

УДК 656.212.5:681.3

І. Я. СКОВРОН<sup>1\*</sup>, І. В. РАДЖАПОВА<sup>2\*</sup>, А. Р. МОСКВІТИНА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 230 50 34, ел. пошта: i.y.skovron@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-0697-2698

<sup>2\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 335 13 65, ел. пошта: i.v.radzharova@ust.edu.ua, ORCID 0009-0006-7085-9939

<sup>3\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 425 08 41, ел. пошта: moskvitinaanna5@gmail.com, ORCID 0009-0007-2458-9111

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ БАГАТОГРУПНИХ СОСТАВІВ НА РІЗНИХ СОРТУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

**Мета.** Метою роботи є порівняльний аналіз технології формування багатогрупних составів на різних сортувальних пристроях з метою вибору кращої із них в залежності від вихідних умов (сполучення параметрів составів та технічних засобів формування) з використанням як односторонніх так і двосторонніх методів формування таких составів. **Методика.** З метою виконання порівняльного аналізу методів формування багатогрупних составів були використані методи комбінаторики, математичної статистики та імітаційного моделювання. Формалізація як класичних односторонніх так і адаптованих двосторонніх методів формування була взята із опублікованих наукових публікацій. **Результати.** Ілюстрація використання односторонніх та двосторонніх методів формування для реальних составів дозволяє краще розуміти причину переваги одних методів над іншими для тих чи інших вихідних умов. В кінцевому підсумку за допомогою імітаційної моделі були отримані часові показники формуванні багатогрупних составів для різних вихідних умов, порівняння яких дозволяє встановити кращий варіант реалізації технології формування багатогрупних составів. **Практична значимість.** Виконаний аналіз дозволяє в кожному конкретному варіанті вихідних умов вибрати такий метод, що дозволить прискорити процес формування та зменшити тривалість знаходження місцевих вагонів на станціях. З цією метою доцільно включити вказаний алгоритм у вигляді елемента системи підтримки прийняття рішень диспетчерським персоналом станції, який, використовуючи дані про вагони реального багатогрупного составу та задану інформацію про сортувальні колії, які використовуються для формування таких составів, дозволить отримати часові параметри даного процесу різними способами та вибрати кращий із них (наприклад – з мінімальною тривалістю формування даного составу), для якого запропонує план виконання маневрової роботи.

*Ключові слова:* багатогрупний состав, односторонні методи формування багатогрупних составів, двосторонні методи формування багатогрупних составів, односторонній сортувальний пристрій, двосторонній сортувальний пристрій, імітаційне моделювання.

### Вступ

В умовах стрімкого розвитку ринку логістичних послуг для залізничного транспорту важливо зберігати конкурентні позиції щодо інших видів транспорту, а, особливо, – по відношенню до автомобільного транспорту.

Відомо, що залізничний транспорт займає значну частку перевезень масових вантажів, особливо на великі відстані, а ряд перевезень промислових підприємств здійснюються виключно залізницею. В той же час, є багато інших перевезень, де залізничному транспорту необхідно конкурувати з автомобільним транспортом, і саме в таких випадках потрібно мати можливість оперативного вирішення транспортних комбінаторних задач різного роду, до яких, зокрема, відноситься і питання формування багатогрупних составів.

Автоматизація найбільш затратних технологічних процесів та використання інформаційних технологій – це ключові фактори підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту. Крім того, необхідно постійно тримати станційну інфраструктуру в актуальному стані та забезпечувати високий рівень сервісу обслуговування клієнтів, що дозволить задовольняти вимоги сучасного ринку та забезпечить високі конкурентні позиції залізничного транспорту.

### Аналіз літературних джерел та постановка задачі дослідження

В більшості опублікованих наукових робіт, які присвячені вирішенню проблеми формування составів, і, зокрема, – багатогрупних, як правило, запропоновано відносно незначні корективи даного процесу [1–4].

В той же час природньо, що для отримання значного ефекту слід впроваджувати комплексні рішення описаної проблеми, які передбачають поєднання оптимізації сортувальних пристроїв з використанням адаптованої ефективної технології формування багатогрупних составів.

В якості критерію ефективності того чи іншого способу виконання формування багатогрупних составів у ряді робіт пропонується вибрати тривалість даного процесу, числову оцінку якої можна знайти за допомогою наступного виразу

$$T_{\phi} = f(G | \theta, m, n, \text{СП}, \text{МФ}, [\dots]) \quad (1)$$

де  $G | \theta$  – кількість призначень ( $G$ ) або логічних груп ( $\theta$ ) у составі;

$m$  – кількість колій, що використовуються для формування;

$n$  – кількість вагонів у багатогрупному составі;

СП – тип сортувального пристрою, за допомогою якого виконується формування;

МФ – метод формування багатогрупного составу;

[...] – інші фактори, серед яких: тягові характеристики маневрового локомотива, навик машиніста, тип та вагові характеристики вагонів, стан та ухил колії, особливості пересування вагонів, вплив навколишнього середовища і т. д.

