

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»  
спеціальності 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)».

на тему: «Удосконалення роботи залізничної станції за рахунок спеціалізації сортувальних колій»

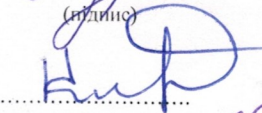
Виконав: студент групи ОПЗТ-19зм  
Мороз Л.В.

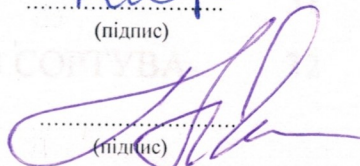
Керівник: проф. Кириченко І.О.

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент: Шелест О.М.

  
.....  
(підпис)

  
.....  
(підпис)

  
.....  
(підпис)

.....  
(підпис)

# **1. ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗНИЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ, ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНОПОТОКІВ, ЩО НАДХОДЯТЬ У РОЗФОРМУВАННЯ**

## **1.1 Аналіз шляхів скорочення енергетичних витрат на розформування-формування поїздів на сортувальних гірках**

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з вагомих факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація витрат, пов'язаних з переробкою вагонопотоків на станціях. Впровадження прогресивної ресурсо- та енергозберігаючої технології на етапі поїздоутворення на сортувальних станціях дозволить підвищити ефективність використання їх технічного забезпечення та зменшити собівартість перевезень. Задачі енергозбереження відображені в законодавчих актах і ухвалах Кабінету Міністрів України [4, 13] для всіх галузей народного господарства, у тому числі і для залізниць України. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [13] визначила основні напрями розвитку галузі і першочергові заходи, спрямовані на зниження експлуатаційних витрат пов'язаних з розмірами руху, і не залежних від них. Енергозбереження в функціонуванні сортувальних станцій та, як наслідок, підвищення якості послуг в перевезеннях вантажів [7], що надаються залізницями України це запорука підвищення конкурентоспроможності і привабливості залізниць на ринку транспортних послуг.

Найбільший внесок у становлення та розвиток теорії удосконалення роботи станцій та енергозбереження в станційних процесах у різний час внесли вчені: В.М. Акулінічев, О.В. Бикадоров, В.І. Бобровський, А.А. Босов, Т.В. Буцько, Р.В. Вернигора, П.С. Грунтов, Ю.І. Єфименко, І.В. Жуковицький, М.М. Іванков, В.А. Кобзєв, Д.М. Козаченко, А.М. Котенко, Ю.О. Муха, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, М.В. Правдін, І.Б. Сотніков, Є.О. Сотніков, Л.Б. Тишков, М.І. Федотов, Н.Н. Шабалін, Є.М. Шафіт, В.П. Шейкін, М.Р. Ющенко, А.А. Явна.

В даний час склались певні напрямки удосконалення процесу сортування вагонів, що ставлять за мету підвищення ефективності і зниження витрат на розформування і формування поїздів.

Перший напрямок – це удосконалення конструкції плану і подовжнього профілю сортувальних гірок. Основними нормативними документами по проектуванню нових сортувальних пристроїв, і тих, що перебудовуються, є «Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР» [81] і «Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств» [6]. Приведені в цих документах методики визначення основних витрат (на механічну роботу по гальмуванню вагонів; на маневрову роботу по підготовці колій до розформування; пов'язані із зміною висоти гірки і потрібної потужності гальмівних засобів; пов'язані з пошкодженням вагонів і вантажів при зіткненні вагонів на сортувальних коліях з підвищеною швидкістю) засновані на відповідних показниках сортувального процесу, які належить визначати шляхом імітаційного моделювання процесу розформування потоку составів на гірці за допомогою ЕОМ.

Однак відомі роботи по оптимізації висоти і подовжнього профілю гірок вирішують окремі питання та використовують в якості критеріїв оптимізації окремі показники якості.

Так наприклад в роботі [7] в якості критерію оптимізації обрано потужність паркової гальмівної позиції, в роботі [10] – заповнення колій сортувального парку, в роботі [14] – умови розділення відчепів, швидкість розпуску в роботі [18].

В роботі [15] здійснена спроба сформулювати теоретичні і методологічні основи коректування алгоритмів розрахунку висоти, подовжнього профілю та систем управління розформуванням составів на основі системного та структурного підходів, але на рівні рекомендацій і обґрунтувань необхідності саме такого підходу без практичної та теоретичної реалізації.

Другий напрямок – удосконалення конструкції маневрових локомотивів і режимів управління ними. Розроблені методики розрахунку і нормування

енергетичних витрат під час насуву і розпуску составів [1-5, 14, 15] дозволяють здійснювати вибір гірочних локомотивів та визначати оптимальні режими їх роботи. Ці режими можуть бути використані при оптимізації конструкції подовжнього профілю насувної частини сортувальної гірки, але ув'язка задачі оптимізації з процесом і умовами скочування вагонів на спускній частині гірки відсутня, а значить відсутня комплексність її рішення.

Третім напрямком є розробка і модернізація технічних засобів регулювання швидкості скочування вагонів. В даний час основними технічними засобами для регулювання швидкості руху вагонів на сортувальних гірках залізничних станцій України є балочні вагонні уповільнювачі різних типів і принципу дії – кліщоподібно-вагові (КВ-2, КВ-3), кліщоподібно-натискні (Т-50, КЗ-3, КЗ-5, ВЗПГ-3, ВЗПГ-5, КНП-5, НК-114, ЗВУ, УВСК) та важільно-натискні (РНЗ-2) з живленням пневматичних приводів від компресорних станцій.

Для балочних уповільнювачів відомі інші схеми приводів. Так на двосторонній сортувальній станції Бейлі залізниці Union Pacific в США [22] встановлені уповільнювачі SR 2000 з двох секцій довжиною по 6 м, розділених 12-ти метровим проміжком; гальмівне зусилля створюється шляхом притискання до бандажів коліс балок уповільнювача, які мають пружинний привід; відгальмування здійснюється від гідравлічного чи електричного приводу, що забезпечує високу надійність в експлуатації.

Одним з перспективних напрямків у вдосконаленні вагонних уповільнювачів є розробка електромагнітного вагонного уповільнювача [6]. Гальмівне зусилля має дві складові – електромагнітне поле і механічну, що виникає за рахунок сил тертя гальмівних шин і коліс. Техніко-експлуатаційні характеристики уповільнювача визначають переважну область його застосування – паркова гальмівна позиція або гальмівні позиції на спускній частині гірок малої потужності. В Харківській державній академії залізничного транспорту розроблено [7] конструкцію вагонного уповільнювача нового покоління, принцип дії якого також базується на використанні двох видів опору. При експериментальних дослідженнях лабораторного зразка були отримані достатньо

високі результати, проте, на даний час дослідні зразки так і не виготовлені, польові випробування не проводилися.

Незважаючи на існування вишукувань в напрямку створення принципово нових засобів регулювання швидкості скочування відчепів, впровадження їх на станціях Укрзалізниці в перспективі не представляється можливим.

Впровадження нової техніки дозволяє отримати економію коштів за рахунок зниження капіталовкладень на реалізацію потрібної потужності гальмівних позицій, зниження витрат енергоресурсів, скорочення пошкодження вагонів і вантажів, а також зменшення трудових витрат на експлуатацію уповільнювачів [13-15]. Поряд з цим слід відзначити, що вищевказане не дасть очікуваного ефекту, якщо не вирішити проблему зниження витоків повітря в повітропровідних мережах гірок (ущільнення в з'єднаннях пневмомережі, регулювання ступенів гальмування, автоматизація управління роботою компресорних установок), які можна зіставити з корисною витратою його на спрацьовування сповільнювачів [11-16] та не знімає проблем, пов'язаних з повітропостачанням і значними капітальними вкладеннями при переоснащенні сортувальних гірок.

В роботі [7] зроблено спробу дати комплексну оцінку основним характеристикам уповільнювачів по відношенню до досягнутого у цій галузі і одночасно показати елементи, по яким у даній конструкції має місце відставання.

Автори пропонують проводити кількісну оцінку по трьох найбільш важливих видах параметрів: технічних (глибина закладання від рівня головки рейки, питома маса конструкції), експлуатаційних (допустима швидкість входу, питома гальмівна потужність, час спрацьовування, похибка швидкості виходу, середнє напрацювання на відмову, трудомісткість обслуговування, рівень шуму) і економічних (питома енергоємність).

Теоретичні основи сортувального процесу на гірках, дослідження та оптимізація режимів гальмування відчепів як основи алгоритму управління процесом розпуску составів для практичної реалізації викладені в фундаментальній роботі проф. В.І. Бобровського [15]. Великої уваги заслуговують роботи проф.

І.В. Жуковицького присвячені розробці системи управління гальмуванням відцепів уповільнювачами гальмівної позиції (ГП) з ЕОМ в контурі управління.

Але окрім проблеми зменшення енерговитрат на розформування і формування поїздів існують дослідження експлуатаційної надійності станцій та комплексного вибору їх потужності. Так, наприклад, в роботі [1] проведено широке коло досліджень саме експлуатаційної надійності станцій, приведені методики розрахунку часу знаходження вагонів і потрібного колійного розвитку станцій при відомій потужності їх технічного оснащення, а також методика системного аналітичного розрахунку з вибору оптимальної технології та потужності сортувальних станцій. Але питання вибору спеціалізації колій сортувальних парків не порушені взагалі. Розробка технології розформування і формування поїздів, розрахунок часу знаходження вагонів в сортувальному парку розглянуті з використанням формул, що отримані за допомогою статистичних методів без прив'язки до місцевих умов конкретних станцій. Так, наприклад, час на підготовку сортувальних колій до розформування наступного составу розраховується як  $t = 0,06\bar{m}$ , тут  $\bar{m}$  – середня кількість вагонів в составі; зв'язок між системою формування поїздів та системою обробки поїздів у парку відправлення неспеціалізованими бригадами пункту технічного обслуговування (ПТО) вагонів признано несуттєвим; потрібна кількість колій в сортувальному парку розраховується як сума колій, необхідних для технологічних потреб згідно плану формування, спеціалізації колій, обсягів місцевої роботи та додаткової кількості колій і при розрахунку їх кількості число составів, що формуються на протязі доби понад їх середнє значення прийнято рівним півтора середніх квадратичних відхилень тощо.

## **1.2 Аналіз структури експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням-формуванням поїздів на сортувальних станціях**

Технічними засобами, що забезпечують розформування-формування поїздів на сортувальних станціях є маневрові локомотиви, колійний розвиток

сортувального парку з гірковою та хвостовою горловинами, засоби управління процесом розпуску. Під час розформування одних составів на гірці в парку накопичення утворюються состави свого формування, тобто процеси розформування та формування поїздів – це органічно пов'язані складові неперервної системи поїздоутворення.

Окремі призначення плану формування поїздів (ПФП) характеризуються потужністю призначення, середньою кількістю вагонів у відчепі, розподілом вагонів за родами і ваговими категоріями. Сортувальні пристрої характеризуються висотою гірки та профілем її спускної частини, профілем сортувальних колій, їх кількістю та корисною довжиною, конструкцією колійного розвитку стрілочних горловин, пристроями регулювання швидкості скочування відчепів, системою управління процесом розпуску составів. Перераховані вище характеристики мають широкий діапазон розкиду і впливають як на показники процесу розформування, так і на показники процесу заповнення сортувальних колій вагонами, процесу закінчення формування та пов'язані з цим експлуатаційні витрати.

