевезень. Основними об'єктами ризику, характерними для сортувальних гірок, є регулювальники швидкості скочування вагонів, що працюють у небезпечній зоні (індивідуальний ризик), інфраструктура сортувальних гірок, рухомий склад та вантажі, що в ньому перевозяться (технічний ризик), та збільшення витрат на сортувальний процес (економічний ризик). У рамках дослідження визначено основні причини виникнення порушення безпеки руху на сортувальних гірках та допустимі рівні ризику.

3. Характерною особливістю роботи сортувальних гірок з немеханізованими парковими гальмовими позиціями є обслуговування одним регулювальником декількох сортувальних колій. У цих умовах

паркові башмачні гальмові позиції є додатковими елементами сортувальних гірок, на яких необхідно виконувати перевірку умов розділення відчепів. Тривалість зайнятості регулювальника операцією гальмування відчепа на сортувальній колії залежить від довжини відчепа, швидкості його входу в зону регулювання та заданої швидкості виходу з неї й не залежить від кількості гальмових башмаків, що укладаються під вагони. Розроблено формули для розрахунку тривалості цієї операції.

4. Розроблено метод вибору параметрів управління розпуском составів, що враховує особливості роботи сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями. В основу пропонованої методики покладено методи математичного моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок і математичної статистики. Розроблено метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який ґрунтується на оцінці тривалості розпуску составів на підставі аналізу умов поділу в окремих розрахункових групах відчепів і відкидання нераціональних варіантів на основі методу гілок і меж, що дозволяє підвищити швидкість пошуку оптимального розв'язку.

5. Чинна нормативна документація залізниць не встановлює жорстких критеріїв щодо відключення уповільнювачів для ремонту через недостатню гальмову потужність, а також науково обґрунтованих методів експлуатації сортувальних гірок у таких умовах. У результаті на сортувальних гірках підвищується ймовірність порушення вимог ПТЕ і виникнення транспортних подій. Для забезпечення сортувального процесу в умовах втрати гальмової потужності уповільнювачами можуть застосовуватися заходи, які базуються на зниженні швидкості розпуску, його перериванні, використанні додаткового башмачного гальмування, більш частого осаджування й підтягування вагонів у процесі підготовки колій до розпуску. У роботі наведено методику, що дозволяє встановити граничні значення зусиль натискання шин уповільнювачів на колесо, при яких необхідно виконувати перехід у різні захищені стани сортувального процесу.

6. Методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, що покладені в основу чинних нормативних документів, не враховують технічний стан уповільнювачів. Тому їх застосування не дозволяє оцінювати техніко-експлуатаційну ефективність ремонтних заходів, спрямованих на переведення функціонування сортувальних гірок із безпечних нероботоспроможних станів у роботоспроможний стан. У випадку якщо гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки недостатньо для зупинки відчепів, під час розпуску повинні передбачатися перерви для звільнення попередніми відчепами маршрутів скочування. З використанням методів теорії ймовірностей визначено залежності, що дозволяють встановлювати тривалість вказаних зупинок. У випадку якщо гальмової потужності уповільнювачів на спускній частині гірки та на сортувальних коліях недостатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, необхідно використовувати додаткове башмачне гальмування. У роботі розроблено методи, які на основі імітаційного моделювання сортувального процесу дозволяють встановлювати потрібну величину збільшення тривалості розпуску, що забезпечує безпеку руху при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2006 році / розробники: В. Мельничук, О. Федоренко, В. Крот, А. Рашко, В. Гусь. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2007. 127 с.
2. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2007 році / розробники: В. Гусь, М. Кутняк, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2008. 131 с.
3. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2008 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2009. 131 с.
4. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2009 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2010. 92 с.
5. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2010 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2011. 105 с.
6. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2011 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2012. 94 с.
7. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2012 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2013. 94 с.
8. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2013 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2014. 94 с.
9. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2014 році / розробники: О. Мусієнко, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2015. 122 с.

10. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзалізниця» у 2015 році / розробники: О. Мусієнко, С. Ребриков, В. Крот. Київ : ПАТ «Укрзалізниця», Департамент безпеки руху, 2016. 167 с.

11. Архатов В. С., Муха Ю. А., Длоугий В. В. и др. Проблема эффективности автоматизированного управления процессом расформирования составов на сортировочных горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1985. С. 8-21.

12. Берент В. Я., Николаев А. В., Старшов И. П. Снижение повреждаемости колес вагонов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 2009. № 2. С. 34–39.

13. Бессоненко С. А., Иванченко В. Н., Лященко А. М. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов // Вестник РГУПС. 2013. № 1(49). С. 55–65.

14. Бессоненко С. А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций с использованием вероятностных показателей // Транспорт: наука, техника, управление. 2006. № 5. С. 11–16.

15. Бобровский В. И., Рогов Н. В. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2004. Вип. 4. С. 174–182.

16. Бобровский В. И., Рогов Н. В. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2004. № 4. С. 174–182.

17. Бобровский В. И., Кудряшов А. В. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках // Транспортні системи та технології перевезень. 2011. Вип. 2. С. 17–21.

18. Бобровский В. И., Дорош А. С., Колесник А. И. Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин // Транспортні системи і технології перевезень. 2011. Вип. 1. С. 22–26.

19. Бобровский В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1996. № 6. С. 34–39.

20. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Малашкин В. В. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций : монография. Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. 156 с.

21. Бобровский В. И. Определение вероятностей разделения отцепов на стрелках сортировочной горки // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. Днепропетровск, 1976. Вып. 181/10. С. 56–63.

22. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Божко Н. П. и др. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках. Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2012. 236 с.

23. Болвановська Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2014. Вип. 8. С. 27–34. doi: 10.15802/tstt2014/38080.

24. Болвановська Т. В., Яновський П. О., Мілянч А. Р. Дослідження області допустимих режимів гальмування при зміні швидкості розпуску составів // Транспортні системи та технології перевезень. 2017. Вип. 14. С. 14–19. – doi:10.15802/tstt2017/123145.

25. Вергун О. Ф., Липовець Н. В., Боголій В. М. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 : навч.-метод. посіб. Київ : Транспорт України, 2002. 376 с.

26. ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування :

затв. нак. Мін-ва інфраструктури України 17.01.2013 р. № 25. Київ : Мін-во інфраструктури України, 2012. 112 с.

27. Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 12. С. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.

28. Гревцов С. В. Дослідження умов розділення відчепів на немеханізованих гальмових позиціях // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 11. С. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682

29. Грунтов П. С., Пищик Ф. П. Безопасность движения на железнодорожном транспорте. Гомель : БелИИЖТ, 1988. 122 с.

30. Демьянов Ал. Ал., Демьянов Ал. Ан. Анализ функциональных и стоимостных параметров горочных систем торможения // Труды РГУПС. 2015. № 4. С. 22–26.

31. Демьянов А. А., Горелова О. С. Аналитическое описание противополозунной системы для сортировочных горок // Известия Петербургского ун-та путей сообщения. 2011. № 2. С. 7–17.

32. Демьянов Ал. Ал., Демьянов Ал. Ан., Соседкина О. С. Обеспечение сохранности элементов колесных пар подвижного состава при башмачном торможении // Вестник ДГТУ. 2009. Т. 9. № 3(42). С. 25–32

33. Демьянов А. А. К вопросу о замедлении вагонов на горке ручным торможением // Вестник РГУПС. 2003. № 2. С. 52–56.

34. Дудниченко А. М., Савицкий А. Г. Методика оценки систем автоматического управления скоростью роспуска составов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 1985. № 6. С. 13–16.

35. Жуковицкий И. В. Решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1997. № 4. С. 14–17.

36. Журавель В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. 2012. № 4/3 (58). С. 38–44.

37. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв механізованих і автоматизованих сортувальних гірок на залізницях України. ЦШ 0048: затв. Наказ Укрзалізниці 12.012 2006 р. №491-Ц. Київ, 2007. 153 с.

38. Інструкція регулювальника швидкості руху вагонів : затв. Наказ Укрзалізниці від 06.11.2006 № 396-Ц.

39. Инструкция по охране труда для регулировщика скорости движения вагонов железнодорожной станции открытого акционерного общества «Российские железные дороги» : утв. Распоряжением ОАО РЖД от 24 декабря 2007 г. № ВМ-14472 в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 09.12.2014 № 2921р.

40. Кобзев В. А. Направление совершенствования исполнительных устройств горочных замедлителей // Автоматика телемеханика и связь. 1996. №10. С. 30–33.

41. Козаченко Д. М., Березовий М. І, Таранець О. І. Аналіз впливу спеціалізації сортувальних колій на показники процесу розформування составів // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. 2006. № 6/2 (24). С. 7–9.

42. Козаченко Д. М., Левицький І. Ю., Болвановська Т. В. Дослідження впливу швидкості розпуску составів на переробну спроможність сортувальних гірок // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 41. С. 61–63.

43. Козаченко Д. М., Березовий М. І, Таранець О. І. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2007. Вип. 16. С. 73–76.

44. Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. Оптимізація режимів гальмування відцепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах // Вісн. Нац. тех. ун-ту «ХПІ». Серія : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. 2017. № 44. С. 97–102.

45. Козаченко Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 34. С. 46–50.

46. Козаченко Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізничного транспорту Української держ. академії залізничного транспорту. 2010. Вип. 23. С. 14–21.

47. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 4 (64). С. 37–46. doi: 10.15802/stp2016/77878.

48. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями // Вісник нац. технічного ун-ту «ХПІ». Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. Харків, 2017. № 19 (1241). С. 72–80.

49. Козаченко Д. Н., Бобровский В. И., Гревцов С. В. Оптимизация распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2017. Вип. 13. С. 26–36. doi: 10.15802/tstt2017/110766.

50. Козаченко Д. Н., Коробьева Р. Г., Таранец О. И. Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях

неопределенности информации об их ходовых свойствах // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. 2009. № 6/2 (42). С. 45–50.

51. Козаченко Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 34. С. 46–50.

52. Козаченко Д. М., Вернигора Р. В., Горбова О. В. Методи збору даних про функціонування залізничних станцій // Транспортні системи та технології перевезень. 2014. № 8. С. 44–48. doi: 10.15802/tstt2014/38087.