Існує велика кількість наукових робіт, в яких були запропоновані та детально описані сортувальні пристрої різної конструкції, які дозволяють виконувати процес розформування-формування составів, в тому числі і багатогрупних.

Так, в [2, 5, 6] описано звичайний односторонній сортувальний пристрій (рис. 1), який дає можливість значно швидше ніж на витяжних коліях виконувати розформування-формування багатогрупних составів на спеціалізованих для цього коліях сортувального парку:

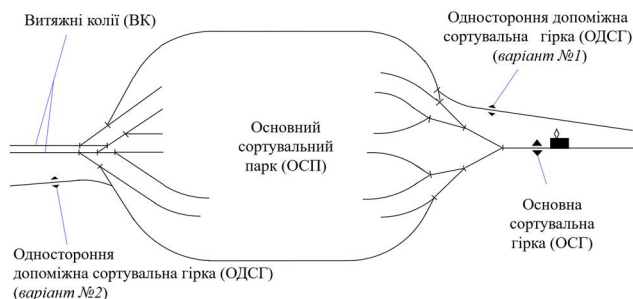


Рис. 1. Схема спеціалізованого одностороннього допоміжного сортувального пристрою (ОДСП) в контексті основного сортувального парку (ОСП)

Формування багатогрупного составу з використанням зображеного на рис. 1 спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою передбачає накопичення

місцевих вагонів на виділених для цього коліях основного сортувального парку, з подальшим витягуванням на витяжну колію односторонньої допоміжної сортувальної гірки, насумом на неї та сортуванням вагонів (за визначеним алгоритмом вибраного методу формування) на певні колії цього парку; вказана операція повторюється декілька разів (етапів) до отримання на одній колії сортувального парку повністю підібраного за зростанням (чи спаданням) номерів призначень або логічних груп вагонів даного багатогрупного составу.

В [7–10] наведено спеціалізований двосторонній допоміжний сортувальний пристрій (рис. 2) з описом технології його роботи.

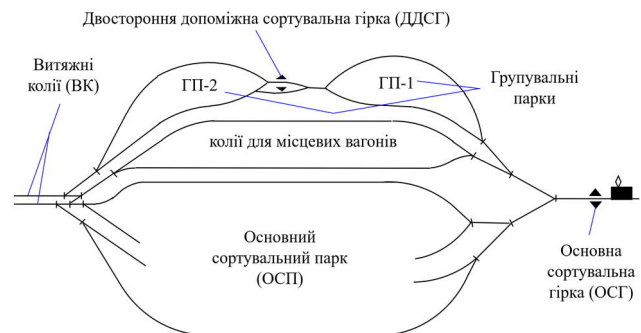


Рис. 2. Схема спеціалізованого двостороннього допоміжного сортувального пристрою (ДДСП) в контексті основного сортувального парку (ОСП)

Як вказано в [7, 9, 10], виконання формування багатогрупного составу за допомогою зображеного на рис. 2 спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою, як і для одностороннього, починається з накопичення достатньої кількості місцевих вагонів на виділених для цього коліях основного сортувального парку. Далі ці вагони витягуються на основну сортувальну гірку з наступним сортуванням за певним алгоритмом вибраного методу на колії першого групувального парку (ГП-1), звідки виконується насум вагонів (лише з однієї конкретної колії чи з кожної колії даного парку) на допоміжну двосторонню сортувальну гірку для їх розформування на колії другого групувального парку (ГП-2). При потребі, слід виконати насум вагонів з колій парку ГП-2 на допоміжну двосторонню сортувальну гірку у зворотному напрямку з розформуванням на колії парку ГП-1. Вказані дії слід повторювати до отримання сформованого багатогрупного составу.

Варто відмітити, що для одних методів формування багатогрупних составів може виникнути потреба у попередньому кодуванні номерів призначень чи логічних груп вагонів та/або номерів колій, тоді, коли для інших методів це робити непотрібно.

Проілюструємо процес формування багатогрупних составів різними методами на односторонньому (ОДСП) і двосторонньому (ДДСП) сортувальних пристроях, а також сформулюємо ряд висновків та деякі рекомендації щодо випадків ефективного використання кожного із цих пристроїв.

### Методика рішення

Відомо, що як універсальні (наприклад, ОСГ або ОДСГ) так і спеціалізовані (наприклад, ДДСГ) сортувальні пристрої не забезпечують високу ефективність процесу формування багатогрупних составів без добре продуманої технології. І якщо стосовно одностороннього сортувального пристрою є досить багато публікацій, наприклад [2, 5, 11, 12], де пропонуються ті чи інші способи прискорення формування багатогрупних составів, то для випадку використання спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою таких публікацій мало.

Так, в [7, 9, 10] наведена характеристика, а також детально формалізовані основні характерні залежності адаптованих для двостороннього формування найбільш відомих та ефективних методів формування багатогрупних составів, серед яких варто відзначити комбінаторний метод (КМ), розподільчий метод (РМ), метод рівномірного наростання (МРН), а також основний (ОСМ) та подвійний (ПСМ) ступеневі методи.