До показників процесу розформування відносять [8, 23, 24]:

- швидкість розпуску составів;
- інтервали між відчепами на розділових елементах;
- енерговитрати на гальмування та на переведення стрілочних переводів по маршруту скочування відчепів;

- витрати локомотиво-годин на повторне сортування вагонів в результаті порушення плану формування під час розпуску внаслідок нерозділення відчепів на розділових елементах, нерозчеплення вагонів на вершині гірки через несправність автозчепів, тощо.

До показників процесу заповнення сортувальних колій вагонами відносять витрати локомотиво-годин:

- на заповнення «вікон» на сортувальних коліях шляхом підтягування та осаджування вагонів маневровими локомотивами (підготовка сортувальної колії до розформування чергового составу);





формуванням поїздів на сортувальних станціях

### **1.3 Характеристика технічного оснащення парків накопичення поїздів сортувальних станцій України**

Основна робота по формуванню та розформуванню поїздів на залізницях України [5-8, 12] виконується на 35 сортувальних станціях із яких 31 станція являються позакласними, а 4 – віднесені до 1 класу. Побудовані такі станції були на протязі минулого сторіччя, найстаріші з них в процесі експлуатації були реконструйовані, причому основними причинами реконструкції являлись електрифікація ліній, впровадження більш потужних локомотивів, збільшення вагових норм поїздів та обсягів переробки вагонів, тобто схеми станцій, як правило, склалися історично.

Статистичні дані обігу вагонів на Придніпровській залізниці показують, що, в залежності від виду відправки, вагон за час обігу близько 25-30 % часу знаходиться саме на сортувальних станціях Аналогічна ситуація спостерігається і на інших залізницях [9]. Аналіз цієї тривалості показує, що основна її частина припадає на процес накопичення в сортувальному парку. Окрім того, основна кількість маневрових операцій на сортувальних станціях – це маневри пов'язані з розформуванням-формуванням поїздів, значна частина енерговитрат станції припадає на гальмування відцепів при їх скочуванні з гірки, а значний відсоток пошкоджень вагонів та вантажів – на процес розформування, тому питання оптимізації потужності технічного оснащення сортувальних парків, забезпечення надійності функціонування та приведення його у відповідність обсягам переробки вагонів є актуальним.

Розформування поїздів на сортувальних станціях України виконується на 49 сортувальних гірках та 1 витяжній колії спеціального профілю, в т.ч.:

- гірок підвищеної потужності (ГПП) – 1;
- гірок великої потужності (ГВП) – 16;
- гірок середньої потужності (ГСП) – 15;

- гірок малої потужності (ГММ) – 17.

Сортувальними гірками малої потужності в основному оснащені також дільничні та вантажні станції, а вантажна припортова станція І. Одеської залізниці має механізовану сортувальну гірку великої потужності на 20 колій, обладнана системою ГАЦ та оснащена двома механізованими гальмівними позиціями на спускній частині з вісьмома уповільнювачами КВ-3 та двома уповільнювачами КЗ-3. Однак специфіка роботи дільничних та вантажних станцій по сортуванню вагонів значно відрізняється від сортувальних станцій, тому далі розглядаються тільки сортувальні станції.

Потужність сортувальних пристроїв на існуючих сортувальних станціях, приведена в даному розділі за інформацією з системи автоматизованого робочого місця «Техніко-розпорядчий акт станції» (АРМ ТРА), потребує уточнення згідно з [11], де ця характеристика вибирається за кількістю сортувальних колій та середньодобовим обсягом переробки вагонів і в значній кількості випадків не відповідає приведеним в [11] нормативам. В таблиці 1.1 наведені результати аналізу відповідності типу і потужності існуючих сортувальних пристроїв згідно АРМ ТРА вказаним нормативам.

Таблиця 1.1

Аналіз відповідності нормативам типу і потужності існуючих сортувальних пристроїв

Норматив	Кількість та відсоток відповідності фактичного значення показника нормативному для сортувальних гірок							
	ГМП		ГСП		ГВП		ГПП	
Кількість сортувальних колій	16	94 %	13	87 %	5	31 %	0	0 %
Кількість колій насуву	17	100 %	3	20 %	9	56 %	0	0 %
Кількість спускних колій	17	100 %	15	100 %	7	44 %	0	0 %

При виконанні аналізу відповідності розміри вагонопотоків з переробкою до уваги не приймалися, як менші за нормативні у більшості випадків для гірок середньої, великої та підвищеної потужності.

28 сортувальних гірок з числа ГПП, ГВП та ГСП обладнані аналоговими та мікропроцесорними системами гірочної автоматичної централізації ГАЦ різних типів з пристроями гірочної автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичного регулювання та задавання швидкості розпуску составів, контролю заповнення сортувальних колій вагонами, тощо.

**Пристрої регулювання швидкості скочування відчепів.** Сортувальні гірки великої, середньої та підвищеної потужності (за виключенням гірки середньої потужності станції Кр. Придніпровської залізниці проект механізації якої в даний час знаходиться в стадії розробки) оснащені механізованими гальмівними позиціями на спускній частині. Три з них (обидві гірки ст. Д. та східна гірка ст. Я.) мають по три позиції на спускній частині, дві сортувальні гірки (ст. М. та І.) – по одній позиції, решта сортувальних гірок обладнані двома гальмівними позиціями на спускній частині.

Кількість та відсоткове співвідношення уповільнювачів різних типів, встановлених на гальмівних позиціях сортувальних гірок України приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Типи та кількість уповільнювачів на сортувальних гірках

Тип уповільнювача	Кількість уповільнювачів				Відсоток уповільнювачів різних типів	
	0-а і 1-а позиції	2-а позиція	3-я позиція (кількість гальмівних позицій)	В сумі 0-3 позиції (0-2 позиції)	Без врахування 3-ї позиції	Від загальної кількості*
Т-50	4	11	26 (26)	41 (15)	6,5	6,6
КЗ-3	23	39	-	62	26,8	10
КЗ-5	9	9	1 (1)	19 (18)	7,8	3,1
КВ-2	2	5	-	7	3	1,1
КВ-3	28	59	-	87	37,7	14
ВЗПГ-5	1	1	-	2	0,9	0,3
ВЗПГ-3	-	2	-	2	0,9	0,3
КНП-5	-	1	61 (61)	62 (1)	0,4	10
РНЗ-2	-	4	917 (306)	921 (4)	1,7	49,4
НК-114	13	13	-	26	11,3	4,2
ЗВУ	4	2	-	6	2,6	1
УВСК	1	-	-	1	0,4	0,2
Всього				1236		

\*розраховано з урахуванням встановлення на парковій позиції трьох уповільнювачів РНЗ-2 або одного 5-ти секційного уповільнювача типів Т-50, КЗ-5, КНП-5

В якості пристроїв для регулювання швидкості скочування відчепів використовуються пневматичні кліщоподібно-натискні та кліщоподібно-вагові 2-х, 3-х та 5-ти ланкові уповільнювачі та важільно-натискні 1-но ланкові уповільнювачі.

Діаграми розподілу уповільнювачів різних типів на механізованих гальмівних позиціях приведені на рис. 1.2.

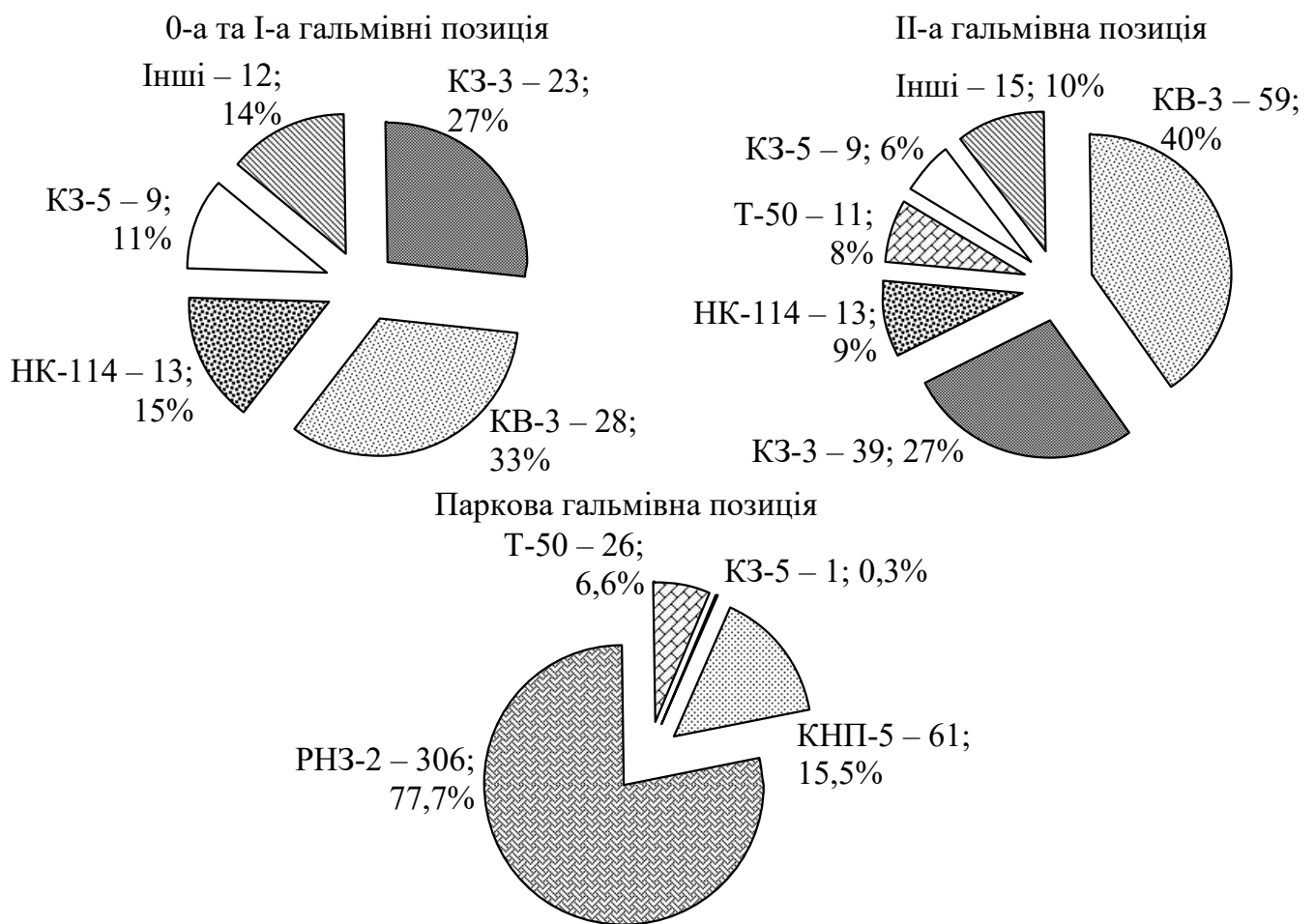


Рис. 1.2 Діаграми розподілу уповільнювачів різних типів на механізованих гальмівних позиціях

Значну частку уповільнювачів на позиціях спускної частини складають нові уповільнювачі КЗ-3, КЗ-5 та КВ-3, а на парковій позиції – РНЗ-2, але близько половини уповільнювачів РНЗ-2 експлуатуються понад 15 років.

Кількість уповільнювачів застарілих типів, таких як Т-50, КНП-5, ВЗПГ, КВ старих модифікацій досягає 20 % від загальної кількості, в той час як кількість уповільнювачів нових типів українського виробництва (ЗВУ – ВАТ «Донгормаш» м. Донецьк; НК-114 – ВАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» та УВСК – ВАТ «Старокраматорський машинобудівний завод» м. Краматорськ) не перевищує 6 % від загальної кількості чи 14,3 % без врахування РНЗ-2.