53. Кораблев Е. А. Использование ЭЦВМ для расчета горок // Труды ЛИИЖТа. Ленинград : Транспорт, 1967. Вып. 256.

54. Король В. А., Тишков Л. Б., Хохлова Л. М., Шейкин В. П. Пособие работникам сортировочных горок. Москва : Транспорт, 1988. 221 с.

55. Красковский А. Е., Рогоза Д. И., Плеханов П. А. Комплексная оценка рисков для безопасности движения // Известия ПГУПС. 2011. Вып. 1. С. 54–65.

56. Кулкыбаев Г. А., Исмаилова А. А., Шайсултанов К. Ш. Актуальные методологические подходы к комплексной оценке психофизиологического профессионального отбора работников железнодорожного транспорта // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2006. № 1 (3). С. 115–122.

57. Куценко М. Ю., Єфіменко Ю. Ю., Ворона В. В., Куріліна Н. М. Визначення максимальної довжини відчепа на сортувальних гірках Південної залізниці в умовах використання нових уповільнювачів // Збірник наукових праць Української держ. акад. залізничного транспорту. 2014. Вип. 146. С. 38–42.

58. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. Москва : Транспорт, 1992. 192 с.

59. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов. Москва : ВИНТИ РАН, 1999. 332 с.

60. Мацкель С. С. Расчет элементов станций на ЭВМ. Москва : Транспорт, 1980. 176 с.

61. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті : затв. наказом Укрзалізниці 25.03.2003 р. № 0-72/ ЦЗ. Київ, 2003. 82 с.

62. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках : затв.: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. Київ : ТОВ «Інпрес», 2013. 108 с.

63. Модин Н. К. Безопасность функционирования горючих устройств. Москва : Транспорт, 1995. 173 с.

64. Морозкин И. С., Розман О. А., Родин А. Е., Александров А. А. Термомеханические повреждения колес вагонов и пути их снижения // Вестник РГУПС. 2008. № 2. С. 5–14.

65. Мурадян Л. А., Анофриев В. Г. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2012. Вип. 34. С. 206–210.

66. Муха Ю. А., Тишков Л. Б., Шейкин В. П. и др. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств. Москва : Транспорт, 1994. 220 с.

67. Нагорный Е. В., Берестов И. В. Эффективность применения систем автоматического регулирования конечных скоростей движения отцепов // Применение микропроцессорных устройств в системах железнодорожной автоматики : сб. научн. тр. Харьков : ХИИТ, 1988. Вып. 7. С. 54–58.

68. Нагорний Є. В., Чеклов В. Ф. Удосконалювання принципу регулювання швидкості розпуску составів на сортувальних гірках, обладнаних системами АЗРШ // Концепція підвищення ефективності

вантажних перевезень на залізничному транспорті : міжвуз. зб. наук. пр. Харків : ХарДАЗТ, 1998. Вип. 33. С. 104–107.

69. Негрей В. Я. Особенности и некоторые направления развития теории безопасности транспортных систем // Сборник научных трудов Белорусского гос. транспортного ун-та по материалам IV международной научно-практической конференции. Гомель : БелГУТ, 2007. С. 31–33.

70. Никитин В. Д., Мацкель С. С. Проектирование продольного профиля парков сортировочной станции с помощью математического моделирования маневровых процессов на ЭЦВМ // Вопросы расчета и проектирования железнодорожных станций и узлов : тр. МИИТа. Москва : Транспорт, 1969. Вып. 304. С. 4–41.

71. Образцов В. Н. К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок // Труды МИИТа. Москва, 1928. Вып. 9. С. 129–152.

72. Образцов В. Н., Никитин В. Д., Шаульский Ф. Н., Бузанов С. П. Станции и узлы. Москва : Трансжелдориздат, 1949. 540 с.

73. Образцов В. Н. Станции и узлы. Ч. 2. Москва : Трансжелдориздат, 1938. 492 с.

74. Огар О. М., Асеев М.А., Іваненко О.А. Аналіз роботи підсистем регулювання швидкості скочування відчепів в автоматизованих системах управління сортувальними станціями // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. №161. С. 70-75.

75. Огар О. М. Розрахунок раціональних конструктивнотехнологічних параметрів сортувальних гірок на основі системного підходу // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2013. №136. С. 7-13.

76. Огар О. М., Розсоха О. В., Костенніков О. М. Визначення інтенсивностей відмов та відновлення підсистем сортувальної гірки // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2012. № 3. С. 3–12.

77. Озябкин А. Л., Александров А. А., Щепановский К. И., Выщепан А. Л. Предупреждение термомеханических повреждений трибосистемы «колесо – рельс» при движении юзом // Вестник ДГТУ. 2011. Т. 11, № 8(59), вып. 2. С. 1405–1416.

78. Островский А. М., Лисютин А. М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т. 2. № 1. С. 38–41.

79. Пахомова Г. Ф., Жуков В. И., Белого И. В. и др Тренажеры работников горочного комплекса // ТРАНССИБ-99 : материалы региональной научно-практ. конф., 24-25 июня 1999 г., г. Новосибирск. Новосибирск : СГУПС, 1999. С. 45–46.

80. Пахомова Г. Ф., Хабаров В. И. Некоторые проблемы использования технологий виртуальной реальности в тренажерах горочного комплекса // ИНФОТРАНС-2001 : материалы VI Международной научно-практ. конф., 11-14 октября 2001 г., г. Сочи. Санкт-Петербург, 2001. С. 168–170.

81. Пожидаев С. А., Росликова Ю. Д. Повышение эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках // Транспортні системи та технології перевезень. 2013. № 6. С. 76–81.

82. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. Москва : Транспорт, 1992. 104 с.

83. Правила технічної експлуатації залізниць України. Київ : Транспорт України, 2005. 256 с.

84. Самсонкин В. Н. Прогнозирование надежности железнодорожных операторов // Информационно-управляющие системы на ж. д. транспорте. 1996. № 5. С. 54–55.

85. Самсонкин В. Н. Системный поход, как осваполагающий метод исследования эргономики: сущность применение в транспортних системах // Залізничний транспорт України. 2008. № 6. С. 3–4.

86. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы и средства оценки обеспечения безопасности систем железнодорожной автоматики // Автоматика, телемеханика и связь. 1992. № 1. С. 4–7.

87. Самсонкин В. Н., Белая И. И. Прогнозирование состояния безопасности движения на железнодорожном транспорте // Залізничний транспорт України. 2007. № 1. С. 48–49.

88. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Талалаев В. И. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика, телемеханика и связь. 1992. №4. С. 30–32.

89. Сачко В. И., Тартынский В. А. Специализированная система поддержки принятия решений по техническому обслуживанию и ремонту горючего оборудования // Вестник Ростовского гос. Ун-та путей сообщения. 2010. № 3(39). С. 188–122.

90. Сенько В. И., Пастухов М. И., Макеев С. В., Пастухов И. Ф. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. 2010. № 4. С. 13–18.

91. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) : монография. 2 изд., доп. Киев : Транспорт Украины, 2004. 368 с.

92. Солоп И. А. Производственный травматизм, его причины и меры по снижению производственных травм. Режим доступа: <http://sworld.com.ua/konfer32/471.pdf>

93. Талалаев В. И. Обеспечение безопасности движения – на уровень государственных стандартов // Автоматика, телемеханика и связь. 1992. № 1. С. 2–4.

94. Третьяк Б. А. Исследование некоторых вопросов выбора средств торможения на сортировочных горках малой мощности : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Днепр. ин-т инж. ж.-д. трансп. Днепропетровск, 1962. 32 с.

95. Харитонов Б. В. Пути снижения повреждаемости боковых рам тележек грузовых вагонов на сортировочных горках : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / ВНИИЖТ. Москва, 1999. 132 с.

96. Шейкин В. П. Средства регулирования скорости вагонов на горочных сортировочных станциях // Железные дороги мира. 1981. № 9. С. 8–28.

97. Шиш В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях // Залізничний транспорт України. 2011. № 3. С. 44–47.

98. Ющенко Н. Р. Графический метод построения кривых скорости и времени скатывания отцепов с горки // Труды ДИИТа. Москва : Трансжелдориздт, 1951. Вып. 21. С. 27–287.

99. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A. et al. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps // Transport problems. 2016. Vol. 11. Iss. 1. P. 147-155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.

100. George W., Zeranski R. Untersuchung am Ablaufberg mittels EDV in der Ingenieurausbildung an der IngST Gotha // Eisenbahnpraxis. 1985. Vol. 29, № 1. P. 24–25.

101. Ennulat D., Gottschalk A. Neue Lösungen in der Verfahrenstechnik für Ablaufanlagen // Signal+Draht. 1992. № 84. P. 87–92.

102. Kapiszewski L. Dynamika ruchu odprzeгу wagonowego w procesie grawitacyjnego przemieszczania wagonów // Zag. transp. 1986-1987. №1-2.

103. Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov S. V., Berezoviy M. I. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 3 (63). С. 28–40. doi: 10.15802/stp2016/74710.

104. Planung rangiertechnischer Anlagen // Eisenbahningenieur. 1997. Vol. 48, № 3. P. 31.

105. Zarecky S., Grun J., Zilka J. The newest trends in marshalling yards automation // Transport Problems. 2008. Tom 3. Vol. 4. Part 1. P. 87–95.

## ДОДАТКИ

## Акти впровадження результатів досліджень

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**Начальник служби перевезень  
регіональної філії  
«Львівська залізниця»  
ПАТ «Укрзалізниця»  
А.П. Паук

09 січня 2018 року

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів дисертаційної роботи спешукача кафедри  
«Управління експлуатаційною роботою» Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна  
Гревцова Сергія Веніаміновича**

м. Львів

09 січня 2018

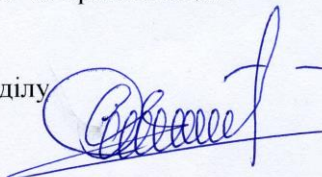
На засіданні фахівців служби перевезень (протокол № ДПТО-25/1 від 09.01.2018) регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» були розглянуті запропоновані в дисертації Гревцова С.В. методи управління розформуванням поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. У результаті встановлено:

1. Метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів дозволяє забезпечити мінімальний час розпуску составів при виконанні умов безпеки сортувального процесу і може бути використаний на сортувальних станціях Львівської залізниці.

2. Комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності вагонних уповільнювачів сортувальних гірок, дозволять оперативному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску составів для забезпечення безпеки сортувального процесу.

3. Методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, запропоновані в дисертації, на відміну від існуючих, дозволять враховувати технологічні обмеження і можуть застосовуватись для оцінки показників роботи гірок в умовах башмачного регулювання швидкості руху вагонів та параметричних відмов уповільнювачів.

4. Результати дисертаційної роботи Гревцова С.В. прийняті до розгляду щодо можливості впровадження в службі перевезень регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця».

Начальник технічного відділу  
служби перевезень

Ю.Я. Світенко

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор Львівської філії  
Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В.Лазаряна

 Я.В. Болжеларський

« 02 » жовтня 2017р.

**АКТ**

**про використання результатів дисертації Гревцова Сергія Веніаміновича  
на тему «Удосконалення методів управління розформуванням поїздів на  
сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями»**

м. Львів

« 02 » 10 2017р.

Даний акт складений про те, що у навчальному процесі Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна в програмі підготовки бакалаврів за спеціалізацією 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології» використовуються наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі Гревцова С.В., а саме:

1. Теоретичні результати використовуються в програмі дисциплін «Управління експлуатаційною роботою» і «Залізничні станції та вузли».
2. Практичні результати дисертації використовуються під час виконання курсових проектів за спеціалізацією 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології».

Зав. кафедри транспортних технологій



Б.В. Гера



**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз

*О.Ф. Курильова*

» \_\_\_\_\_ 2018р.

### ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційної роботи спошукача кафедри «Управління експлуатаційною роботою» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Гревцова Сергія Веніаміновича**

м. Львів

« 23 » січня 2018р.

На засіданні лабораторії залізнично-транспортних досліджень ЛНДІСЕ (протокол № 1 від 16.01.2018) були розглянуті запропоновані в дисертації Гревцова С.В. методи управління розформуванням поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. У результаті встановлено:

1. Метод моделювання процесу скочування відцепів може бути використаний при побудові механізму залізнично-транспортної пригоди у випадках зіткнень рухомого складу на сортувальних гірках.
2. Результати дослідження впливу гальмівної потужності уповільнювачів можуть бути використані при дослідженні залізнично-транспортних пригод, однією з причин яких стала технічна несправність уповільнювачів.
3. Аналіз технологічного процесу роботи регулювальників швидкості руху поїздів може бути використаний при встановленні відповідності їхніх дій вимогам нормативних документів, що діють на залізничному транспорті України.
4. Результати дисертаційної роботи Гревцова С.В. прийняти до розгляду щодо можливості впровадження в експертну практику Львівського НДІСЕ по експертній спеціальності 10.11 «Дослідження обставин та механізму залізнично-транспортної пригоди»

Завідувач лабораторією  
залізнично-транспортних досліджень

*О.В. Джус*

О.В. Джус

## РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ

### Б.1 Результати моделювання скочування відчепа

Узагальнені результати скочування

Vвгп 6,650000

Vсгп 3,570000

Vпгп 1,720000

Вхід СГП - 7,013518 7,019955 7,027377

Вхід ПГП - 3,500206 3,505851 3,533141

РТ - 1,476154 1,501304 1,517885

Гальмування ВГП - 0,568446

Гальмування СГП - 2,077098

#### Заняття розділових елементів

Вход ВГП М S 18,469625 0,042894

Вхід СГП М S 30,252317 0,327557

Вхід ПГП М S 70,922825 3,350849

Вхід СТР1 М S 8,930385 0,093369

Вхід СТР2 М S 25,026958 0,143548

Вхід СТР3 М S 34,861047 0,460888

Вхід СТР4 М S 41,274481 0,738720

Вхід СТР5 М S 55,382141 1,888745

#### Звільнення розділових елементів

Вихід ВГП М S 22,236677 0,063287

Вихід СГП М S 34,338682 0,449413

Вихід ПГП М S 82,587036 4,073912

Вихід СТР1 М S 14,016049 0,057009

Вихід СТР2 М S 28,452817 0,264560

Вихід СТР3 М S 40,985826 0,719419

Вихід СТР4 М S 47,874491 1,245236

Вихід СТР5 М S 62,406855 2,526682

Таблиця Б.1 – Швидкості руху відчепа маршрутом скочування

Елемент	ВІДР	С1<	С1>	ВГП<	З1>	ВГП>	С2<	С2>	СГП<	З2>	С3<	СГП>	С3>	С4<	С4>	С5<	С5>	ПГП<	ПГП>	ПРЦ	
Відстань	3,3	23,4	46,4	72,3	96,3	109,8	114,8	137,8	149,8	173,9	176,3	187,3	199,2	200,2	223,2	248,5	271,4	298,3	325,9	400,0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Досліді	1	1,700	3,474	5,403	6,184	6,551	6,694	6,724	6,717	6,720	4,866	4,604	3,813	3,772	3,767	3,660	3,555	3,463	3,340	2,065	1,381
	2	1,700	3,437	5,351	6,113	6,441	6,566	6,593	6,570	6,565	4,861	4,625	3,913	3,853	3,846	3,702	3,556	3,426	3,259	1,575	0,000
	3	1,700	3,471	5,399	6,179	6,392	6,476	6,508	6,509	6,516	4,647	4,380	3,567	3,527	3,523	3,417	3,314	3,222	3,102	1,968	1,218
	4	1,700	3,492	5,438	6,231	6,345	6,391	6,427	6,444	6,459	4,708	4,461	3,719	3,684	3,680	3,582	3,488	3,405	3,293	1,235	0,000
	5	1,700	3,400	5,305	6,050	6,695	6,935	6,953	6,894	6,871	4,727	4,415	3,424	3,342	3,333	3,141	2,937	2,750	2,513	1,341	0,000
	6	1,700	3,489	5,428	6,218	6,592	6,740	6,771	6,771	6,778	4,730	4,433	3,519	3,489	3,485	3,396	3,311	3,237	3,136	1,710	0,975
	7	1,700	3,431	5,357	6,121	6,373	6,469	6,496	6,473	6,467	4,544	4,267	3,402	3,332	3,325	3,157	2,981	2,820	2,616	1,391	0,000
	8	1,700	3,474	5,414	6,198	6,591	6,745	6,774	6,766	6,768	5,053	4,816	4,107	4,058	4,052	3,928	3,805	3,697	3,554	1,236	0,000
	9	1,700	3,467	5,385	6,159	6,364	6,444	6,476	6,476	6,483	4,804	4,571	3,876	3,835	3,830	3,723	3,619	3,528	3,407	1,878	1,193
	10	1,700	3,447	5,359	6,125	6,177	6,194	6,226	6,226	6,231	4,922	4,748	4,236	4,180	4,173	4,037	3,901	3,782	3,626	1,402	0,000
	11	1,700	3,411	5,322	6,074	6,486	6,642	6,664	6,623	6,608	4,641	4,359	3,475	3,398	3,390	3,211	3,021	2,849	2,630	1,721	0,000
	12	1,700	3,444	5,368	6,136	6,567	6,732	6,758	6,732	6,726	5,100	4,878	4,214	4,151	4,144	3,994	3,843	3,708	3,533	1,454	0,000
	13	1,700	3,451	5,371	6,141	6,605	6,783	6,809	6,785	6,779	4,768	4,479	3,586	3,535	3,529	3,401	3,272	3,158	3,010	1,396	0,000
	14	1,700	3,482	5,426	6,214	6,824	7,059	7,086	7,070	7,068	5,007	4,711	3,806	3,763	3,758	3,647	3,537	3,440	3,312	2,197	1,473
	15	1,700	3,512	5,460	6,261	6,754	6,948	6,979	6,984	6,993	4,836	4,521	3,551	3,532	3,529	3,464	3,405	3,354	3,280	1,733	1,239
	16	1,700	3,494	5,436	6,229	6,445	6,532	6,567	6,579	6,592	4,605	4,317	3,432	3,404	3,401	3,317	3,238	3,168	3,074	2,388	1,859
	17	1,700	3,471	5,400	6,180	6,317	6,370	6,403	6,409	6,418	4,500	4,223	3,370	3,332	3,328	3,225	3,125	3,036	2,920	2,120	1,415
	18	1,700	3,461	5,378	6,150	6,520	6,664	6,692	6,680	6,679	5,052	4,830	4,170	4,121	4,116	3,996	3,878	3,775	3,639	1,743	0,928
	19	1,700	3,460	5,376	6,148	6,795	7,041	7,065	7,036	7,027	4,929	4,627	3,697	3,655	3,650	3,540	3,431	3,336	3,212	1,700	0,841
	20	1,700	3,487	5,432	6,223	6,510	6,624	6,657	6,661	6,669	4,704	4,421	3,552	3,515	3,511	3,410	3,311	3,224	3,108	2,135	1,434
	21	1,700	3,529	5,489	6,300	6,447	6,509	6,549	6,583	6,606	4,779	4,520	3,745	3,729	3,726	3,667	3,614	3,569	3,500	2,072	1,698
	22	1,700	3,475	5,405	6,187	6,656	6,838	6,866	6,854	6,855	4,686	4,367	3,369	3,335	3,331	3,235	3,141	3,059	2,950	1,290	0,000
	23	1,700	3,500	5,450	6,248	6,699	6,877	6,908	6,910	6,917	5,039	4,775	3,981	3,946	3,941	3,845	3,754	3,674	3,564	1,294	0,000
	24	1,700	3,445	5,369	6,138	6,681	6,888	6,912	6,881	6,872	4,852	4,562	3,667	3,610	3,603	3,462	3,319	3,191	3,026	1,793	0,365
	25	1,700	3,466	5,403	6,184	6,559	6,705	6,734	6,722	6,723	4,663	4,363	3,428	3,380	3,375	3,252	3,127	3,016	2,873	1,376	0,000
	26	1,700	3,461	5,381	6,154	6,774	7,011	7,035	7,008	7,000	5,054	4,780	3,947	3,900	3,895	3,776	3,659	3,555	3,420	1,784	0,914
	27	1,700	3,475	5,407	6,190	6,781	7,009	7,035	7,016	7,014	5,017	4,733	3,868	3,826	3,821	3,710	3,603	3,508	3,382	1,388	0,000
	28	1,700	3,401	5,300	6,044	6,668	6,902	6,919	6,863	6,840	4,895	4,620	3,768	3,690	3,682	3,501	3,313	3,142	2,926	2,161	0,806
	29	1,700	3,377	5,270	6,002	6,556	6,762	6,778	6,713	6,685	5,043	4,819	4,136	4,043	4,034	3,824	3,604	3,403	3,149	1,355	0,000
	30	1,700	3,510	5,454	6,253	6,942	7,208	7,236	7,228	7,230	4,986	4,659	3,645	3,625	3,622	3,554	3,492	3,439	3,362	1,475	0,927
	31	1,700	3,512	5,465	6,267	6,213	6,192	6,234	6,272	6,298	4,478	4,217	3,426	3,407	3,403	3,335	3,272	3,217	3,139	2,256	1,785
	32	1,700	3,440	5,366	6,133	6,431	6,546	6,573	6,552	6,548	4,820	4,579	3,848	3,783	3,776	3,623	3,465	3,324	3,143	2,236	1,181
	33	1,700	3,524	5,479	6,286	6,426	6,484	6,524	6,556	6,578	4,735	4,473	3,686	3,670	3,668	3,608	3,554	3,508	3,440	1,530	1,064
	34	1,700	3,443	5,358	6,122	6,229	6,268	6,299	6,293	6,295	4,523	4,271	3,504	3,451	3,445	3,314	3,181	3,063	2,911	1,909	0,872
	35	1,700	3,428	5,335	6,091	6,591	6,780	6,803	6,766	6,754	4,777	4,495	3,622	3,562	3,555	3,409	3,261	3,128	2,959	2,071	1,040
	36	1,700	3,445	5,365	6,132	6,469	6,599	6,626	6,607	6,603	4,867	4,626	3,897	3,840	3,833	3,694	3,555	3,430	3,270	1,617	0,000
	37	1,700	3,503	5,443	6,238	6,479	6,576	6,611	6,627	6,641	4,219	3,843	2,594	2,595	2,594	2,559	2,529	2,505	2,465	1,427	0,829
	38	1,700	3,469	5,390	6,166	6,487	6,612	6,642	6,636	6,639	4,590	4,292	3,366	3,332	3,328	3,233	3,140	3,059	2,952	2,236	1,629
	39	1,700	3,513	5,467	6,271	6,741	6,927	6,959	6,966	6,975	5,198	4,952	4,222	4,190	4,186	4,096	4,012	3,939	3,837	1,705	1,111
	40	1,700	3,498	5,443	6,238	6,924	7,188	7,216	7,202	7,203	5,116	4,817	3,908	3,874	3,870	3,777	3,689	3,612	3,506	1,701	1,002
	41	1,700	3,461	5,389	6,165	6,436	6,542	6,572	6,565	6,567	4,621	4,341	3,478	3,433	3,427	3,310	3,192	3,088	2,952	1,767	0,714
	42	1,700	3,421	5,332	6,087	6,366	6,471	6,497	6,468	6,459	4,524	4,245	3,373	3,305	3,298	3,135	2,964	2,810	2,614	1,602	0,000
	43	1,700	3,518	5,473	6,278	6,498	6,588	6,625	6,649	6,667	4,831	4,571	3,793	3,771	3,768	3,696	3,631	3,574	3,492	1,432	0,811
	44	1,700	3,472	5,407	6,189	6,448	6,550	6,581	6,580	6,585	4,521	4,218	3,272	3,233	3,229	3,124	3,019	2,927	2,807	1,787	0,845
	45	1,700	3,493	5,435	6,228	6,628	6,786	6,818	6,818	6,825	4,931	4,663	3,854	3,819	3,815	3,720	3,629	3,549	3,441	2,074	1,476
	46	1,700	3,472	5,395	6,173	6,607	6,775	6,804	6,793	6,793	4,981	4,727	3,967	3,927	3,922	3,815	3,711	3,621	3,500	1,257	0,000
	47	1,700	3,537	5,499	6,313	6,527	6,616	6,656	6,690	6,713	4,909	4,655	3,902	3,889	3,886	3,830	3,783	3,742	3,678	1,825	1,501
	48	1,700	3,486	5,431	6,222	6,425	6,506	6,540	6,548	6,559	4,620	4,340	3,481	3,445	3,440	3,339	3,239	3,151	3,034	2,072	1,332
	49	1,700	3,495	5,434	6,226	6,006	5,913	5,956	5,999	6,026	4,662	4,477	3,938	3,906	3,901	3,810	3,724	3,649	3,546	1,571	0,881

## Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Досліді	50	1,700	3,494	5,442	6,237	6,320	6,354	6,391	6,411	6,428	4,735	4,498	3,790	3,755	3,750	3,652	3,557	3,473	3,361	1,848	1,099
	51	1,700	3,503	5,452	6,250	6,548	6,667	6,701	6,713	6,725	4,654	4,351	3,416	3,393	3,389	3,314	3,242	3,180	3,094	1,656	0,976
	52	1,700	3,472	5,397	6,175	6,329	6,389	6,422	6,428	6,437	4,647	4,393	3,628	3,591	3,587	3,487	3,390	3,305	3,192	2,155	1,538
	53	1,700	3,491	5,436	6,228	6,370	6,426	6,462	6,477	6,491	4,681	4,424	3,648	3,614	3,609	3,513	3,420	3,339	3,229	1,881	1,152
	54	1,700	3,407	5,314	6,062	6,334	6,436	6,460	6,424	6,412	4,458	4,175	3,284	3,207	3,199	3,019	2,829	2,654	2,433	1,623	0,000
	55	1,700	3,422	5,340	6,098	6,314	6,394	6,421	6,396	6,389	4,789	4,568	3,902	3,828	3,821	3,649	3,472	3,312	3,108	1,800	0,000
	56	1,700	3,470	5,408	6,191	6,540	6,677	6,707	6,699	6,701	4,800	4,529	3,703	3,656	3,650	3,529	3,408	3,301	3,160	1,934	0,976
	57	1,700	3,480	5,419	6,206	6,296	6,331	6,366	6,379	6,391	4,401	4,109	3,201	3,166	3,162	3,063	2,966	2,880	2,768	1,626	0,561
	58	1,700	3,511	5,464	6,266	6,612	6,751	6,785	6,798	6,811	4,888	4,615	3,789	3,764	3,760	3,682	3,610	3,547	3,458	1,230	0,235
	59	1,700	3,454	5,383	6,156	6,514	6,652	6,680	6,663	6,661	4,583	4,279	3,325	3,274	3,268	3,137	3,003	2,884	2,730	1,628	0,000
	60	1,700	3,495	5,440	6,234	6,532	6,650	6,684	6,692	6,702	4,635	4,334	3,400	3,372	3,369	3,286	3,206	3,137	3,042	1,307	0,000
	61	1,700	3,489	5,429	6,219	6,901	7,163	7,189	7,172	7,170	4,844	4,500	3,412	3,383	3,379	3,291	3,207	3,134	3,035	1,530	0,636
	62	1,700	3,461	5,394	6,171	6,356	6,427	6,459	6,456	6,461	4,671	4,418	3,649	3,599	3,593	3,466	3,339	3,226	3,080	1,617	0,000
	63	1,700	3,488	5,424	6,212	6,631	6,795	6,826	6,823	6,828	4,769	4,471	3,554	3,524	3,520	3,433	3,349	3,276	3,177	1,714	1,021
	64	1,700	3,454	5,374	6,145	6,392	6,488	6,518	6,508	6,510	4,507	4,216	3,308	3,264	3,258	3,142	3,025	2,922	2,788	2,271	1,518
	65	1,700	3,496	5,436	6,228	6,444	6,531	6,565	6,579	6,592	4,695	4,423	3,600	3,573	3,569	3,488	3,411	3,344	3,252	1,417	0,621
	66	1,700	3,464	5,387	6,163	6,331	6,396	6,428	6,429	6,435	4,803	4,577	3,904	3,859	3,853	3,737	3,623	3,522	3,390	1,633	0,642
	67	1,700	3,449	5,378	6,150	6,603	6,778	6,804	6,779	6,773	4,699	4,397	3,455	3,398	3,392	3,252	3,108	2,979	2,814	1,431	0,000
	68	1,700	3,408	5,307	6,054	6,698	6,938	6,957	6,902	6,881	4,727	4,413	3,421	3,350	3,342	3,173	2,997	2,838	2,636	2,025	0,645
	69	1,700	3,509	5,461	6,262	6,384	6,434	6,472	6,498	6,517	4,878	4,651	3,981	3,950	3,946	3,860	3,778	3,707	3,608	2,608	2,157
	70	1,700	3,474	5,409	6,191	6,764	6,985	7,011	6,993	6,990	4,811	4,492	3,497	3,458	3,453	3,347	3,242	3,150	3,028	1,925	1,112
	71	1,700	3,471	5,411	6,195	6,453	6,554	6,585	6,583	6,588	4,435	4,114	3,095	3,053	3,048	2,936	2,823	2,723	2,593	1,953	1,007
	72	1,700	3,449	5,376	6,147	6,599	6,773	6,799	6,775	6,769	4,532	4,199	3,130	3,077	3,071	2,937	2,800	2,676	2,518	1,668	0,000
	73	1,700	3,486	5,421	6,208	6,595	6,746	6,777	6,775	6,781	4,758	4,466	3,571	3,539	3,535	3,445	3,358	3,282	3,179	1,327	0,000
	74	1,700	3,512	5,467	6,270	6,166	6,124	6,166	6,208	6,236	4,645	4,424	3,770	3,744	3,741	3,661	3,588	3,523	3,433	1,342	0,478
	75	1,700	3,489	5,423	6,212	6,546	6,678	6,710	6,713	6,720	4,824	4,554	3,740	3,708	3,704	3,614	3,528	3,453	3,352	1,451	0,635
	76	1,700	3,531	5,484	6,293	6,784	6,980	7,013	7,026	7,040	4,894	4,582	3,626	3,618	3,616	3,570	3,531	3,499	3,445	1,396	1,058
	77	1,700	3,472	5,404	6,185	6,534	6,671	6,701	6,694	6,697	4,680	4,388	3,487	3,448	3,443	3,338	3,233	3,142	3,021	1,898	1,085
	78	1,700	3,500	5,445	6,240	6,891	7,142	7,170	7,160	7,161	4,816	4,466	3,364	3,341	3,338	3,264	3,195	3,135	3,051	1,431	0,631
	79	1,700	3,476	5,418	6,204	6,206	6,204	6,241	6,256	6,270	4,598	4,363	3,657	3,612	3,607	3,492	3,377	3,275	3,141	1,999	1,127
	80	1,700	3,532	5,490	6,302	6,705	6,867	6,903	6,922	6,938	4,588	4,233	3,103	3,103	3,101	3,069	3,043	3,022	2,983	1,708	1,329
	81	1,700	3,449	5,361	6,127	6,696	6,912	6,936	6,906	6,897	4,849	4,554	3,647	3,599	3,594	3,473	3,352	3,245	3,108	1,442	0,000
	82	1,700	3,451	5,378	6,149	6,597	6,769	6,795	6,772	6,767	4,783	4,498	3,621	3,567	3,561	3,427	3,291	3,170	3,014	1,341	0,000
	83	1,700	3,455	5,376	6,148	6,682	6,887	6,912	6,887	6,880	4,772	4,466	3,513	3,467	3,462	3,343	3,224	3,118	2,982	1,171	0,000
	84	1,700	3,506	5,453	6,251	6,511	6,616	6,651	6,666	6,680	4,600	4,295	3,351	3,331	3,328	3,260	3,197	3,142	3,065	1,602	0,971
	85	1,700	3,454	5,367	6,135	6,744	6,975	6,999	6,968	6,960	4,885	4,587	3,667	3,622	3,616	3,500	3,385	3,283	3,152	1,884	1,060
	86	1,700	3,438	5,358	6,122	6,420	6,533	6,560	6,539	6,535	4,612	4,336	3,482	3,422	3,416	3,270	3,119	2,984	2,813	2,019	0,862
	87	1,700	3,491	5,434	6,226	6,480	6,581	6,614	6,623	6,633	4,594	4,297	3,376	3,346	3,342	3,255	3,170	3,096	2,996	1,339	0,000
	88	1,700	3,478	5,401	6,182	6,776	7,004	7,030	7,013	7,010	4,955	4,661	3,762	3,728	3,724	3,631	3,541	3,464	3,359	1,577	0,879
	89	1,700	3,431	5,339	6,097	6,507	6,663	6,688	6,657	6,648	4,648	4,360	3,464	3,406	3,399	3,257	3,111	2,981	2,815	1,546	0,000
	90	1,700	3,443	5,367	6,135	6,798	7,049	7,071	7,033	7,020	4,927	4,626	3,691	3,630	3,624	3,478	3,329	3,195	3,024	1,714	0,000
	91	1,700	3,518	5,461	6,263	6,821	7,039	7,070	7,074	7,082	4,904	4,586	3,611	3,599	3,596	3,543	3,497	3,458	3,398	1,876	1,544
	92	1,700	3,491	5,417	6,204	6,352	6,412	6,447	6,464	6,478	4,716	4,468	3,728	3,703	3,699	3,622	3,550	3,489	3,402	2,129	1,703
	93	1,700	3,479	5,411	6,195	6,544	6,681	6,712	6,709	6,714	4,721	4,434	3,554	3,519	3,515	3,418	3,324	3,242	3,132	1,452	0,382
	94	1,700	3,445	5,371	6,140	6,468	6,594	6,621	6,602	6,598	4,486	4,175	3,187	3,131	3,125	2,984	2,837	2,706	2,539	1,674	0,000
	95	1,700	3,483	5,418	6,204	6,791	7,018	7,045	7,030	7,029	4,924	4,620	3,686	3,650	3,646	3,549	3,455	3,372	3,262	1,555	0,666
	96	1,700	3,480	5,414	6,199	6,645	6,818	6,847	6,839	6,842	4,336	3,946	2,641	2,620	2,616	2,541	2,468	2,403	2,319	1,958	1,261
	97	1,700	3,502	5,438	6,231	6,663	6,833	6,865	6,868	6,876	4,788	4,485	3,555	3,535	3,532	3,465	3,403	3,350	3,274	1,423	0,867
	98	1,700	3,456	5,379	6,151	6,509	6,648	6,676	6,661	6,660	4,899	4,654	3,914	3,863	3,857	3,729	3,601	3,488	3,341	1,646	0,369
	99	1,700	3,431	5,344	6,104	6,759	7,006	7,027	6,983	6,967	4,736	4,408	3,366	3,306	3,300	3,153	3,001	2,865	2,692	1,850	0,444
	100	1,700	3,528	5,483	6,292	6,512	6,602	6,641	6,670	6,691	4,376	4,024	2,892	2,897	2,896	2,871	2,853	2,838	2,808	1,561	1,164