Далі розглянемо приклади формування багатогрупного составу як на односторонній так і на двосторонній гірці усіма перерахованими вище методами та виконаємо їх порівняльний аналіз.

### Комбінаторний метод

В основі комбінаторного методу формування багатогрупних составів лежить система числення Фібоначчі.

При використанні даного методу номери колій замінюють на спеціальні логічні номери колій (ЛНК)  $\mu$  (наприклад, 0, 01, 011, 0111 ...), які циклічно змінюються на кожному етапі (для одностороннього КМ) або на кожному непарному етапі (для двостороннього КМ). Номери призначень або логічні номери груп вагонів кодуються в системі Фібоначчі з основою  $m$  (де  $m$  – кількість колій формування). Сортування вагонів виконується на усі виділені для формування колії парку, а витягування відбувається лише з однієї колії з логічним номером колії рівним 0.

Для наочності на рис. 3 наведені приклади формування наступного багатогрупного составу

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
---	---	----	----	---	---	----	---	----	---	---	----	---	----	---	---

Формування виконаємо комбінаторним методом за допомогою спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою (рис. 3, а) та адаптованим комбінаторним методом з використанням спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою (рис. 3, б).

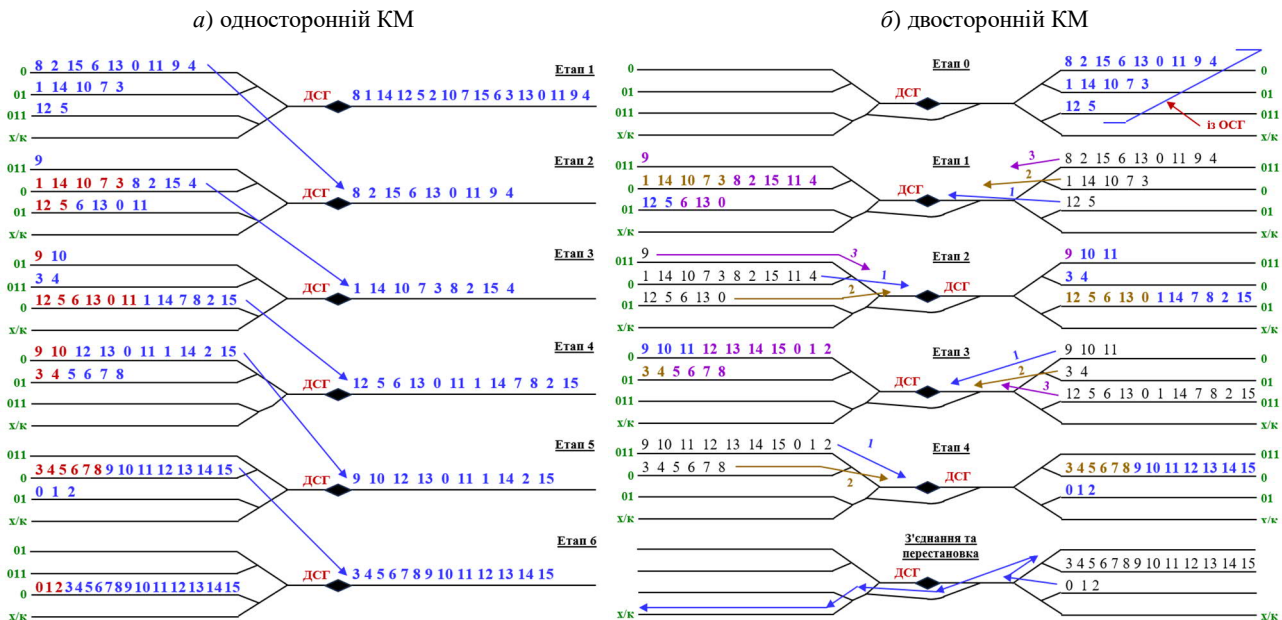


Рис. 3. Ілюстрація формування багатогрупного составу комбінаторним методом: а) на ОДСП; б) на ДДСП

Згідно рис. 3, а для одностороннього КМ на ОДСГ характерне витягування та розформування 69 вагонів (для составу із 16 вагонів коефіцієнт

переробки складає 4,31), в той час як згідно рис. 3, б для двостороннього КМ на ДДСГ насувається й розформується 80 вагонів (16 з

них – через ОСГ) (для складу із 16 вагонів коефіцієнт переробки складає 5,00), при цьому витягування вагонів при формуванні на даному пристрої не відбувається, однак збільшується пробіг гіркового локомотива резервом.

### Розподільчий метод

Розподільчий метод формування базується на позиційній системі числення.