П'ять сортувальних гірок малої потужності ст. М., К, С., Жм. та південна гірка ст. І. обладнані однією немеханізованою гальмівною позицією з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів на спускній частині. На цих гальмівних позиціях встановлено всього 15 башмакоскидачів напівхрестовинного типу. Решта сортувальних гірок малої потужності, в т.ч. гірка середньої потужності станції Кр. не мають гальмівних позицій на спускній частині і обладнані немеханізованими парковими гальмівними позиціями з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів.

Загальна кількість колій, де прицільне гальмування виконується також з використанням башмаків складає 443 колії, причому паркові немеханізовані гальмівні позиції встановлено і обладнано башмакоскидачами на 5-ти сортувальних гірках великої потужності і на 10-ти гірках середньої потужності.

**Корисна довжина сортувальних колій.** Корисна довжина сортувальних колій [18], на яких формуються поїзди, повинна відповідати довжині цих поїздів, збільшеній не менш ніж на 10 %. Для колій, що виділено для призначень групових поїздів, ці вимоги відносяться лише до однієї з них, на якій буде виконуватися закінчення формування і об'єднання частин состава групового поїзда.

У разі реконструкції існуючих станцій у важких умовах відповідно до [18] допускається залишати корисну довжину сортувальних колій меншу, ніж довжина состава, але кількість колій повинна бути відповідно збільшена.

Мінімальна довжина колій місцевих призначень і колій для кутових потоків визначається розрахунком у залежності від добової кількості вагонів і кількості подач за добу, але також із запасом по довжині не менш ніж 10 %. Довжина інших колій приймається за умовами конструкції парку, але не менше ніж 300 м.

Корисна довжина колій для накопичення поїздів існуючих сортувальних станцій визначається, як правило, як відстань між вихідним сигналом з колії та граничним стовпчиком стрілочного перевалу, що обмежує колію з іншого боку. Однак слід враховувати, що паркова гальмівна позиція, яка розташовується на відстані не менше ніж 15 м за граничним стовпчиком, може бути розміщена значно глибше в бік сортувальних колій, особливо при використанні кліщовидно-натискних уповільнювачів, встановлення яких в кривих ділянках колії неможливе.

У випадку зупинки в процесі розпуску відчепів на уповільнювачі паркової позиції чи ближче до горба гірки, можуть виникати труднощі, пов'язані з дотриманням максимально можливої швидкості зіткнення вагонів на даній колії. Прицільне гальмування, якщо це можливо, буде здійснюватися в даному випадку на другій (пучковій) гальмівній позиції, а корисна довжина колії не буде використовуватися повністю за умови нормального режиму розпуску составів.

В роботі проведено аналіз корисних довжин сортувальних колій, що використовуються для накопичення поїздів, всіх сортувальних станцій України. Всього проаналізовано довжину 799 колій. Колії сортувальних парків, що використовуються для інших потреб (для накопичення кутового вагонопотоку, місцевих вагонів, ремонту вагонів, тощо) в розрахунках не враховувались. На рис. 1.3 наведено діаграму розподілу сортувальних колій за довжиною.

Аналіз сортувальних колій технічних станцій України показав, що корисна довжина 35% із них відповідає нормам проектування і для нових станцій є більшою ніж  $1,1l_c$  (тут  $l_c$ -довжина состава, що накопичується на колії), 34% колій мають корисну довжину в межах  $l_c \leq l_k \leq 1,1l_c$ , а 31 % сортувальних колій мають корисну довжину меншу ніж довжина поїздів, що накопичуються.

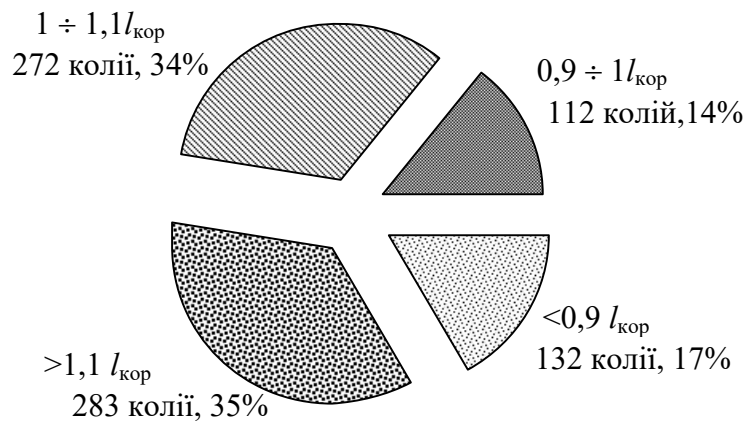


Рис. 1.3 Діаграма розподілу сортувальних колій для накопичення поїздів за довжиною для всіх сортувальних станцій України

Однак загальна ситуація не відображає стан речей на окремо взятих сортувальних станціях, тому більш детальний аналіз було виконано для сортувальних колій двох станцій – Н. (парна та непарна системи) та О. На рис. 1.4 приведено діаграми розподілу колій за довжиною для вищевказаних станцій.

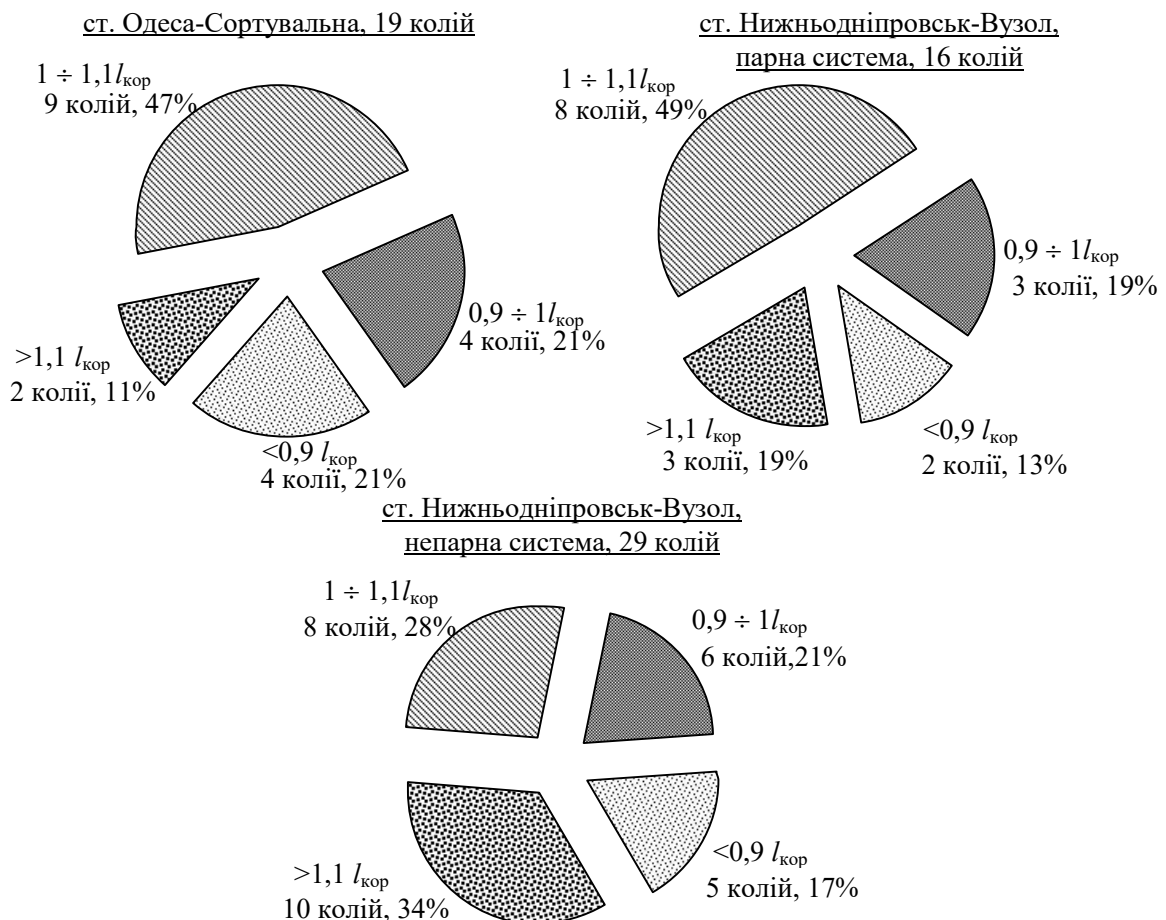


Рис. 1.4 Діаграми розподілу сортувальних колій для накопичення поїздів за довжиною для станцій О. та Н.

Аналіз сортувальних колій наведених станцій показав наступне: кількість колій, корисна довжина яких відповідає нормам проектування і є більшою ніж  $1,1l_c$  коливається від 11 до 34 %, колій, які мають корисну довжину в межах  $l_c \leq l_k \leq 1,1l_c$  – від 28 до 49 %, колій, які мають корисну довжину меншу ніж довжина поїздів, що накопичуються – від 32 до 42 %.

Наявність сортувальних станцій (систем двосторонніх станцій) з коліями недостатньої корисної довжини пояснюється тим, що ці станції були побудовані в першій половині 20-го сторіччя при існуванні на той час менших вагових норм та меншого стандарту корисної довжини. В ряді випадків виправити ситуацію шляхом реконструкції неможливо через відсутність площадки для подовження колій, в ряді ж випадків така ситуація частково компенсується формуванням значної кількості групових, вивізних та передаточних поїздів меншої довжини.

На відносно нових станціях 90 % колій для накопичення поїздів мають 10-ти відсотковий запас корисної довжини, а на станції Кр. всі колії мають такий запас.

**Аналіз гірочних горловин сортувальних парків.** Гірочні горловини призначені для скочування відчепів в процесі розпуску та виконання маневрів, пов'язаних з технологією роботи гірки. Характеристики горловин сортувальних парків станцій Н. (парна та непарна системи) та О. – розрахункові довжини маршрутів скочування на колії  $l_{зг}$ , м; кількість стрілок  $k_{стрг}$  та суми кутів повороту в стрілках і кривих  $\sum \alpha_{скг}$ , град по маршруту скочування відчепів наведено в [2-6].

На рис. 1.5 наведено гістограму розподілу сортувальних колій станції Н. за розрахунковою довжиною маршрутів скочування на різні колії  $l_{зг}$ , м. Аналіз цих характеристик показує, що сортувальні колії з боку гірочної горловини несуттєво відрізняються за довжинами маршрутів скочування на різні колії  $l_{зг}$ . Максимальні відхилення для розглянутих станцій не перевищують 35 %, або 90 м, при цьому



маршрути скочування для основної частини колій тих парків мають незначні відхилення і відрізняються в більшу сторону для колій, до яких примикають обхідні колії, а в меншу для колій пучків з кількістю колій меншою ніж 8. Цьому також сприяє використання симетричних стрілочних переводів та проектування пучкоподібних горловин. Різниця в кількості стрілочних переводів  $k_{стрг}$  по маршруту скочування теж несуттєва і коливається в межах від 4 до 5 для парної системи станції Н. та станції О. і від 4 до 6 для непарної системи станції Н.