Таблиця Б.2 – Час руху відчепа маршрутом скочування

Елемент	ВІДР	С1<	С1>	ВГП<	З1>	ВГП>	С2<	С2>	СГП<	З2>	С3<	СГП>	С3>	С4<	С4>	С5<	С5>	ПГП<	ПГП>	ПРЦ
Відстань	3,3	23,4	46,4	72,3	96,3	109,8	114,8	137,8	149,8	173,9	176,3	187,3	199,2	200,2	223,2	248,5	271,4	298,3	325,9	400,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,0	9,0	14,0	18,5	22,3	24,3	25,0	28,5	30,2	34,3	34,8	37,5	40,6	40,9	47,0	54,0	60,6	68,5	78,8	122,2
2	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,4	25,1	28,6	30,5	34,6	35,1	37,7	40,7	41,0	47,1	54,1	60,6	68,7	80,2	170,9
3	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,4	25,2	28,7	30,5	34,7	35,3	38,1	41,4	41,7	48,3	55,8	62,9	71,3	82,3	129,3
4	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,3	25,1	28,7	30,6	34,7	35,3	38,0	41,2	41,5	47,8	55,0	61,6	69,6	82,1	191,3
5	0,0	8,7	13,9	18,4	22,2	24,2	24,9	28,2	30,0	34,0	34,5	37,4	40,9	41,2	48,3	56,6	64,7	74,9	89,3	150,5
6	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,2	25,0	28,4	30,1	34,2	34,7	37,5	40,9	41,2	47,9	55,4	62,4	70,9	82,4	138,1
7	0,0	8,7	13,9	18,4	22,2	24,3	25,1	28,6	30,5	34,7	35,3	38,2	41,7	42,0	49,1	57,3	65,2	75,1	89,0	165,7
8	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,2	24,9	28,3	30,1	34,1	34,5	37,1	40,0	40,2	46,0	52,5	58,6	66,0	77,8	154,4
9	0,0	9,0	14,1	18,6	22,4	24,5	25,3	28,8	30,7	34,8	35,3	38,0	41,0	41,3	47,4	54,3	60,7	68,4	79,0	127,7
10	0,0	8,9	14,0	18,5	22,4	24,6	25,4	29,1	31,0	35,2	35,7	38,2	41,0	41,3	46,9	53,2	59,2	66,5	77,7	328,4
11	0,0	8,7	13,9	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,5	35,0	37,9	41,3	41,6	48,6	56,7	64,5	74,3	87,1	156,0
12	0,0	8,8	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,1	34,6	37,1	39,9	40,2	45,8	52,3	58,3	65,8	77,0	158,1
13	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,3	25,0	28,4	30,1	34,2	34,7	37,5	40,8	41,1	47,7	55,3	62,5	71,2	83,9	175,0
14	0,0	8,9	14,0	18,4	22,1	24,0	24,8	28,0	29,7	33,6	34,1	36,7	39,8	40,1	46,3	53,3	59,9	67,9	77,9	118,7
15	0,0	9,0	14,1	18,5	22,2	24,1	24,9	28,1	29,9	33,8	34,3	37,1	40,5	40,7	47,3	54,7	61,5	69,5	80,7	130,9
16	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,3	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	38,0	41,5	41,8	48,6	56,3	63,5	72,1	82,2	117,4
17	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,4	25,2	28,8	30,7	35,0	35,5	38,5	42,0	42,3	49,3	57,3	64,7	73,7	84,7	127,0
18	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,4	25,1	28,6	30,4	34,4	34,9	37,3	40,2	40,4	46,1	52,5	58,5	65,8	76,2	132,3
19	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,2	24,9	28,2	29,9	33,8	34,3	37,0	40,2	40,5	46,9	54,1	60,9	69,1	80,5	139,6
20	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,3	34,9	37,7	41,0	41,3	48,0	55,5	62,5	71,0	81,6	123,5
21	0,0	9,1	14,1	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,4	34,5	35,0	37,7	40,9	41,1	47,4	54,3	60,7	68,3	78,3	117,8
22	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,2	25,0	28,3	30,1	34,1	34,6	37,5	41,1	41,4	48,4	56,3	63,7	72,6	85,9	252,0
23	0,0	9,0	14,0	18,4	22,1	24,1	24,8	28,2	29,9	33,8	34,3	36,9	39,9	40,1	46,0	52,7	58,8	66,3	77,9	187,2
24	0,0	8,8	14,0	18,4	22,2	24,2	24,9	28,2	30,0	34,0	34,5	37,2	40,5	40,7	47,2	54,7	61,7	70,4	81,9	152,1
25	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,2	24,9	28,4	30,1	34,2	34,8	37,7	41,1	41,4	48,4	56,3	63,8	72,9	86,0	170,5
26	0,0	8,9	14,1	18,5	22,2	24,2	24,9	28,2	29,9	33,8	34,3	36,8	39,9	40,1	46,1	52,9	59,3	67,0	77,7	133,3
27	0,0	8,9	14,0	18,5	22,2	24,1	24,9	28,1	29,8	33,7	34,2	36,8	39,9	40,2	46,3	53,2	59,6	67,4	79,2	185,4
28	0,0	8,7	13,9	18,5	22,3	24,2	25,0	28,3	30,1	34,1	34,6	37,2	40,4	40,7	47,1	54,5	61,6	70,5	81,3	132,1
29	0,0	8,7	13,9	18,5	22,3	24,3	25,0	28,4	30,2	34,3	34,7	37,2	40,1	40,4	46,2	53,0	59,6	67,8	80,2	131,2
30	0,0	9,1	14,1	18,5	22,1	24,0	24,7	27,9	29,6	33,4	33,9	36,6	39,9	40,1	46,5	53,7	60,3	68,2	79,8	142,1
31	0,0	9,0	14,0	18,4	22,3	24,4	25,2	28,9	30,8	35,2	35,7	38,6	42,1	42,4	49,2	56,9	63,9	72,4	82,7	119,6
32	0,0	8,8	13,9	18,4	22,2	24,3	25,1	28,6	30,4	34,5	35,0	37,7	40,8	41,1	47,3	54,4	61,2	69,5	79,8	123,6
33	0,0	9,1	14,1	18,5	22,2	24,3	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	37,8	41,0	41,3	47,6	54,7	61,2	68,9	80,2	137,8
34	0,0	8,9	14,0	18,5	22,4	24,5	25,3	29,0	30,9	35,2	35,8	38,6	42,0	42,3	49,1	56,9	64,3	73,3	84,8	138,8
35	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,3	25,1	28,4	30,2	34,3	34,8	37,6	40,9	41,1	47,7	55,3	62,5	71,3	82,3	130,6
36	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,3	25,1	28,6	30,4	34,5	35,0	37,6	40,7	40,9	47,0	54,0	60,6	68,6	80,0	196,9
37	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,3	25,1	28,6	30,4	34,7	35,2	38,8	43,3	43,7	52,6	62,6	71,7	82,5	96,8	163,1
38	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,4	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	38,0	41,6	41,9	48,9	56,8	64,2	73,2	83,8	122,5
39	0,0	9,0	14,0	18,4	22,1	24,1	24,8	28,1	29,8	33,7	34,2	36,6	39,4	39,7	45,2	51,4	57,2	64,1	74,2	127,3
40	0,0	9,0	14,0	18,4	22,1	24,0	24,7	27,9	29,6	33,4	33,8	36,4	39,5	39,7	45,7	52,5	58,8	66,3	77,1	132,5
41	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,3	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	38,0	41,4	41,7	48,6	56,3	63,6	72,5	84,3	144,9
42	0,0	8,8	13,9	18,5	22,3	24,4	25,2	28,7	30,6	34,8	35,4	38,3	41,9	42,2	49,3	57,6	65,6	75,5	88,6	221,6
43	0,0	9,0	14,1	18,4	22,2	24,2	25,0	28,5	30,3	34,3	34,9	37,5	40,7	40,9	47,1	54,0	60,4	68,0	79,4	146,1
44	0,0	8,9	14,0	18,5	22,2	24,3	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	38,1	41,8	42,1	49,3	57,6	65,3	74,6	86,7	143,8
45	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,2	24,9	28,3	30,1	34,0	34,5	37,2	40,3	40,5	46,6	53,5	59,9	67,6	77,7	119,8
46	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,3	25,0	28,4	30,2	34,2	34,7	37,2	40,2	40,5	46,4	53,2	59,4	67,0	78,8	190,7
47	0,0	9,1	14,1	18,5	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,3	34,8	37,4	40,4	40,7	46,6	53,3	59,4	66,6	76,8	121,6
48	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,4	34,6	35,1	38,0	41,4	41,7	48,5	56,2	63,3	72,0	82,9	126,8
49	0,0	9,0	14,1	18,5	22,4	24,6	25,5	29,3	31,3	35,7	36,3	38,9	41,9	42,2	48,1	54,9	61,1	68,5	79,5	140,6