При використанні даного методу номери колій замінюють на постійні спеціальні логічні номери колій (ЛНК)  $\mu$  (наприклад, 0, 1, 2, 3 ...). Номери призначень або логічні номери груп вагонів кодуються в позиційній системі з основою  $m$  (де  $m$  – кількість колій формування). Сортування

вагонів виконується на усі виділені для формування колії парку, витягування відбувається зі всіх колій починаючи з колії зі старшим ЛНК і закінчуючи колією з молодшим ЛНК.

Для наочності на рис. 4 наведені приклади формування наступного багатогрупного складу

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
---	---	----	----	---	---	----	---	----	---	---	----	---	----	---	---

Формування виконаємо розподільчим методом за допомогою спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою (рис. 4, а), а також адаптованим розподільчим методом з використанням спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою (рис. 4, б).

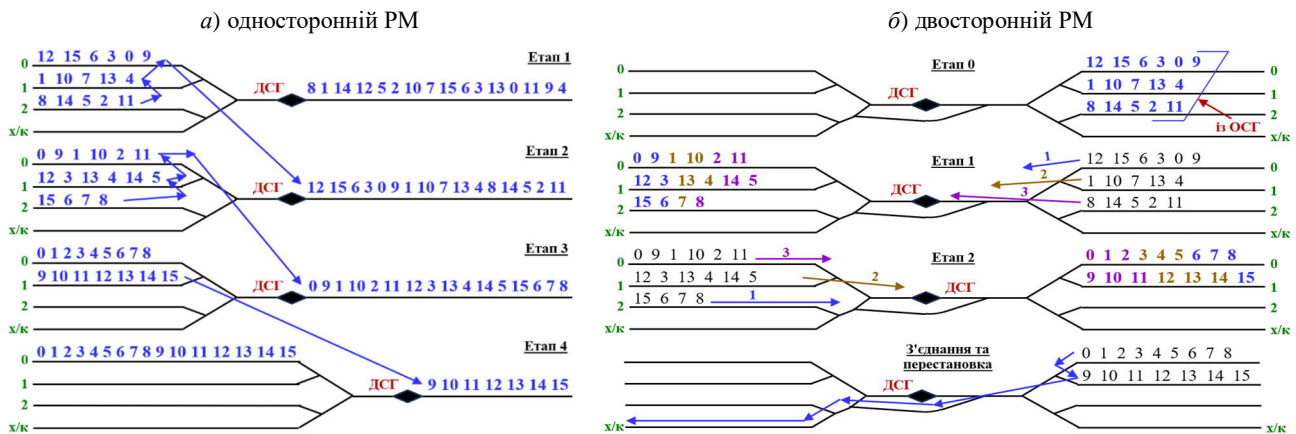


Рис. 4. Ілюстрація формування багатогрупного складу розподільчим методом: а) на ОДСП; б) на ДДСП

Згідно рис. 4, а для одностороннього РМ на ОДСГ характерне витягування та розформування 55 вагонів (для складу із 16 вагонів коефіцієнт переробки складає 3,44), в той час як згідно рис. 4, б для двостороннього РМ на ДДСГ насувається й розформується 48 вагонів (16 з них – через ОСГ) (для складу із 16 вагонів коефіцієнт переробки складає 3,00), при цьому витягування вагонів при формуванні на ДДСГ не відбувається, однак дещо збільшується пробіг гіркового локомотива резервом.

### Метод рівномірного наростання

В основі методу рівномірного наростання лежить десяткова система числення.

При використанні даного методу номери колій не потрібно замінювати на спеціальні логічні номери колій (ЛНК) і залишаються звичайними (наприклад, 1, 2, 3, 4 ...). Номери призначень або логічні номери груп вагонів теж не кодуються. Сортування вагонів виконується за певним алгоритмом на  $m-1$  колію із виділених для формування колій парку, а на останню (відсічну) колію направляються вагони, які на даному етапі не потрібно направляти на жодну з інших колій. Витягування вагонів відбувається лише з

відсівної колії. Операція повторюється до тих пір, поки на відсівній колії не залишиться жодного вагона, після чого всі вагони з інших колій з'єднуються на одній колії у коректному порядку.

Для наочності на рис. 5 наведені приклади формування наступного багатогрупного складу

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
---	---	----	----	---	---	----	---	----	---	---	----	---	----	---	---

Формування даного складу виконаємо методом рівномірного наростання за допомогою спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою (рис. 5, а), а також адаптованим методом рівномірного наростання з використанням спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою (рис. 5, б).

Згідно рис. 5, а для одностороннього МРН на ОДСГ характерне витягування та розформування 72 вагонів (для складу із 16 вагонів коефіцієнт переробки складає 4,50), в той час як згідно рис. 5, б для двостороннього МРН на ДДСГ насувається й розформується 80 вагонів (16 з них – через ОСГ) (для складу із 16 вагонів коефіцієнт переробки складає 5,00), при цьому витягування вагонів при формуванні на даному пристрої не відбувається, однак збільшується пробіг гіркового локомотива резервом.