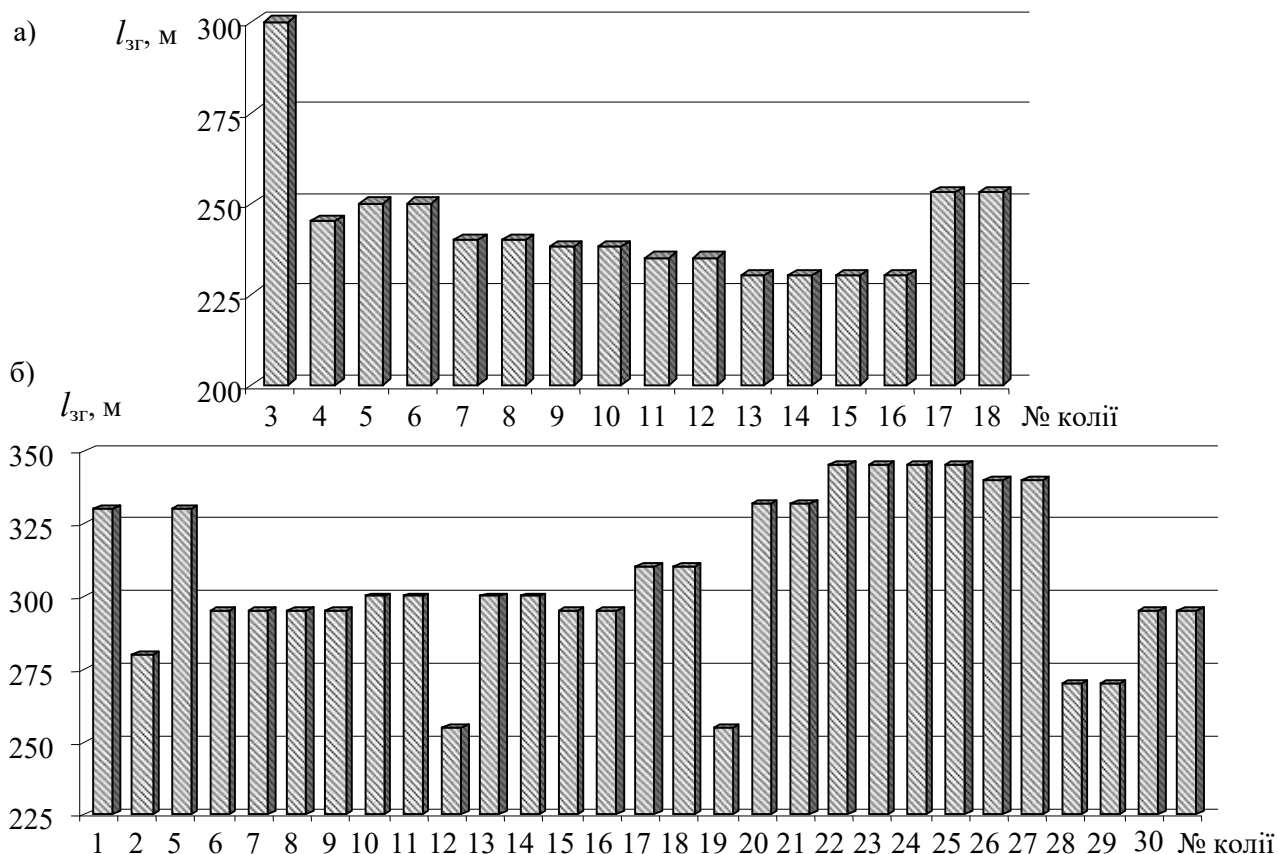


Рис. 1.5 Діаграми розподілу сортувальних колій за довжинами маршрутів скочування  $l_{зг}, м$  для станції Н.: а) парна система; б) непарна система.

На рис. 1.6 наведено діаграми розподілу сортувальних колій станції Н. за сумами кутів повороту в стрілках і кривих ділянках колії по маршруту скочування відчепів з гірки  $\sum \alpha_{скг}$ , град.

Аналіз типових схем гірочних горловин [1] показує, що суми кутів повороту в стрілках і кривих по маршруту скочування зростають з віддаленням колій від середини сортувального парку. Це характерно і для схем горловин існуючих станцій у випадку їх симетричності відносно колії насуву.

Аналіз діаграм на рис. 1.6 показує, що величини  $\sum \alpha_{\text{скг}}$  для крайніх колій парку неоднакові. Це виникає через те, що колії насуву розташовані під кутом до осі сортувального парку, а самі горловини несиметричні. Різниця між сумою кутів повороту для «легких» та «важких» колій в парках вищевказаних станцій коливається в межах від 48,5 до 50 град., що відповідає за своїм характером типовим гірочним горловинам сортувальних парків [12].

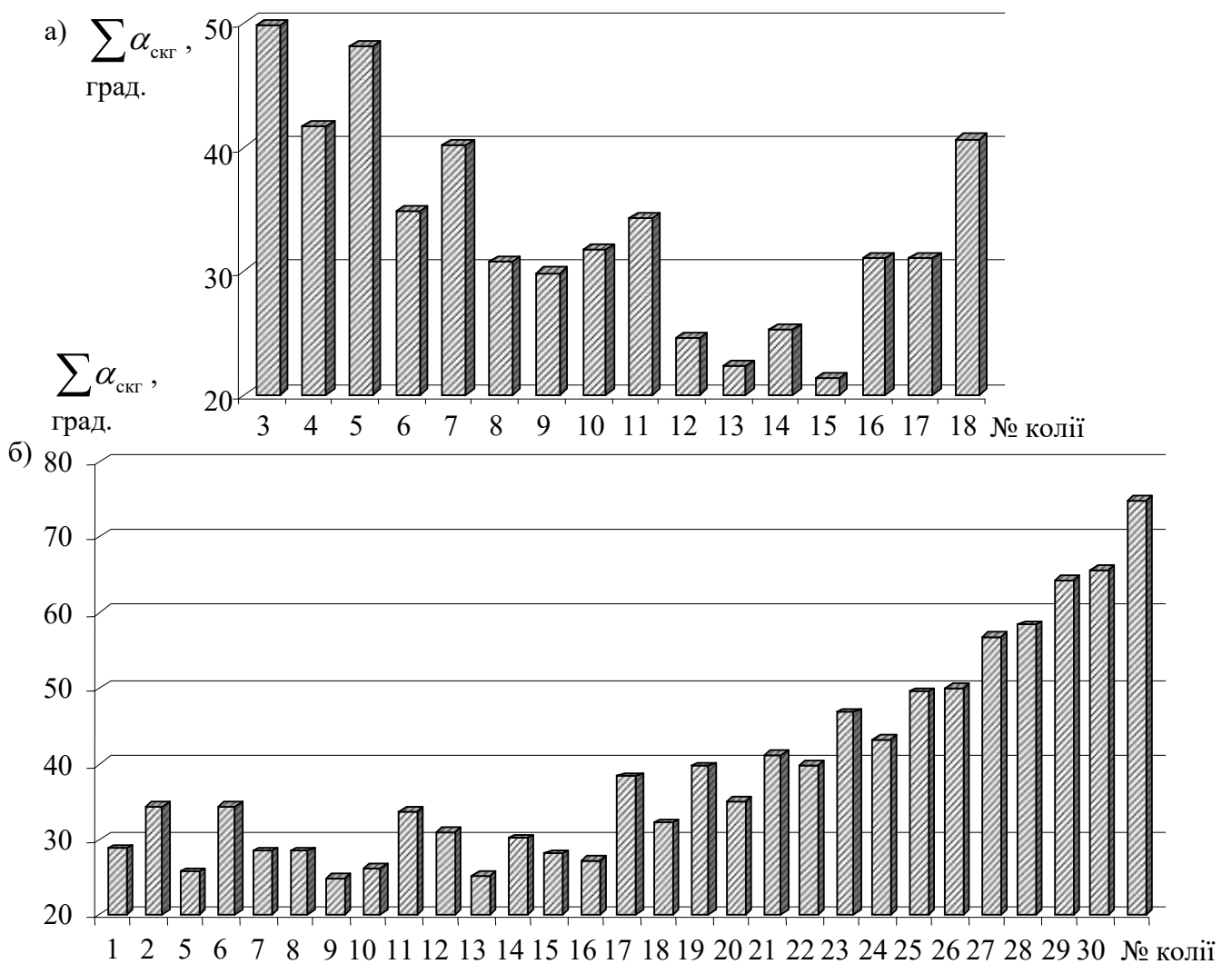


Рис. 1.6 Діаграми розподілу сортувальних колій за сумами кутів повороту в стрілках і кривих ділянках колії  $\sum \alpha_{\text{скг}}$ , град. для станції Н.: а) парна система; б) непарна система.

**Аналіз хвостових горловин сортувальних парків.** В хвостових горловинах сортувальних парків відбуваються операції із закінчення формування составів та

їх виставки в парк відправлення. Для цих горловин виконано дослідження, аналогічні попереднім. Для сортувальних колій з боку хвостової горловини, на відміну від гірочної, залежності між довжинами піврейсів заїзду маневрових локомотивів та кількість стрілок по маршруту мають дещо інший характер. Так різниця між довжинами піврейсів заїзду на колії з граничними значеннями цього показника для непарної системи станції Н. складає 265 м, для парної системи – 170 м, для станції О. – 355 м. Різниця між кількістю стрілок по маршруту для приведених вище станцій складає відповідно 8, 7 та 7 стрілок. Аналогічно гірчній горловині сума кутів повороту в кривих ділянках колії та на стрілках для різних колій має значний розкид. Для деяких колій цей показник складає 0 град; для колій з максимальною кількістю стрілок та кривих по маршруту заїзду сума кутів повороту досягає відповідно, 50,7 44,4 та 76,5 град. Піврейси заїзду корелюють з кількістю стрілок по маршруту та сумою кутів повороту.

При розрахунках тісноти кореляційного зв'язку між випадковими величинами  $x$  та  $y$  їх середні арифметичні значення визначаються за допомогою формул:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1.1)$$

де  $n$  – кількість спостережень;

$x_i, y_i$  – значення випадкових величин у окремих спостереженнях.

Емпіричні дисперсії розраховуються за формулами:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right), S_y^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2 \right), \quad (1.2)$$

Наведені параметри відповідно характеризують ознаки  $X$  та  $Y$ . Емпірична ковариація між значеннями  $x$  та  $y$  визначається за формулою:

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} \right) \quad (1.3)$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.4)$$

Сила зв'язку між випадковими величинами  $x$  та  $y$  може бути оцінена за шкалою Чеддока (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Шкала Чеддока

Показник щільності зв'язку, $r_{xy}$	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Характеристика сили зв'язку	слабкий	помірний	помітний	значний	дуже значний

На рис. 1.6 наведені поля точок вказаних величин, а також коефіцієнти кореляції  $r$ .