Досліді

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Досліді	50	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,3	25,1	28,7	30,6	34,8	35,3	38,0	41,2	41,4	47,6	54,6	61,2	69,0	79,7	130,5
	51	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,3	34,8	37,7	41,2	41,5	48,3	56,1	63,2	71,8	83,5	140,3
	52	0,0	9,0	14,1	18,5	22,4	24,5	25,3	28,8	30,7	34,9	35,5	38,2	41,5	41,8	48,3	55,7	62,5	70,8	81,2	121,6
	53	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,3	25,1	28,7	30,5	34,7	35,2	38,0	41,3	41,6	48,0	55,3	62,1	70,3	81,2	130,5
	54	0,0	8,7	13,9	18,4	22,3	24,4	25,2	28,8	30,6	34,9	35,5	38,5	42,2	42,5	49,9	58,5	66,9	77,4	91,1	177,1
	55	0,0	8,7	13,9	18,4	22,3	24,4	25,2	28,7	30,6	34,8	35,3	38,0	41,1	41,3	47,5	54,6	61,3	69,7	81,0	160,5
	56	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,3	34,8	37,5	40,7	41,0	47,4	54,7	61,5	69,8	80,7	132,2
	57	0,0	8,9	14,0	18,4	22,3	24,4	25,2	28,8	30,7	35,0	35,6	38,6	42,4	42,7	50,0	58,4	66,3	75,8	88,4	157,3
	58	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,2	24,9	28,3	30,1	34,1	34,6	37,2	40,4	40,7	46,8	53,8	60,2	67,8	79,9	183,3
	59	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,3	25,0	28,4	30,3	34,4	34,9	37,9	41,5	41,8	49,0	57,2	65,0	74,6	87,3	184,2
	60	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,4	30,2	34,3	34,9	37,8	41,3	41,6	48,5	56,3	63,5	72,2	85,1	234,4
	61	0,0	9,0	14,0	18,5	22,1	24,0	24,7	27,9	29,6	33,5	34,0	36,9	40,3	40,6	47,5	55,3	62,5	71,2	83,5	152,9
	62	0,0	8,9	14,0	18,4	22,3	24,4	25,1	28,7	30,6	34,8	35,3	38,1	41,3	41,6	48,1	55,6	62,5	71,1	82,9	193,9
	63	0,0	9,0	14,1	18,5	22,2	24,2	25,0	28,3	30,1	34,1	34,6	37,4	40,8	41,1	47,7	55,1	62,1	70,4	81,8	136,5
	64	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,4	25,2	28,7	30,6	34,8	35,3	38,3	41,9	42,2	49,4	57,6	65,3	74,7	85,7	125,1
	65	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,3	25,1	28,6	30,4	34,6	35,1	37,9	41,2	41,5	48,0	55,3	62,1	70,2	82,3	156,0
	66	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,5	25,2	28,8	30,7	34,9	35,4	38,0	41,1	41,3	47,4	54,2	60,7	68,4	79,6	145,8
	67	0,0	8,8	13,9	18,4	22,2	24,2	24,9	28,3	30,1	34,2	34,7	37,5	41,0	41,3	48,2	56,2	63,7	73,0	86,1	164,1
	68	0,0	8,8	14,0	18,5	22,3	24,3	25,0	28,3	30,0	34,1	34,6	37,4	41,0	41,3	48,3	56,5	64,4	74,2	86,0	142,6
	69	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,3	25,1	28,6	30,5	34,6	35,1	37,7	40,7	40,9	46,8	53,4	59,6	66,9	75,8	107,2
	70	0,0	8,9	14,0	18,5	22,2	24,1	24,8	28,1	29,8	33,8	34,3	37,1	40,5	40,8	47,6	55,3	62,4	71,1	82,3	131,6
	71	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,6	35,1	38,2	42,1	42,4	50,1	58,9	67,2	77,3	89,4	140,1
	72	0,0	8,8	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,3	30,1	34,2	34,8	37,9	41,7	42,0	49,6	58,5	66,8	77,2	90,4	302,7
	73	0,0	9,0	14,1	18,5	22,2	24,3	25,0	28,4	30,2	34,2	34,7	37,5	40,9	41,1	47,7	55,2	62,1	70,4	82,8	203,0
	74	0,0	9,0	14,0	18,4	22,3	24,5	25,3	29,0	30,9	35,2	35,8	38,5	41,6	41,9	48,1	55,1	61,5	69,3	81,1	163,6
	75	0,0	9,0	14,1	18,5	22,3	24,3	25,0	28,5	30,3	34,3	34,8	37,5	40,7	41,0	47,3	54,3	60,9	68,8	80,5	152,6
	76	0,0	9,1	14,1	18,5	22,2	24,1	24,8	28,1	29,8	33,7	34,2	37,0	40,3	40,5	46,9	54,0	60,6	68,3	79,9	140,7
	77	0,0	8,9	14,0	18,5	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,4	34,9	37,7	41,2	41,5	48,2	55,9	63,1	71,8	83,1	133,3
	78	0,0	9,0	14,0	18,5	22,1	24,0	24,7	27,9	29,6	33,5	34,0	36,9	40,5	40,8	47,7	55,5	62,8	71,5	84,0	156,7
	79	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,4	25,2	28,9	30,8	35,1	35,7	38,5	41,7	42,0	48,5	55,8	62,7	71,1	81,9	129,8
	80	0,0	9,1	14,1	18,5	22,1	24,1	24,9	28,2	29,9	33,9	34,5	37,6	41,4	41,7	49,2	57,4	65,0	73,9	85,8	134,9
	81	0,0	8,9	14,1	18,5	22,3	24,3	25,0	28,3	30,1	34,0	34,5	37,3	40,6	40,8	47,3	54,7	61,7	70,1	82,5	211,2
	82	0,0	8,9	14,0	18,4	22,2	24,2	25,0	28,3	30,1	34,2	34,7	37,5	40,8	41,0	47,6	55,1	62,2	70,9	83,8	163,3
	83	0,0	8,9	14,0	18,5	22,2	24,2	25,0	28,3	30,0	34,0	34,6	37,4	40,8	41,1	47,8	55,5	62,7	71,5	85,1	171,9
	84	0,0	9,0	14,1	18,5	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,4	34,9	37,9	41,4	41,7	48,7	56,5	63,8	72,4	84,4	142,5
	85	0,0	8,9	14,1	18,5	22,3	24,2	25,0	28,2	30,0	33,9	34,4	37,1	40,4	40,7	47,1	54,5	61,4	69,7	80,8	131,7
	86	0,0	8,8	14,0	18,4	22,3	24,3	25,1	28,6	30,5	34,7	35,2	38,1	41,5	41,8	48,7	56,6	64,1	73,3	84,8	137,0
	87	0,0	9,0	14,0	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,5	35,0	37,9	41,5	41,8	48,7	56,6	63,9	72,7	85,7	206,4
	88	0,0	9,0	14,1	18,6	22,3	24,2	24,9	28,2	29,9	33,8	34,3	37,0	40,2	40,4	46,7	53,7	60,3	68,1	79,5	140,6
	89	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,4	25,1	28,6	30,4	34,5	35,0	37,9	41,4	41,7	48,6	56,5	64,0	73,3	86,1	209,0
	90	0,0	8,8	13,9	18,4	22,2	24,1	24,8	28,1	29,8	33,7	34,2	36,9	40,1	40,4	46,9	54,3	61,3	70,0	81,7	197,4
	91	0,0	9,1	14,1	18,5	22,2	24,1	24,9	28,1	29,8	33,7	34,2	36,9	40,2	40,5	46,9	54,1	60,7	68,6	79,1	122,8
	92	0,0	9,1	14,1	18,6	22,4	24,5	25,3	28,8	30,7	34,9	35,4	38,1	41,3	41,6	47,9	54,9	61,4	69,2	79,3	118,2
	93	0,0	9,0	14,0	18,5	22,3	24,3	25,0	28,5	30,3	34,3	34,9	37,7	41,0	41,3	47,9	55,4	62,4	70,8	83,1	165,6
	94	0,0	8,8	13,9	18,4	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,5	35,1	38,2	41,9	42,2	49,7	58,4	66,7	76,9	90,1	177,3
	95	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,1	24,8	28,1	29,8	33,7	34,2	36,9	40,2	40,4	46,8	54,0	60,8	68,9	80,5	148,2
	96	0,0	9,0	14,0	18,5	22,2	24,2	24,9	28,3	30,1	34,2	34,8	38,2	42,7	43,1	52,0	62,1	71,5	82,9	95,8	142,3
	97	0,0	9,1	14,1	18,5	22,3	24,2	25,0	28,3	30,1	34,1	34,6	37,4	40,7	41,0	47,6	54,9	61,7	69,8	81,8	147,1
	98	0,0	8,9	14,0	18,5	22,3	24,3	25,1	28,5	30,3	34,4	34,9	37,5	40,5	40,8	46,9	53,8	60,2	68,1	79,3	154,5
	99	0,0	8,8	14,0	18,5	22,2	24,2	24,9	28,2	29,9	33,9	34,4	37,3	40,9	41,2	48,3	56,5	64,3	74,0	86,2	152,2
	100	0,0	9,1	14,1	18,5	22,2	24,3	25,0	28,5	30,3	34,5	35,0	38,3	42,4	42,8	50,7	59,6	67,6	77,1	89,9	144,6