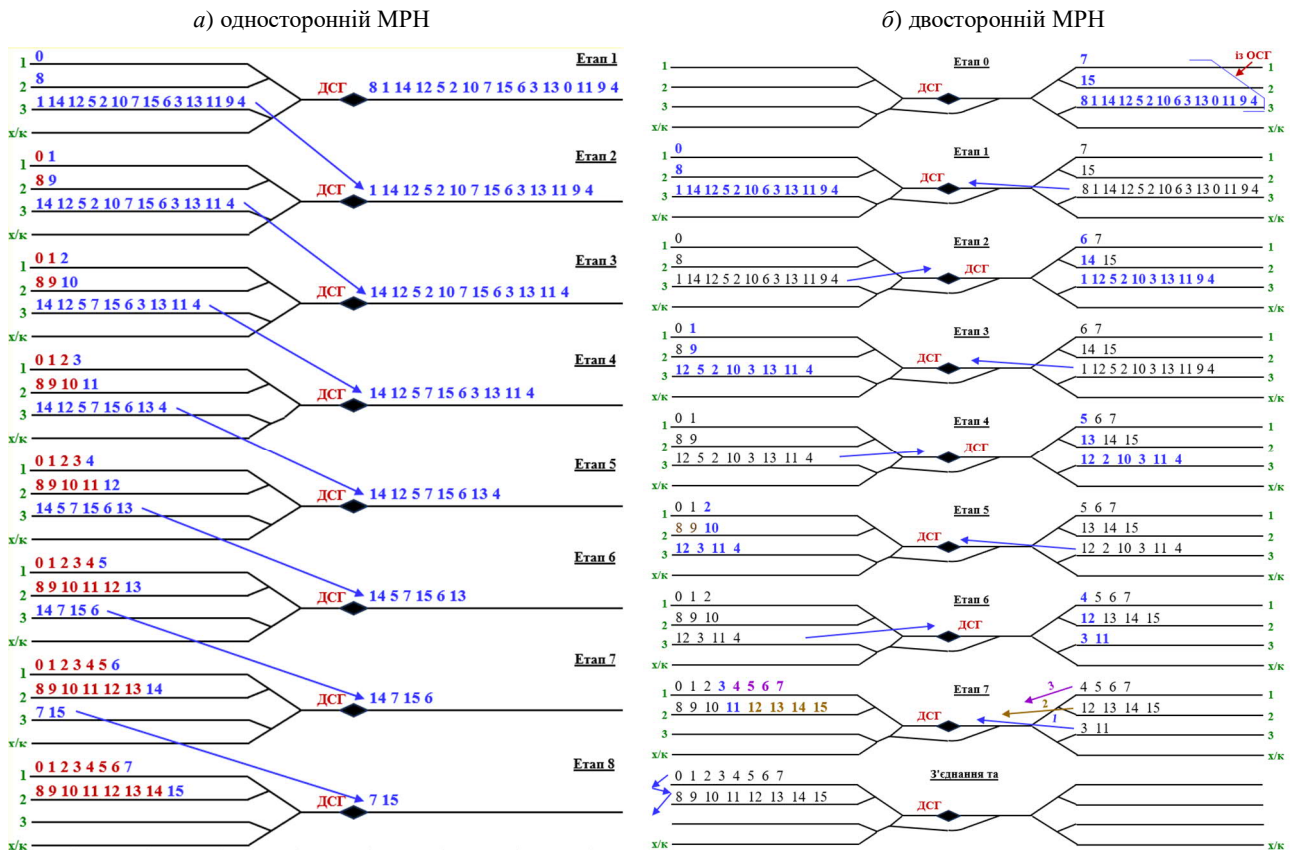


Рис. 5. Ілюстрація формування багатогрупного складу методом рівномірного наростання: а) на ОДСП; б) на ДДСП

### Основний ступеневий метод

Основний ступеневий метод, як і попередній, базується на десятковій системі числення.

При використанні даного методу номери колій не потрібно замінювати на спеціальні логічні номери колій (ЛНК) і залишаються звичайними (наприклад, 1, 2, 3, 4 ...). Номери призначень або логічні номери груп вагонів теж не кодується. Сортування вагонів виконується на всі колії із виділених для формування колій парку, а витягування вагонів відбувається зі всіх колій, крім першої.

Позитивною стороною даного методу є можливість формування багатогрупного складу не більше ніж за 3 етапи, а негативною особливістю є взаємозв'язок між кількістю колій  $m$  та максимальною кількістю  $G_m$  груп вагонів, які можна сформувати на них даним методом; максимальну кількість  $G_m$  для ОСМ можна визначити наступним чином

$$G_m = 0,5m(m+1) \quad (2)$$

Для наочності на рис. 6 наведені приклади формування наступного багатогрупного складу

3	0	1	5	4	2
---	---	---	---	---	---

Формування даного складу виконаємо основним ступеневим методом за допомогою спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою (рис. 6, а), а також адаптованим основним ступеневим методом з використанням спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою (рис. 6, б).