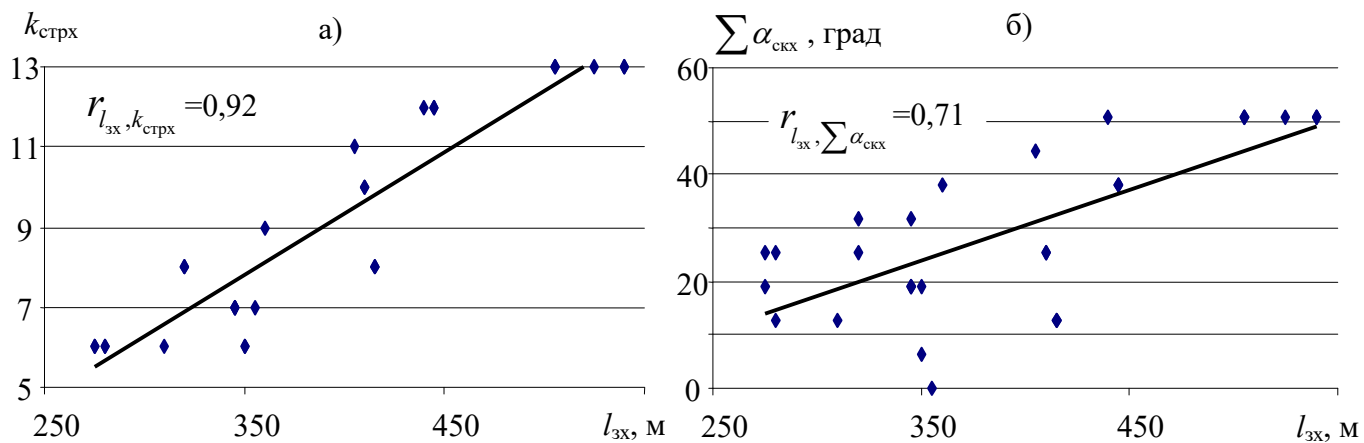


Рис. 1.6 Залежності довжини піврейсів заїзду  $l_{zx}$ : а) від кількості стрілок по маршруту  $k_{стрх}$ ; б) від суми кутів повороту в стрілках і кривих  $\sum \alpha_{пєд}$ , град.

Аналіз залежностей, приведених на рис. 1.6 показує, що довжини піврейсів заїзду  $l_{zx}$  мають значний зв'язок із сумою кутів повороту в стрілках і кривих

$\sum \alpha_{\text{скх}}$  та дуже значний із кількістю стрілочних переводів по маршруту заїзду  $k_{\text{стрх}}$ .

Слід зазначити, що довжини піврейсів заїзду маневрових локомотивів  $l_{\text{зх}}$  та кількість стрілок по маршруту  $k_{\text{стрх}}$  для розглянутих станцій значно відрізняються від аналогічних показників для типових хвостових горловин [13], а суми кутів повороту мають ту ж залежність, але більший розкид.

#### **1.4 Характеристика вагонопотоків у розформування сортувальних станцій України**

При вирішенні задач, пов'язаних з раціональним вибором спеціалізації сортувальних колій виникає задача статистичної оцінки характеристики вагонопотоків, що прибувають у розформування на сортувальну станцію як в цілому, так і окремих струменів вагонопотоків за призначеннями плану формування поїздів. Статистична обробка натурних листів составів у розформування кількох сортувальних станцій (Н., Кл., Я., Кр.Л. Донецької залізниці, О. Південної залізниці, Знам'янка) дозволяє встановити залежності між характеристиками вагонопотоків конкретних призначень та в цілому по станції.

**Аналіз струменів вагонопотоків у розформування за ваговими категоріями.** Відповідно до ваги бруто вагона виділяють 5 вагових категорій вагонів:

- легку (Л – маса бруто до 28 т);
- легко-середню (ЛС – 28-44 т);
- середню (С – 44-60 т);
- середньо-важку (СВ – 60-72 т);
- важку (В – понад 72 т).

На рис. 1.7 показано гістограму розподілу вагонопотоків у розформування по вагових категоріях для трьох сортувальних станцій – Кл. , східної системи ст. Я. , парної та непарної систем ст. Н.. Легку вагову категорію умовно розділено на дві

складові – порожні вагони, частка яких в легкій ваговій категорії є переважною та завантажені вагони, вага яких відповідає даній ваговій категорії.

Основна частка вагонів, що розформовуються на сортувальних станціях припадає на вагони важкої вагової категорії та порожні, частки яких складають в середньому 60 та 23 % відповідно. Частки вагонів легкої та легко-середньої вагових категорій не перевищують 3 %. Частки вагонів середньої та важко-середньої вагових категорій становлять – до 7 та 16 % відповідно.

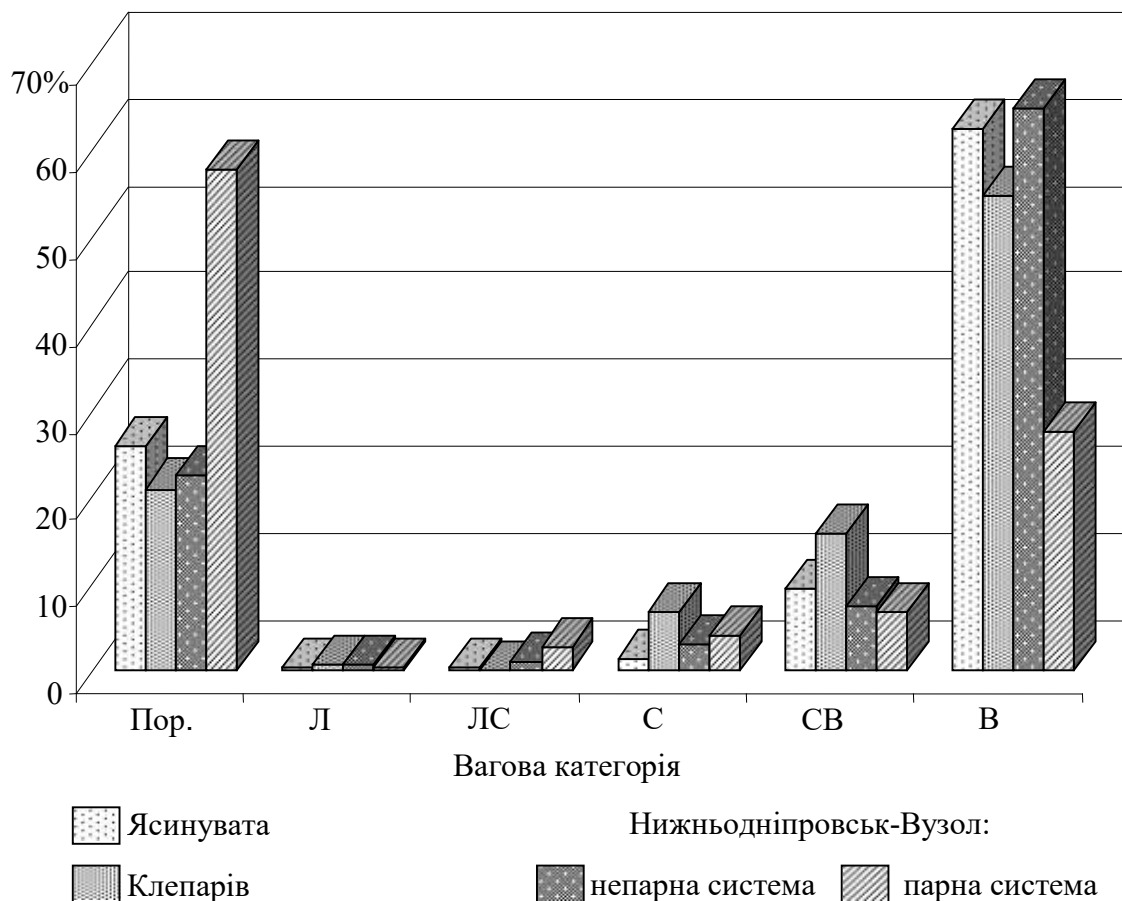


Рис. 1.7 Гістограма розподілу вагопотоків у розформування по вагових категоріях

Структура вагопотоків у розформування парної системи станції Н. відрізняється від структури двох інших станцій, приведених в якості прикладу на рис. 2.13 за співвідношенням порожніх вагонів та вагонів важкої вагової категорії. Наявність 58 % порожніх вагонів пояснюється тим, що парна система станції Н. формує поїзди з порожніх піввагонів під навантаження в Донецький вугільний басейн; з порожніх критих вагонів в райони навантаження кухонної кам'яної солі;

з порожніх цистерн світлого та темного наливу на територію Російської Федерації та інші порожні струмені вагонопотоків в райони навантаження.

Аналіз окремих вагонопотоків призначень плану формування сортувальних станцій показав, що різні призначення відрізняються не лише за потужністю і структурою вагонопотоку, але і за ваговими категоріями вагонів. Проаналізувавши розподіл вагонів на різних коліях можна виділити п'ять груп:

- до першої групи слід віднести призначення плану формування в складі яких є тільки порожні вагони (порожні вагони в регулювання в райони масового завантаження);

- до другої групи – призначення, де накопичуються тільки вагони важкої вагової категорії (потоки сировини на металургійні заводи, нафтопродуктів в порти під злив тощо);

- до наступних двох груп – призначення, структура яких відповідає розподілу вагонопотоків, приведеному на рис. 1.7 і які відрізняються лише відсотком порожніх і вагонів важкої вагової категорії. В першому випадку це 35 і 50, в другому – 65 і 30 відсотків відповідно;

- до п'ятої групи слід віднести призначення з рівномірним розподілом вагонів за ваговими категоріями.

**Аналіз структури багатовагонних відцепів.** Як показує аналіз, параметри окремих вагонів не можна розглядати як незалежні випадкові величини. Для ілюстрації на рис. 1.8 наведені статистичні дані по складу багатовагонних відцепів по станції Н..

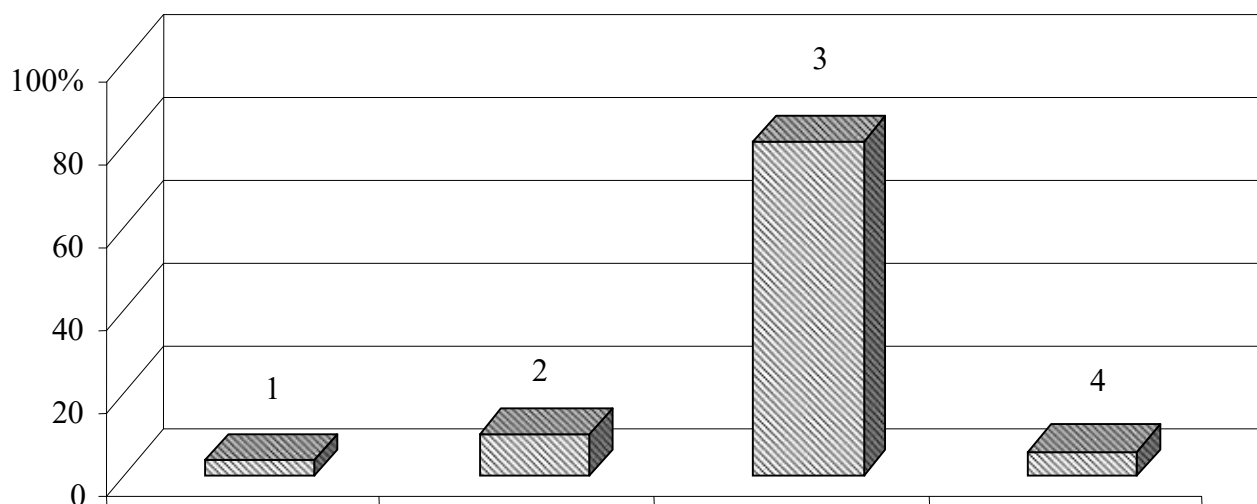


Рис. 1.8 Розподіл кількості багатовагонних відчепів: 1 - відчепа з однотипних вагонів різних вагових категорій; 2 - відчепа з різнотипних вагонів різних вагових категорій; 3 - відчепа з однотипних вагонів однакових вагових категорій; 4 - відчепа з різнотипних вагонів однакових вагових категорій

Дійсно, ймовірність появи у складі однорідного відчепа, що складається з вагонів одного типу з близькою вагою, значно вище величини  $p^n$ , де  $p$  – ймовірність появи одного такого вагону. Вказане явище можна пояснити наявністю достатньо великої кількості випадків масового навантаження одним відправником певного вантажу на адресу однієї станції, який слідує потім однією групою.