## Б.2. Перевірка доцільності розпуску відчепів без перерви між ними

Приклад визначення доцільності розпуску відчепів без перерви між ними виконано на підставі скочування відчепів 1 та 2. Скочування відчепа 1 здійснюється у швидкому режимі, а відчепа 2 – у повільному. Імовірності нерозділення відчепів при скочуванні на гранично-допустимих швидкостях розпуску наведені у таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Імовірності не розділення відчепів

Швидкість розпуску, м/с	Імовірність нерозділення
0,8	0,00002
1,7	0,01542

У зв'язку з тим, що при швидкості розпуску 0.8 м/с імовірність не розділення відчепів на БГП приймає допустиме значення, а при швидкості розпуску 1,7 м/с – недопустиме значення, то існує деяка швидкість розпуску  $0,8 \leq v_{рд13,14} \leq 1,7$  при якій імовірність нерозділення відчепів на БГП буде мати критичне значення 0,005.

Відчеп 1 складається з однієї платформи, відповідно  $l_{13}=14,62$  м; відчеп 2 складається з одного піввагона, відповідно  $l_{14}=13,92$  м. Допустимою швидкістю розпуску для відчепів 13 та 14 є 1,7 м/с, тобто  $v_{рд13}=1,7$  м/с та  $v_{рд14}=1,7$  м/с. Тривалість перерви між розпусками прийнята рівною 20 с (0,33 хв). Відповідно до виразу (3.9) мінімальна швидкість розпуску, при якій доцільно здійснювати розпуск відчепів 1 та 2 без перерви між ними складає

$$v_{кр13.14} = \max\left(0,8; \frac{(14,62 + 13,92)1,7 \cdot 1,7}{14,62 \cdot 1,7 + 13,92 \cdot 1,7 + 20 \cdot 1,7 \cdot 1,7}\right) = 0,8$$

Таким чином, розпуск відчепів 1 та 2 без перерви між ними є доцільним на швидкостях, що більші за 0,8 м/с. Граничною швидкістю, що забезпечує розділення відчепів на БГП є 1,542 м/с. Отже оптимальною швидкістю розпуску пари відчепів 1 та 2 є 1,542 м/с.

**Результати вимірювання сили натиснення уповільнювачів на  
сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузоз**

Таблиця В.1 Результати вимірювання сили натиснення уповільнювачів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузоз

Сторона	Секція 1		Секція 2		Секція 3		Секція 4		Секція 5		Секція 6	
	F, т	P, атм	F, т	P, атм	F, т	P, атм	F, т	P, атм	F, т	P, атм	F, т	P, атм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Парна сортувальна гірка												
1 гальмова позиція												
Уповільнювач № 1 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	5,79	4,6	11,59	4,6	9,59	4,6	7,58	4,6				
	5,73	4,6	11,95	4,6	7,85	4,6	7,14	4,6				
	5,88	4,6	11,95	4,6	6,40	4,6	7,14	4,6				
права	1,89	4,6	11,27	4,6	9,39	4,6	6,16	4,6				
	1,95	4,6	11,15	4,6	9,32	4,6	6,47	4,6				
	1,69	4,6	11,66	4,6	9,24	4,6	6,91	4,6				
2 гальмова позиція												
Уповільнювач № 5 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	2,41	4,23	4,67	4,23	5,28	4,46	4,76	4,37				
	2,42	4,23	4,54	4,23	5,13	4,46	4,79	4,37				
	2,46	4,23	4,54	4,23	5,12	4,46	4,80	4,37				
права	2,10	4,32	6,59	4,65	6,18	4,68	7,70	4,68				
	2,53	4,32	6,95	4,65	6,06	4,65	7,81	4,68				
	2,47	4,32	6,95	4,65	6,10	4,65	7,70	4,68				

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 4 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	4,58	4,25	6,54	4,26	4,82	4,29	4,71	4,30				
	4,51	4,25	6,58	4,25	4,90	4,28	4,74	4,30				
	4,52	4,25	6,58	4,23	4,96	4,28	4,66	4,30				
права	Сторона в неробочому стані											
Уповільнювач № 2 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	Сторона в неробочому стані											
права	3,43	4,6	9,55	4,6	11,42	4,6	3,63	4,6				
	3,16	4,6	9,38	4,6	12,56	4,6	3,30	4,6				
	3,01	4,6	9,33	4,6	12,55	4,6	3,31	4,6				
Уповільнювач № 3 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	1,53	4,60	6,01	4,60	9,17	4,60	12,10	4,60				
	1,61	4,60	6,17	4,60	9,15	4,60	12,35	4,60				
	1,40	4,60	6,02	4,60	9,04	4,60	11,95	4,60				
права	5,35	4,6	10,86	4,6	10,35	4,6	10,24	4,6				
	5,43	4,6	11,47	4,6	10,46	4,6	10,66	4,6				
	5,59	4,6	11,36	4,6	40,34	4,6	10,26	4,6				
3 гальмова позиція												
Уповільнювач № 10 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	16,26	6,1	10,97	6,1	9,63	6,1	13,23	6,1	18,66	6,1	15,38	6,1
	16,83	6,1	10,78	6,1	9,55	6,1	12,92	6,1	19,90	6,1	15,39	6,1
	16,60	6,1	10,62	6,1	9,71	6,1	12,50	6,1	19,04	6,1	15,53	6,1
права	15,95	6,1	14,33	6,1	9,28	6,1	11,32	6,1	19,18	6,1	18,94	6,1
	15,95	6,1	14,83	6,1	9,27	6,1	10,94	6,1	19,55	6,1	18,84	6,1
	16,25	6,1	14,51	6,1	8,99	6,1	10,76	6,1	20,81	6,1	18,68	6,1

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 9 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	7,65	6,1	1,29	6,1	19,32	6,1	9,15	6,1	8,41	6,1	14,22	6,1
	8,41	6,1	1,45	6,1	19,59	6,1	9,51	6,1	8,38	6,1	14,19	6,1
	8,60	6,1	1,49	6,1	19,30	6,1	9,85	6,1	8,71	6,1	14,12	6,1
права	16,66	6,1	22,16	6,1	22,42	6,1	1,88	6,1	16,51	6,1	2,17	6,1
	18,68	6,1	21,58	6,1	22,07	6,1	1,99	6,1	16,53	6,1	2,30	6,1
	16,28	6,1	22,33	6,1	22,16	6,1	2,16	6,1	16,56	6,1	2,29	6,1
Уповільнювач № 8 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	17,81	6,1	20,17	6,1	18,68	6,1	13,71	6,1	9,25	6,1	16,61	6,1
	17,96	6,1	19,77	6,1	17,95	6,1	13,30	6,1	5,66	6,1	16,23	6,1
	17,71	6,1	20,36	6,1	17,82	6,1	11,44	6,1	8,98	6,1	16,86	6,1
права	15,42	6,1	10,60	6,1	20,26	6,1	20,71	6,1	3,79	6,1	2,78	6,1
	16,32	6,1	11,07	6,1	20,71	6,1	20,82	6,1	2,40	6,1	1,60	6,1
	16,71	6,1	10,92	6,1	20,92	6,1	20,76	6,1	1,35	6,1	5,80	6,1
Уповільнювач № 11 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	6,55	6,1	14,41	6,1	7,35	6,1	5,40	6,1	14,71	6,1	16,72	6,1
	7,03	6,1	13,81	6,1	7,40	6,1	5,29	6,1	15,12	6,1	15,74	6,1
	7,15	6,1	13,74	6,1	7,69	6,1	5,54	6,1	15,22	6,1	14,88	6,1
права	3,52	6,1	3,63	6,1	15,19	6,1	14,94	6,1	17,94	6,1	20,15	6,1
	3,45	6,1	3,50	6,1	14,64	6,1	15,87	6,1	17,08	6,1	19,80	6,1
	3,53	6,1	3,75	6,1	14,82	6,1	16,00	6,1	16,04	6,1	20,26	6,1