Згідно рис. 6, а для одностороннього ОСМ на ОДСГ характерне витягування та розформування 14 вагонів (для складу із 6 вагонів коефіцієнт переробки складає 2,33), в той час як згідно рис. 6, б для двостороннього ОСМ на ДДСГ насувається й розформується 12 вагонів (6 з них – через ОСГ) (для складу із 6 вагонів коефіцієнт переробки складає 2,00), при цьому витягування вагонів при формуванні на даному пристрої не відбувається, проте певним чином збільшується пробіг гіркового локомотива резервом.

### Подвійний ступеневий метод

Подвійний ступеневий метод також містить в своїй основі десяткову систему числення.

При використанні даного методу номери колій не потрібно замінювати на спеціальні логічні номери колій і вони залишаються звичайними (наприклад, 1, 2, 3, 4 ...). Номери призначень або логічні номери груп вагонів теж не кодується.

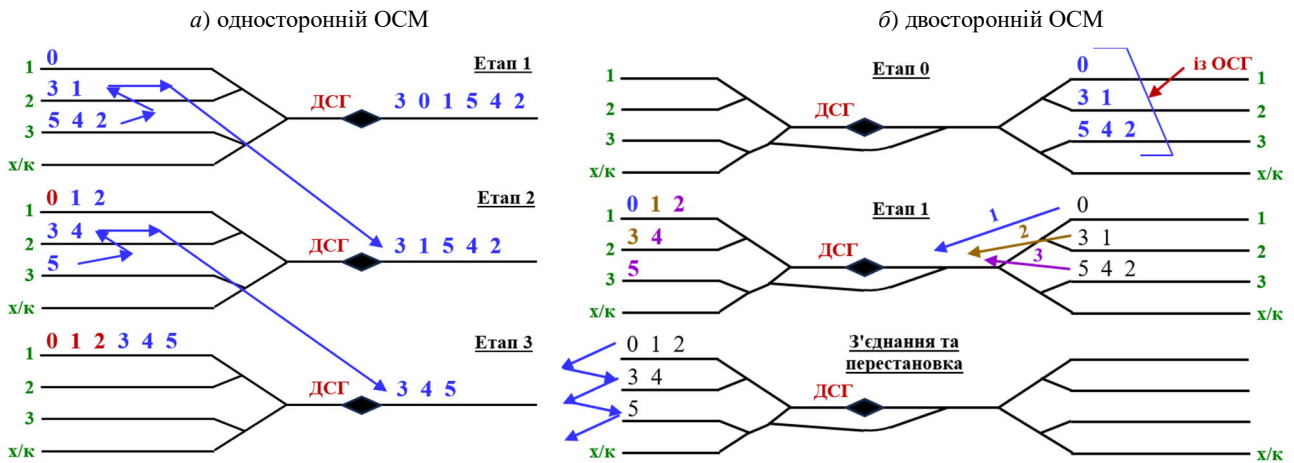


Рис. 6. Ілюстрація формування багатогрупного складу основним ступеневим методом: а) на ОДСП; б) на ДДСП

Сортування вагонів виконується на всі колії із виділених для формування колій парку, а витягування вагонів відбувається лише з першої колії на (другому етапі) або зі всіх колій, крім першої (на третьому та четвертому етапах).

Позитивною стороною даного методу є можливість формування багатогрупного складу не більше ніж за 4 етапи, а також майже вдвічі більша кількість груп, які можна сформувати на певній кількості колій  $m$  у порівнянні з ОСМ. Негативною особливістю є взагалі наявність взаємозв'язку між кількістю колій  $m$  та максимальною кількістю  $G_m$  груп вагонів, які можна сформувати на них даним методом;

максимальну кількість  $G_m$  для ПСМ можна визначити наступним чином

$$G_m = m(m + 1) \quad (3)$$

Для наочності на рис. 7 наведені приклади формування наступного багатогрупного складу

3	7	10	0	1	9	6	5	8	4	2
---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

Формування даного складу виконаємо подвійним ступеневим методом за допомогою спеціалізованого одностороннього сортувального пристрою (рис. 7, а), а також адаптованим ПСМ з використанням спеціалізованого двостороннього сортувального пристрою (рис. 7, б).