#### **Аналіз характеристик вагопотоків у розформування різних струменів.**

Вагопотоків призначень плану формування сортувальних станцій відрізняються за потужністю  $N_{\text{доб}}$ , за середньою вагою вагону  $M[q_v]$ , середньою кількістю вагонів у відчепі  $M[n]$  та параметрами розподілу випадкових величин  $q_v$  та  $n$ . Відчепа з меншими значеннями сумарного питомого опору руху  $w$ , кгс/тс, скочуються з гірки на сортувальну колію до точки прицілювання більш прогнозовано і потребують менших питомих витрат локомотиво-годин на заповнення «вікон» між вагонами. Зважаючи на те, що значення  $w$  зменшується із збільшенням ваги відчепів  $q_{\text{від}}$  та їх довжини  $n$ , актуальним є аналіз вказаних вище параметрів вагопотоків різних призначень. При цьому прийнято, що середня вага відчепа  $\bar{q}_{\text{від}}$  визначається як  $M[q_v] \cdot M[n]$ .

В табл. 1.5 наведено статистичні характеристики вагопотоків у розформування за призначеннями плану формування парної системи станції Н.. На рис. 1.9 наведено діаграми середніх довжин відчепів та ваги бруто вагонів призначень плану формування парної системи станції Н. аналіз яких показує достатньо широкий розкид вказаних випадкових величин та відсутність кореляційного зв'язку між ними.



Таблиця 1.5

Статистичні характеристики вагопотоків у розформування парної системи станції Н.\*

№ колії/ призначення	Довжина відчепа $n$				Вага бруто вагона $q_B$ , т				Кількість вагонів призначення $M[n_{при}]$
	$n_{min}$ , ваг.	$n_{max}$ , ваг.	$M[n]$ , ваг.	$\delta[n]$	$q_{min}$ , т.	$q_{max}$ , т.	$M[q_B]$ , т.	$\delta[q_B]$	
3/Місц	1	2	1,38	0,45	22	90	73,69	26,19	1,72
4/ПВЛ	1	8	3,09	2,04	22	94	38,44	21,52	4,64
5/ЗПЛ	1	26	4,37	4,96	22	94	55,04	26,05	7,21
6/ДЕБ	1	18	2,95	2,15	22	94	48,52	25,14	5,79
8/ЯСН	1	12	3,55	2,21	22	94	58,81	27,21	6,86
9/ВЛХ	1	8	2,62	1,97	22	93	68,46	28,03	4,05
10/КРЛ	1	22	3,63	2,97	22	92	35,46	20,26	5,94
11/ЛОЗ	1	10	2,84	2,14	22	94	53,67	26,22	6,32
13/ПВ	1	41	5,55	5,35	22	22	22,0	0	5,22
14/ДЖН	1	22	3,44	2,88	22	94	61,08	27,73	5,84
15/НВМ+САМ	1	17	4,39	3,81	22	92	43,97	24,31	5,65
16/ЧСБ	1	10	2,52	1,85	22	91	67,85	26,48	4,26
18/ВУГ	1	23	2,75	2,13	22	93	52,22	26,23	5,24

\*колії №№7, 12, 17 – резервні, використовуються для накопичення вагонів з охороною, з розрядними вантажами та при «ковзаючій» спеціалізації сортувальних колій

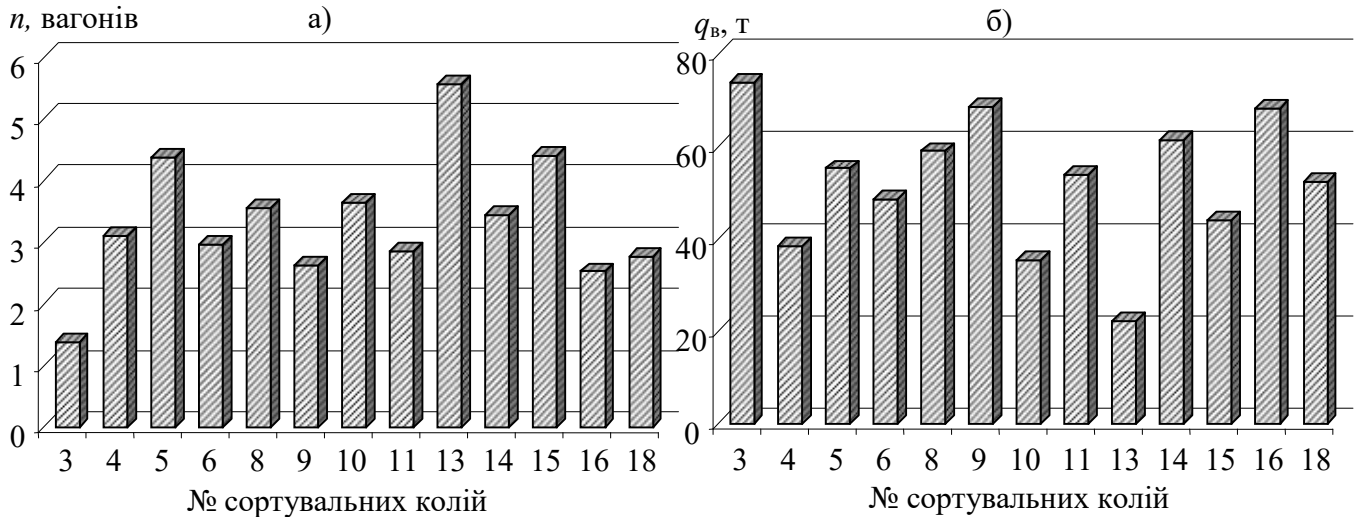


Рис. 1.9 Діаграми розподілу за призначеннями плану формування випадкових величин: а) довжини відчепа  $n$ , вагонів; б) ваги бруто вагона  $q_B$ , т

Потужності призначень плану формування однієї сортувальної станції чи системи двосторонньої станції теж коливаються в досить широкі межі. Для ілюстрації на рис. 1.10 наведено діаграми розподілу призначень плану формування парної та непарної систем станції Н. за потужністю.

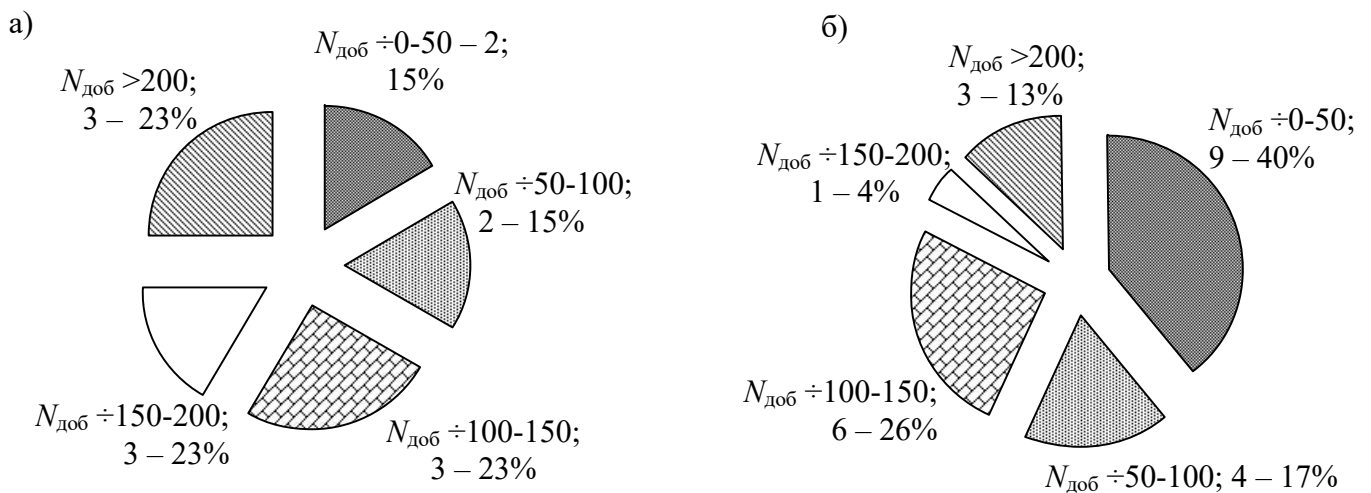


Рис. 1.10 Діаграми розподілу призначень плану формування за потужністю станції Н.: а) парної системи; б) непарної системи

Для визначення ступеня кореляційного зв'язку між випадковими величинами потужності призначення  $N_{\text{доб}}$ , вагонів та середньою кількістю вагонів у відчепі  $M[n]$  розраховано відповідні коефіцієнти регресії [18] на прикладі трьох сортувальних станцій – західної системи станції Я. , парної системи станції Н. та станції Кл. . Поля точок, побудовані за даними аналізу розмічених телеграм-натурних листів поїздів у розформування, а також значення коефіцієнту кореляції  $r$  величини  $N_{\text{доб}}$  з кількістю вагонів у відчепі  $M[n]$  показують наявність помірного кореляційного зв'язку за шкалою Чеддока.

Результати статистичної обробки даних для трьох вищевказаних станцій наведені у табл. 1.6, а поле точок величин  $N_{\text{доб}}$  та  $M[n]$  для парної системи станції Н. на рис. 1.11.

Таблиця 1.6  
Результати статистичної обробки кількості вагонів у відчепі та потужності призначення

Станція	$n$	$N_{\text{доб}}$	$S_n^2$	$S_{N_{\text{доб}}}^2$	$S_{N_{\text{доб}}n}$	$r_{N_{\text{доб}}n}$
Н. (парна система)	3,66	133,31	14,29	11933,67	117,93	0,4
Я.	4,16	164,67	6,11	11474,15	97,22	0,367
Кл.	4,52	113,44	28,01	12304,86	242,2	0,413

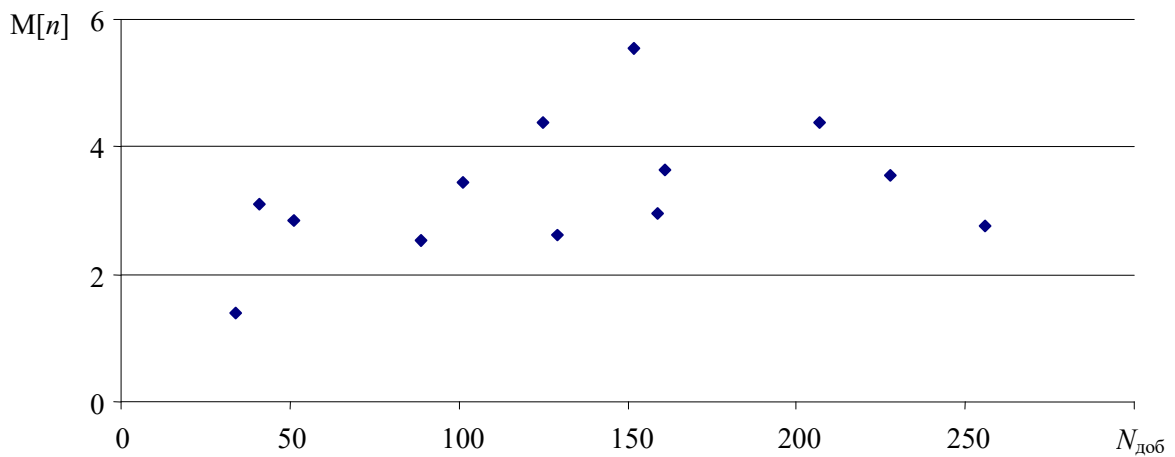


Рис. 1.11 Поле точок величин  $N_{\text{доб}}$  та  $M[n]$  для парної системи станції Н.