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Непарна сортувальна гірка												
1 гальмова позиція												
Уповільнювач № 1 типу НК 114 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	1,79	6,60	10,95	6,60	11,85	6,60	10,83	6,60				
	1,87	6,60	12,11	6,60	10,53	6,60	10,48	6,60				
	2,24	6,60	10,71	6,60	11,73	6,60	10,42	6,60				
права	3,84	6,60	12,54	6,60	11,05	6,60	12,12	6,60				
	7,13	6,60	11,35	6,60	11,53	6,60	10,52	6,60				
	10,78	6,60	11,07	6,60	11,31	6,60	11,58	6,60				
Уповільнювач № 2 типу НК 114 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	12,09	6,60	11,13	6,60	7,02	6,60	11,25	6,60	11,78	6,60	11,53	6,60
	11,34	6,60	9,30	6,60	11,00	6,60	12,31	6,60	11,75	6,60	12,09	6,60
	10,90	6,60	8,46	6,60	10,40	6,60	11,84	6,60	11,49	6,60	11,60	6,60
права	11,43	6,60	12,50	6,60	11,81	6,60	11,21	6,60	10,87	6,60	10,98	6,60
	12,19	6,60	11,80	6,60	11,49	6,60	11,46	6,60	11,26	6,60	11,00	6,60
	11,70	6,60	10,90	6,60	11,22	6,60	12,02	6,60	11,05	6,60	10,94	6,60
2 гальмова позиція												
Уповільнювач № 10 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	2,60	6,60	6,23	6,60	7,64	6,60	6,71	6,60				
	2,62	6,60	6,07	6,60	6,93	6,60	6,79	6,60				
	3,02	6,60	6,09	6,60	7,35	6,60	7,00	6,60				
права	1,65	6,60	7,33	6,60	6,83	6,60	6,14	6,60				
	1,51	6,60	7,49	6,60	6,98	6,60	5,60	6,60				
	1,44	6,60	7,41	6,60	7,01	6,60	6,01	6,60				

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 12 типу ЗВУ (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	1,09	6,60	8,00	6,60	8,98	6,60	7,86	6,60	7,44	6,60	5,26	6,60
	1,33	6,60	9,08	6,60	9,06	6,60	7,90	6,60	7,22	6,60	5,24	6,60
	1,58	6,60	7,91	6,60	8,55	6,60	8,09	6,60	7,16	6,60	5,17	6,60
права	0,24	6,60	8,06	6,60	8,42	6,60	9,94	6,60	7,036	6,60	6,4322	6,60
	0,23	6,60	7,51	6,60	8,26	6,60	9,04	6,60	7,852	6,60	6,4485	6,60
	0,30	6,60	8,11	6,60	7,54	6,60	9,08	6,60	8,146	6,60	6,3424	6,60
Уповільнювач № 6 типу ЗВУ (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	0,76	6,60	8,94	6,60	9,01	6,60	10,15	6,60	7,08	6,60	7,90	6,60
	0,78	6,60	9,06	6,60	9,22	6,60	8,69	6,60	7,35	6,60	6,24	6,60
	0,87	6,60	9,01	6,60	9,13	6,60	9,78	6,60	7,67	6,60	6,41	6,60
права	2,91	6,60	8,83	6,60	8,65	6,60	9,14	6,60	9,64	6,60	7,477	6,60
	3,17	6,60	8,82	6,60	8,37	6,60	8,99	6,60	9,469	6,60	7,4362	6,60
	3,18	6,60	8,71	6,60	8,42	6,60	8,91	6,60	9,159	6,60	7,1832	6,60
Уповільнювач № 4 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	1,14	6,60	8,24	6,60	6,99	6,60	6,55	6,60				
	1,91	6,60	8,05	6,60	6,78	6,60	6,67	6,60				
	1,56	6,60	8,86	6,60	6,85	6,60	6,70	6,60				
права	2,85	6,60	8,03	6,60	7,15	6,60	7,70	6,60				
	2,92	6,60	8,64	6,60	7,50	6,60	7,70	6,60				
	3,09	6,60	8,62	6,60	7,93	6,60	6,29	6,60				
Уповільнювач № 5 типу НК 114 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	1,47	6,60	13,46	6,60	12,84	6,60	11,91	6,60	12,32	6,60	10,45	6,60
	6,43	6,60	11,31	6,60	10,25	6,60	12,44	6,60	10,73	6,60	9,40	6,60
	4,00	6,60	11,33	6,60	10,82	6,60	11,84	6,60	10,78	6,60	10,67	6,60
права	0,85	6,60	14,05	6,60	12,53	6,60	10,89	6,60	11,14	6,60	7,1	6,60
	0,90	6,60	13,71	6,60	11,13	6,60	9,89	6,60	13,39	6,60	6,8403	6,60
	0,96	6,60	14,12	6,60	13,41	6,60	10,38	6,60	13,67	6,60	7,0607	6,60

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 3 типу ЗВУ (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	3,14	6,60	10,72	6,60	9,43	6,60	9,27	6,60	10,46	6,60	8,38	6,60
	2,73	6,60	10,30	6,60	8,54	6,60	10,39	6,60	10,00	6,60	8,57	6,60
	2,48	6,60	11,06	6,60	9,25	6,60	9,40	6,60	10,14	6,60	8,51	6,60
права	6,19	6,60	10,24	6,60	8,30	6,60	8,68	6,60	7,95	6,60	7,3382	6,60
	1,39	6,60	10,42	6,60	9,17	6,60	8,72	6,60	8,652	6,60	7,3056	6,60
	1,32	6,60	10,21	6,60	9,04	6,60	9,40	6,60	9,077	6,60	7,2974	6,60
Уповільнювач № 11 типу КЗ-5 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	5,22	6,60	8,37	6,60	8,83	6,60	8,95	6,60	9,16	6,60	4,38	6,60
	2,37	6,60	8,30	6,60	8,71	6,60	9,08	6,60	9,03	6,60	4,60	6,60
	2,07	6,60	8,50	6,60	8,57	6,60	8,42	6,60	9,06	6,60	5,02	6,60
права	10,11	6,60	9,17	6,60	8,75	6,60	8,17	6,60	9,501	6,60	8,6198	6,60
	7,94	6,60	10,54	6,60	9,00	6,60	9,67	6,60	9,754	6,60	8,8402	6,60
	9,61	6,60	9,45	6,60	9,89	6,60	9,48	6,60	9,395	6,60	8,7912	6,60
Уповільнювач № 9 типу НК 114 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	0,28	6,60	12,38	6,60	13,93	6,60	10,42	6,60				
	0,29	6,60	10,84	6,60	12,89	6,60	10,41	6,60				
	2,40	6,60	11,57	6,60	13,71	6,60	10,71	6,60				
права	12,79	6,60	11,51	6,60	11,93	6,60	11,04	6,60				
	13,69	6,60	12,60	6,60	11,72	6,60	11,11	6,60				
	5,97	6,60	11,22	6,60	11,62	6,60	11,17	6,60				

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 17 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	3,46	6,60	7,82	6,60	8,34	6,60	5,14	6,60				
	3,87	6,60	7,91	6,60	8,52	6,60	5,01	6,60				
	4,68	6,60	7,80	6,60	8,54	6,60	5,02	6,60				
права	5,03	6,60	9,52	6,60	8,54	6,60	5,66	6,60				
	6,20	6,60	10,16	6,60	9,46	6,60	5,39	6,60				
	3,92	6,60	9,23	6,60	9,76	6,60	4,86	6,60				
Уповільнювач № 15 типу КЗ-3 (3 ланки, 4 секції)												
ліва	3,56	6,60	7,44	6,60	7,96	6,60	6,98	6,60				
	3,13	6,60	7,56	6,60	7,93	6,60	7,91	6,60				
	3,23	6,60	7,62	6,60	8,00	6,60	6,95	6,60				
права	3,44	6,60	7,77	6,60	9,63	6,60	4,71	6,60				
	3,40	6,60	7,67	6,60	9,21	6,60	4,37	6,60				
	3,51	6,60	7,95	6,60	10,91	6,60	4,44	6,60				
3 гальмова позиція												
Уповільнювач № 8 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	13,13	6,6	18,26	6,6	16,33	6,6	15,29	6,6	11,29	6,6	13,65	6,6
	13,05	6,6	17,76	6,6	17,46	6,6	16,00	6,6	10,61	6,6	15,15	6,6
	13,10	6,6	18,10	6,6	16,57	6,6	15,43	6,6	11,17	6,6	14,71	6,6
права	18,32	6,6	23,44	6,6	15,18	6,6	14,62	6,6	10,68	6,6	16,16	6,6
	18,36	6,6	20,42	6,6	16,01	6,6	14,43	6,6	10,74	6,6	16,63	6,6
	17,59	6,6	20,36	6,6	17,94	6,6	13,78	6,6	10,97	6,6	16,69	6,6

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уповільнювач № 7 типу РНЗ-2 (5 ланок, 6 секцій)												
ліва	13,55	6,6	10,61	6,6	16,16	6,6	25,00	6,6	14,96	6,6	16,19	6,6
	12,84	6,6	10,58	6,6	17,69	6,6	25,00	6,6	16,11	6,6	18,23	6,6
	12,99	6,6	10,58	6,6	16,63	6,6	25,00	6,6	16,27	6,6	18,02	6,6
права	8,36	6,6	9,33	6,6	15,32	6,6	16,26	6,6	15,02	6,6	25,00	6,6
	9,13	6,6	14,69	6,6	17,05	6,6	15,79	6,6	14,83	6,6	25,00	6,6
	9,20	6,6	8,72	6,6	16,74	6,6	15,59	6,6	14,88	6,6	24,61	6,6