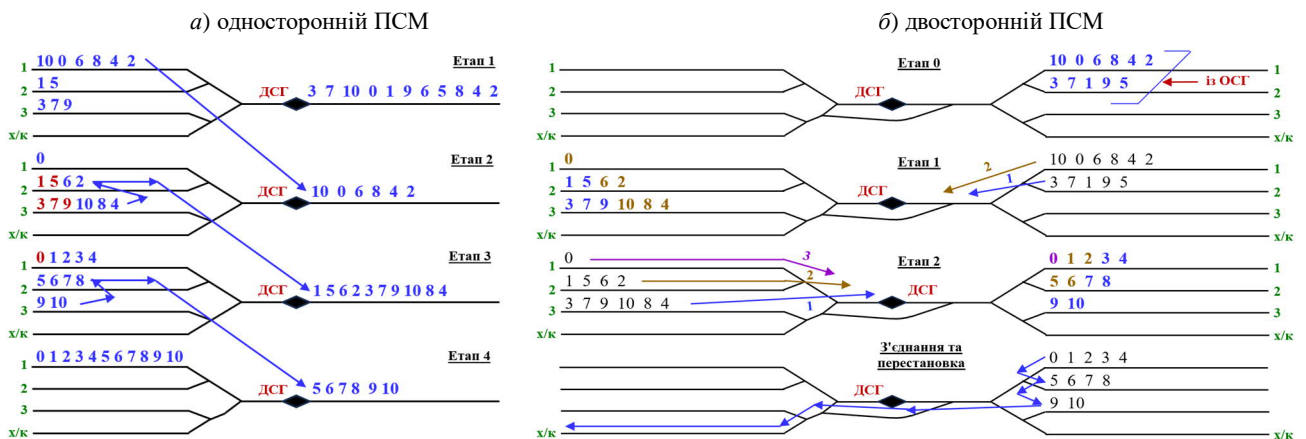


Рис. 7. Ілюстрація формування багатогрупного складу подвійним ступеневим методом: а) на ОДСП; б) на ДДСП

Згідно рис. 7, а для одностороннього ПСМ на ОДСГ характерне витягування та розформування 33 вагонів (для складу із 11 вагонів коефіцієнт переробки складає 3,00), в той час як згідно рис. 7, б для двостороннього ПСМ на ДДСГ насувається й розформується 33 вагонів (6 з них – через ОСГ) (для складу із 11 вагонів коефіцієнт переробки складає 3,00), при цьому витягування вагонів при формуванні на даному

пристрої не відбувається, проте певним чином збільшується пробіг гіркового локомотива резервом.

Для наочності та зручності аналізу зведемо всі відомі та визначені раніше параметри розглянутих способів формування багатогрупних складів як на односторонньому, так і на двосторонньому сортувальних пристроях у таблицю 1.

Таблиця 1

## Зведені параметри формування

МФ	Універсальний метод	К-ть етапів	n, ваг	$\Sigma l_{рук.}$ , ваг	$K_{пер}$
Односторонній допоміжний сортувальний пристрій					
КМ	так	6	16	69	4,31
РМ	так	4	16	55	3,44
МРН	так	8	16	72	4,50
ОСМ	ні	3	6	14	2,33
ПСМ	ні	4	11	33	3,00
Двосторонній допоміжний сортувальний пристрій					
КМ	так	6	16	80	5,00
РМ	так	7	16	48	3,00
МРН	так	9	16	80	5,00
ОСМ	ні	3	6	12	2,00
ПСМ	ні	4	11	33	3,00

Наведені приклади формування багатогрупних составів різними методами на різних сортувальних пристроях дозволяють зробити висновок, що даний процес є дуже чутливим до багатьох факторів, що можуть здійснювати суттєвий вплив на його тривалість. В той же час, варто зазначити, що простий аналіз кількісних показників процесу формування (див. табл. 1) не дозволяє зробити однозначний висновок про те, який метод формування буде раціональним для кожного сортувального пристрою із розглянутих вище (ОДСП, ДДСП), оскільки він не враховує пробіжні показники вагонів і локомотиву, а також ряд інших показників.

Перш за все важливо зазначити, що ступеневі методи (ОСМ, ПСМ) не є універсальними, оскільки для них характерна залежність між кількістю доступних для формування колій та максимальною кількістю груп вагонів, які можна сформувати з їх допомогою. Таким чином, вважаючи, що на реальній станції виникатиме необхідність формування багатогрупних составів зі значною кількістю груп, далі розглядатимемо лише універсальні методи формування багатогрупних составів (КМ, РМ та МРН).

З метою отримання об'єктивних результатів порівняльного аналізу способів формування багатогрупних составів були виконані відповідні експерименти з імітаційною моделлю їх процесу формування (яка дозволяє враховувати параметри сортувальних пристроїв, багатогрупних составів та нюанси технології формування вибраними методами).

Для виконання перевірки ефективності розглянутих сортувальних пристроїв та методів формування за допомогою імітаційної моделі

перш за все змодельюємо потік із 1000 составів з кількістю призначень (груп) від 10 до 35. Далі виконаємо експерименти безпосередньо з імітаційною моделлю, результати яких наведемо у таблиці 2. В якості результатів були отримані усереднені для потоку составів мінімальні значення тривалості формування ( $T_{\phi}$ ) та раціональний (кращий для більшості составів потоку) метод формування, який забезпечував мінімальний час формування составів (МФ\*).