Таким чином, виконані дослідження дозволяють зробити висновок про те, що кореляційним зв'язком між випадковими величинами кількості вагонів у відчепі  $M[n]$  та потужністю призначення  $N_{\text{доб}}$  при подальших розрахунках та моделюванні можна знехтувати.

### Висновки по 1 розділу

Технічне забезпечення парків накопичення поїздів та схеми їх колійного розвитку на залізницях України склалися в основному історично. Їх параметри суттєво відрізняються від типових рішень та вимог проектування.

Виявлені особливості технічного забезпечення, схем колійного розвитку сортувальних парків, довжин та поздовжнього профілю сортувальних колій, поздовжнього профілю спускної частини гірок показали суттєву їх різницю між собою.

Встановлено, що потужності окремих призначень плану формування поїздів різних станцій, що мають широкий розкид від призначень потужністю до 50 вагонів на добу до понад 200 вагонів на добу. Потужність призначення  $N_{\text{доб}}$ , вагонів та середня кількість вагонів у відчепі  $M[n]$  мають помірний кореляційний зв'язок, яким при подальших розрахунках та моделюванні можна знехтувати. Встановлено відсутність зв'язку між випадковими величинами кількості вагонів у відчепі  $M[n]$  та вагою бруто вагона  $q_{\text{в}}$ , т окремих призначень.



## **2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ В СОРТУВАЛЬНИХ ПАРКАХ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ**

Сортувальні парки технічних станцій представляють собою складні системи. Експерименти на реальних станціях через велику їх вартість є практично неможливими. Неможливою є також побудова фізичних моделей для дослідження процесу поїздоутворення. Тому основним методом дослідження впливу спеціалізації сортувальних колій є математичне моделювання станційних процесів на ЕОМ. У зв'язку з тим, що задача розробки адекватної загальної функціональної моделі сортувального парку в сучасних умовах повністю не вирішена, то у дослідженнях використовується трирівнева ієрархічна система моделей сортувального парку. На мікрорівні застосовується модель скочування окремого відчепа; на макрорівні – модель розформування состава та на метарівні – модель роботи сортувального парку в цілому.

### **2.1 Модель процесу скочування відчепів**

Загальна структура моделі скочування містить опис маршруту скочування і осьову модель відчепа [12]. При цьому, маршрут скочування розбитий на елементи, межами яких є характерні точки плану колійного розвитку: вершина гірки, межі стрілочних переводів, кривих, гальмівних уповільнювачів і ізольованих ділянок. Подовжній профіль маршруту представлений за допомогою кубічного сплайна.

Процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням  $v' = f(s, v)$ , для вирішення якого використовується метод Рунге-Кутта IV порядку з постійним кроком  $\Delta s$ . На кожному кроці  $\Delta s$  моделювання переміщення відчепа виконується за допомогою диференціального рівняння першого порядку, в якому незалежною змінною є пройдений шлях [15]:

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_o - w_{cb} - w_{ck} - w_T) \cdot 10^{-3}}{v}, v > 0 \quad (2.1)$$

де  $w_o$  – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс;

$w_{cb}$  – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, кгс/тс;

$w_{ck}$  – додатковий питомий опір руху, що виникає при проходженні стрілок і кривих;

$v$  – швидкість відчепа, м/с;

$g'$  – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин, що обертаються, вагону, м/с<sup>2</sup>.

На окремих кроках величина інтегрування  $\Delta s$  може коректуватися так, щоб забезпечити безперервність всіх сил, що діють на відчеп в межах кроку.

Миттєве значення уклону, по якому рухається центр тяжіння відчепа, коли його перша вісь знаходиться в точці  $s$ , визначається як

$$i(s) = \frac{1}{Q_{\text{від}}} \sum_{j=1}^{m_{\text{ва}}} \frac{Q_{\text{ва}j}}{n_{\text{ва}j}} \sum_{r=1}^{n_{\text{ва}j}} i(s_{rj}),$$

де  $m_{\text{від}}$  – число вагонів у відчепі;

$Q_{\text{ва}j}, n_{\text{ва}j}$  – відповідно, вага і число осей вагону;

$Q_{\text{від}}$  – вага відчепа;

$s_{rj}$  – координата точки, в якій знаходиться  $r$ -а вісь  $j$ -го вагону;

$i(s_{rj})$  – значення уклону, на якому знаходиться  $r$ -а вісь  $j$ -го вагону.

Ухил  $i(s_{rj})$  є першою похідною відмітки профілю гірки  $h(s_{rj})$ , описану кубічним сплайном

$$i(s_{rj}) = C_{2k} + 2C_{3k}(s_{rj} - s_k) + 3C_{4k}(s_{rj} - s_k)^2$$

де  $C_{2k}, C_{3k}, C_{4k}$  – коефіцієнти сплайна;

$s_k$  – вузол сплайна ( $s_k < s_r < s_{k+1}$ ).

Розрахунок питомих сил опору від стрілок і кривих  $w_{ck}$  виконується по формулі:

$$w_{ck}(v) = C_{cb,ck} v^2,$$

де  $C_{\text{св.ск}}$  – середньозважений коефіцієнт опору стрілок і кривих.

Значення величини  $C_{\text{св.ск}}$  визначається на кожному кроці моделювання

$$C_{\text{св.ск}} = \sum_{j=1}^{m_{\text{опт}}} q_{\text{в}j} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} C_{\text{ск}i} \cdot$$

Значення  $C_{\text{ск}i}$  для окремої осі відчепа залежить від її положення  $s_{rj}$  на маршруті скочування і визначається як

$$C_{\text{ск}i} = \frac{0,56\theta + 0,23\phi_n}{l_{\text{ск}i}}, \quad s_{rj} \in [s_{\text{ск}n}, s_{\text{ск}n} + l_{\text{ск}n}], \quad \text{інакше } C_{\text{ск}i} = 0.$$

Тут  $\theta_n$  – тип  $n$ -го елемента ( $\theta_n=0$  – крива;  $\theta_n=1$  – стрілка);

$\phi_n$  – кут повороту кривої  $n$ -го елемента, град;

$s_{\text{ск}n}, l_{\text{ск}n}$  – відповідно, координата початку і довжина  $n$ -го елемента, м.

Для розрахунку  $C_{\text{ск}}$  в моделі гірки міститься інформація про розміщення і параметри стрілок і кривих на коліях скочування.

Для розрахунку  $w_{\text{св}}$  в моделі відчепа містяться дані про вагу і тип кожного вагону, а в таблицях нормативно-довідкової інформації зберігаються дані для визначення значення коефіцієнтів повітряного опору  $C_x, C_{xx}$  на кожному кроці  $\Delta s$ .

Модель скочування відчепа удосконалена для моделювання проштовхування вагонів у сортувальному парку. З цією метою модель доповнена інформацією про розташування вагонів на сортувальній колії та їх параметри. При цьому на кожному кроці моделювання перевіряється умова об'єднання відчепа з групою вагонів, що знаходяться на колії. Маса об'єданого відчепа встановлюється як:

$$Q_z = Q_{\text{від}1} + Q_{\text{від}2},$$

де  $Q_{\text{від}1}$  та  $Q_{\text{від}2}$  – відповідно, маса відчепа, що скочується, та маса групи вагонів, що знаходиться на сортувальній колії, т;

Розрахунок швидкості об'єданого відчепа здійснюється таким чином. Відомо, що при з'єднанні відцепів, що зіткнулися, частина їхньої кінетичної енергії витрачається на подолання сил тертя в поглинальних апаратах автозчеплень. В цьому зв'язку зіткнення відцепів при нагоні можна розглядати як непружне центральне лобове зіткнення.

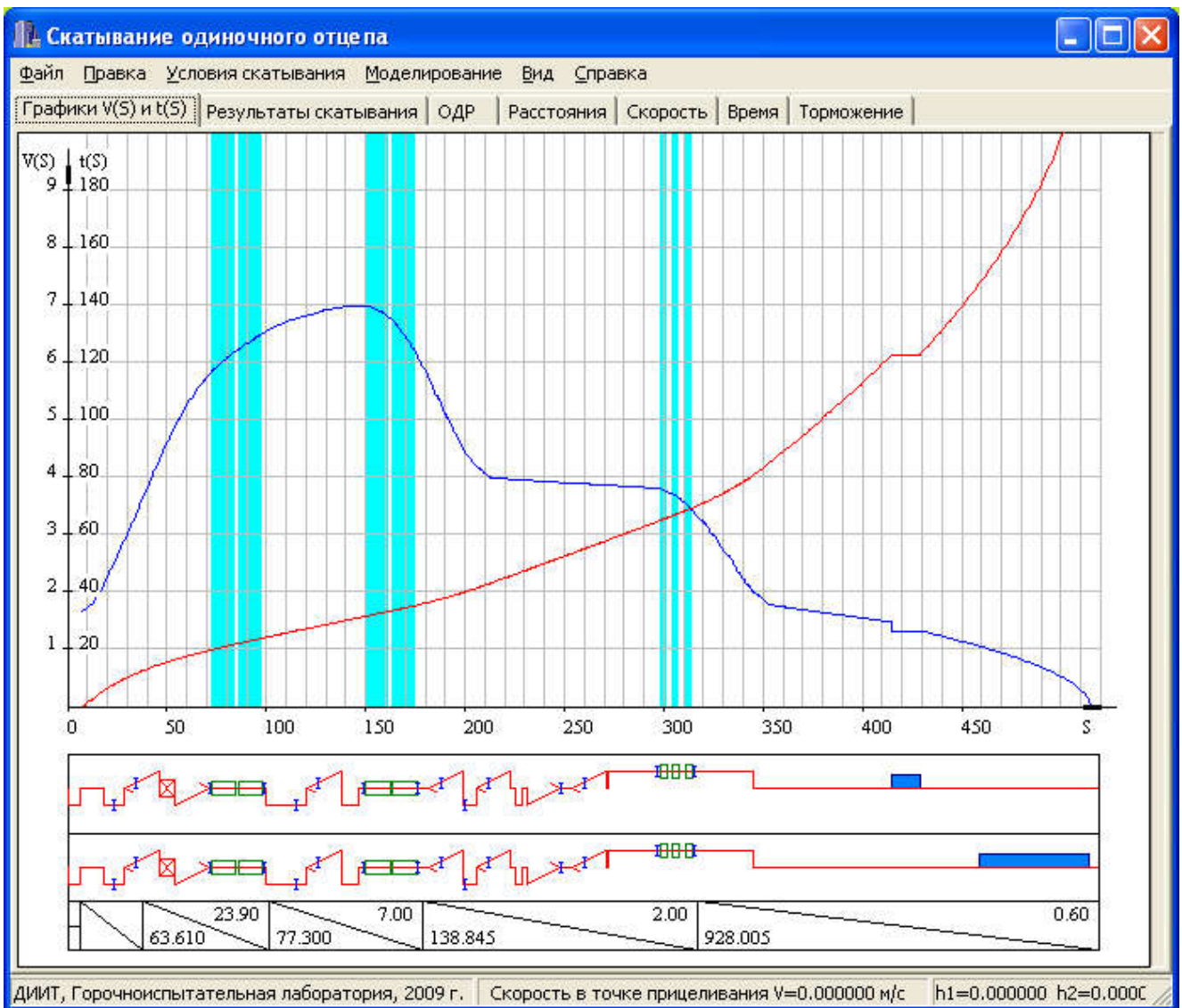


Рис. 2.1. Моделювання скочування відчепа з проштовхуванням у програмі

Початкова швидкість об'єднаного відчепа визначається з умови збереження енергії за допомогою виразу [16]:

$$v_3 = \sqrt{\frac{Q_{\text{від1}} v_{\text{підх}}^2 - 4Q_{\text{від2}} A_{\text{руш}} g' 10^{-3}}{2(Q_{\text{від1}} + Q_{\text{від2}})}} \quad (2.2)$$

де  $v_{\text{підх}}$  – швидкість підходу відчепа до групи вагонів, що знаходиться на сортувальній колії, м/с;

$A_{\text{руш}}$  – робота на зрушення групи вагонів, які знаходяться на сортувальній колії, кГм;



$g'$  – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються,  $m/c^2$ .

Модель дозволяє імітувати рух составу на насувній частині сортувальної гірки, одночасне скочування всіх відцепів на спускній частині і на сортувальних коліях, а також зіткнення відцепів і проштовхування вагонів, що стоять на колії та реалізована у вигляді програмного комплексу для ЕОМ «Скатывание одиночного отцепа «VS», головне вікно якої зображено на рис. 2.1.

## 2.2 Модель процесу розпуску составів

Математична модель розпуску составів забезпечує формування випадкового потоку відцепів та вибір режимів їх гальмування. Модель состава, що насувається містить інформацію про вагони состава, що надходять у розформування. При цьому кожен вагон описується структурою

$$C_i = \{\gamma_i, v_{vi}, \rho_i, Q_{vi}, w_{oi}, d_i\}, i = 1, \dots, m_c,$$

де  $\gamma_i$  – тип  $i$ -го вагона;  $v_{vi}$  – число осей;  $\rho_i$  – тип підшипників;  $Q_{vi}$  – маса вагона;  $w_{oi}$  – основний питомий опір;  $d_i$  – колія призначення вагона;  $m_c$  – кількість вагонів у составі.

У зв'язку з невизначеністю параметрів відцепів та умов їх скочування задача управління скочуванням відцепів є стохастичною. При моделюванні вибір режимів інтервального регулювання швидкості відцепів здійснювався для математичного очікування випадкових величин. При цьому область допустимих режимів (ОДР) гальмування вибиралась з умов докочування всіх вагонів состава за граничний стовпчик та виконання встановленої ПТЕ швидкості підходу відцепів до вагонів на сортувальних коліях із ймовірністю 0,9 (рекомендоване значення для автоматизованих систем управління розпуском составів [21]). Режими гальмування відцепів состава в ОДР визначається в результаті розв'язання оптимізаційної задачі максимізації мінімального інтервалу між відчепами  $\min(\delta t_{1i}, \delta t_{2i}) \rightarrow \max$  ітераційним методом [14].

**Методика моделювання составів, що розформовуються.** Сортивальні пристрої, колійний розвиток та устаткування повинні відповідати встановленим вимогам для реалізації прогресивного технологічного процесу переробки вагонів з моделюванням на ЕОМ процесу розформування потоку составів [11, 19]. Таким способом перевіряються висота та профіль гірки, умови ділення відчепів на розділових елементах в процесі розформування, моделюється процес заповнення сортувальних колій, тощо.

Однією з задач, що виникає при цьому є розробка методики моделювання составів [10] з метою врахування всіх зв'язків між вагонами одного составу та врахування впливу випадкових параметрів составів і відчепів на процес розпуску. Генерування составів може бути виконано з використанням реальних телеграм-натурних листів (ТГНЛ) поїздів у розформування і шляхом їх моделювання. Потрібно моделювати такі випадкові величини: тип вагона, його вагову категорію та призначення.

Наявність об'єктивних зв'язків між призначеннями суміжних відчепів доведено і проведено аналіз їх частот проф. Шафітом Є.М. [11]. Ці зв'язки враховувалися ним при формуванні розрахункового составу. При цьому розподіл частот появи в складах комбінацій відчепів, що слідує на різні колії сортувального парку представлено у вигляді квадратної матриці  $m \times m$ , тут  $m$  – кількість сортувальних колій, недоліком якої є те, що при цьому не враховується довжина відчепів різних призначень. Дослідження структури багатовагонних відчепів (див. рис. 2.12) показують необхідність врахування цього фактору.

Так як призначення не можна розглядати як незалежну випадкову величину, моделювання призначення кожного вагона базується на представленні випадкового числа вагонів у відчепі  $n_{\text{відч}}$  за допомогою геометричного розподілу, що відповідає характеру потоку відчепів на діючих гірках [17]. Приклад матриці ймовірностей залежних подій призначень вагонів для гірки з шістьма сортувальними коліями наведено у табл. 2.1.

Матриця має розмір  $(m + 1) \times m$ , де  $m$  – в даному випадку кількість призначень плану формування поїздів (кількість колій, на які ведеться розпуск составів).

Основою для розробки матриці є розмічені ТГНЛ составів поїздів, що прибули в розформування на конкретну станцію чи у систему двосторонньої сортувальної станції, або сортувальні листки.

Таблиця 2.1

Умовні ймовірності слідування вагонів на окремі призначення

		Призначення вагону $j=1, \dots, m$					
		1	2	3	4	5	6
Перший вагон		0,364	0,114	0,136	0,023	0,341	0,023
Призначення вагону $i=1, \dots, m$	1	0,693	0,041	0,078	0,009	0,174	0,005
	2	0,101	0,841	0	0,014	0,043	0
	3	0,179	0	0,522	0,030	0,254	0,015
	4	0,400	0,100	0	0,500	0	0
	5	0,080	0,008	0,042	0,002	0,867	0,002
	6	0,111	0	0	0	0,222	0,667

Умовна ймовірність слідування вагона (крім першого в составі) на окрему колію сортувального парку  $p_{ij}$  – це умовна ймовірність слідування вагона на  $j$ -ту колію, визначена за умови, що попередній вагон слідував на  $i$ -ту колію

В нульовому рядку (рядок «перший вагон») вказується безумовна ймовірність  $p_{0j}$  слідування першого вагона в составі на  $j$ -ту колію.

Аналіз табл. 2.1 показує – ймовірності того, що наступний вагон має те ж призначення, що і попередній суттєво перевищують інші значення у кожному з рядків. В якості прикладу в табл. 2.2 та 2.3 приведені матриці для цих випадкових подій, складені для парної системи станції Н. Розмір матриць відповідає кількості вагових категорій та типів вагонів, що виділяються.

Умовна ймовірність вагової категорії вагона (крім першого в составі)  $p_{ij}$  – це умовна ймовірність того, вагон має  $j$ -ту вагову категорію, визначена за умови, що попередній вагон мав  $i$ -ту вагову категорію. В нульовому рядку вказується безумовна ймовірність  $p_{0j}$   $j$ -ої вагової категорії першого вагона.

Умовна ймовірність типу вагона (крім першого в составі)  $p_{ij}$  – це умовна ймовірність того, що вагон має  $j$ -й тип, визначена за умови, що попередній вагон мав  $i$ -й тип. В нульовому рядку вказується безумовна ймовірність  $p_{0j}$   $j$ -го типу.

Таблиця 2.2

Умовні ймовірності вагових категорій вагонів у складах

		Вагова категорія вагона $j=1, \dots, m$					
		Пор	Л	СЛ	С	СВ	В
Перший вагон		0,421	0,009	0,032	0,063	0,113	0,362
Вагова категорія вагона $i=1, \dots, m$	Пор	0,883	0,002	0,009	0,013	0,024	0,069
	Л	0,143	0,556	0,175	0	0,048	0,079
	СЛ	0,155	0,039	0,625	0,063	0,036	0,082
	С	0,16	0	0,044	0,488	0,164	0,144
	СВ	0,214	0,003	0,01	0,081	0,434	0,258
	В	0,151	0,001	0,01	0,019	0,059	0,759

Таблиця 2.3

Умовні ймовірності типу вагонів у складах

		Тип вагона $j=1, \dots, m$					
		Критий	Платф.	Піввагон	Цистерна	Хопер	8-в. цис.
Перший вагон		0,124	0,034	0,648	0,069	0,097	0,028
Тип вагона $i=1, \dots, m$	Критий	0,57	0,022	0,276	0,079	0,035	0,018
	Платформа	0,071	0,665	0,183	0,066	0,01	0,005
	Піввагон	0,051	0,004	0,899	0,029	0,011	0,006
	Цистерна	0,088	0,015	0,251	0,62	0,015	0,011
	Хопер	0,061	0,007	0,081	0,037	0,81	0,004
	8-в. цистерна	0,102	0,009	0,185	0,157	0	0,546

Такий метод моделювання дозволяє одночасно визначати призначення кожного вагона в складі і число вагонів у відчепках. На першому етапі моделюються призначення вагонів складу, на другому етапі формуються багатовагонні відчепи ( $m_{\text{від}} > 1$ ), якщо суміжні вагони слідуєть на одне призначення. Всі багатовагонні відчепи складу можна розділити на дві категорії – однорідні (з вагонів одного типу та однієї вагової категорії) та неоднорідні. Якщо відчеп багатовагонний, то моделюється його категорія – однорідний чи неоднорідний. Для неоднорідного відчепа виконується моделювання параметрів кожного вагону (тип вагону і його вага); якщо ж відчеп однорідний то параметри всіх його вагонів приймаються однаковими.

Таким чином, в результаті попереднього моделювання отримано склад з відомими типами вагонів, їх ваговими категоріями та призначенням кожного вагона і, відповідно, кількістю вагонів у кожному відчепі.

Наприкінці здійснюється моделювання початкового розподілу вагонів по сортувальних коліях; ці дані використовуються для визначення довжини вільної частини сортувальних колій перед розпуском чергового составу.

### **2.3 Модель процесу накопичення вагонів в сортувальному парку**

Робота сортувального парку з накопичення вагонів залежить від його основних параметрів. Такими параметрами є кількість і довжина сортувальних колій, виділених для накопичення. Кількість сортувальних колій в парках сортувальних станцій в умовах проектування встановлюється при цьому [5, 8] в залежності від кількості призначень по плану формування поїздів (в т.ч. і з порожніх вагонів), добової кількості вагонів кожного призначення з урахуванням довжини колій парку і особливостей технології роботи станції по формуванню поїздів. Якщо на призначення надходить  $N_{кр} = 200$  і більше вагонів на добу, то необхідно для нього виділяти дві сортувальні колії. Потрібну кількість колій в сортувальному парку для інших потреб встановлюють в проекті з урахуванням місцевих умов роботи.

Корисна довжина сортувальних колій [5] повинна мати 10-15-ти відсотковий запас від довжини поїздів, передач чи груп вагонів, що накопичуються на них. Цей запас потрібен для можливості спрямування на дану колію вагонів, що поступають в проміжку між моментами накопичення попереднього составу та його виводу з колії. В той же час аналіз спеціалізації сортувальних колій на станціях показує, що  $N_{кр}$ , в залежності від місцевих умов, коливається в межах від 170 до 260 вагонів. Необхідність додаткової колійної ємності для накопичення составів одногрупник поїздів пояснюється тим, що від моменту завершення накопичення до моменту виставки состава на колію надходить деяка кількість вагонів. У випадку, коли накопичення состава виконується на одній колії ці вагони направляються на відсівні колії і підлягають повторному сортуванню.