Для порівняння сортувальних пристроїв також визначимо абсолютний та відносний ефект від використання ДДСП за формулами

$$\Delta T_{\phi} = T_{\phi}^{ОДСП} - T_{\phi}^{ДДСП} \quad (4)$$

$$\delta T_{\phi} = \frac{\Delta T_{\phi}}{\max\{T_{\phi}^{ОДСП}; T_{\phi}^{ДДСП}\}} \quad (5)$$

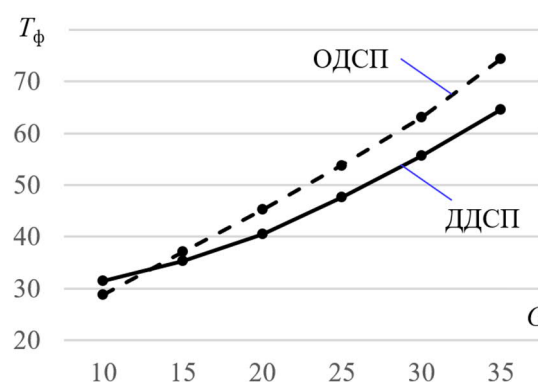
де  $T_{\phi}^{ОДСП}; T_{\phi}^{ДДСП}$  – відповідно, тривалість формування багатогрупного составу на ОДСП та ДДСП.

Таблиця 2

## Результати моделювання

Сорт. пристрій	Показн.	Кількість призначень (груп)					
		10	15	20	25	30	35
ОДСП	$T_{\phi}$ , хв	<b>28,8</b>	37,1	45,2	53,8	63,1	74,4
	МФ*	КМ	КМ	КМ	КМ	КМ	КМ
ДДСП	$T_{\phi}$ , хв	31,4	<b>35,3</b>	<b>40,5</b>	<b>47,7</b>	<b>55,4</b>	<b>64,5</b>
	МФ*	РМ	РМ	РМ	РМ	РМ	РМ
Ефект від ДДСП	$\Delta T_{\phi}$ , хв	-2,6	1,8	4,7	6,1	7,7	9,9
	$\delta T_{\phi}$ , %	-8,3	4,9	10,4	11,3	12,2	13,3

Для наочності на рис. 8 наведемо залежності тривалості формування  $T_{\phi}$  від кількості призначень (груп)  $G$  для кожного сортувального пристрою із розглянутих вище (ОДСП, ДДСП)

Рис. 8. Графіки залежностей  $T_{\phi} = f(G)$  для всіх розглянутих сортувальних пристроїв

На рис. 9 наведемо залежність відносного ефекту  $\delta T_{\phi}$  від використання ДДСП для

формування (по відношенню до використання ОДСП) від кількості призначень (груп)  $G$

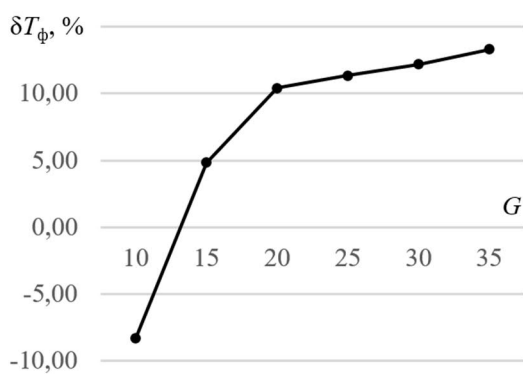


Рис. 9. Графік залежності  $\delta T_{\phi} = f(G)$

Виконані розрахунки показали, що для составів з кількістю груп менше 14 доцільно використовувати односторонній допоміжний сортувальний пристрій, в той час коли для составів з кількістю груп, що дорівнює 14 або більше формувати багатогрупний состав доцільніше на двосторонньому допоміжному сортувальному пристрої (відносний ефект при цьому може сягати 13,3 %).

Звісно, для економічного обґрунтування доцільності спорудження двостороннього допоміжного сортувального пристрою в кожному конкретному випадку необхідно виконати більш детальні економічні розрахунки, які б враховували тривалість формування составу за допомогою цього пристрою, середньодобову кількість составів, які потрібно формувати, а також вартість спорудження двостороннього сортувального пристрою і, особливо, двосторонньої гірки малої потужності, однак вказані розрахунки виходять за межі даної статті.

Таким чином, враховуючи дані таблиці 2, в результаті виконаних експериментів було визначено, що найбільш ефективним методом формування багатогрупних составів на односторонньому допоміжному гірковому сортувальному пристрої є односторонній комбінаторний метод, а на двосторонньому допоміжному гірковому сортувальному пристрої є двосторонній розподільчий метод.

### Наукова новизна та практична значимість

Враховуючи, що в даній статті отримало подальший розвиток дослідження та адаптація використання класичних односторонніх методів формування багатогрупних составів на допоміжному двосторонньому сортувальному пристрої, а також було сформульовано рекомендацію щодо вибору раціонального варіанту для різних вихідних умов, то можна

стверджувати, що дана стаття містить ознаки наукової новизни.

Практична значимість проведеного порівняльного аналізу методів формування багатогрупних составів є досить високою, оскільки дозволяє встановити раціональний спосіб формування таких составів для різних вихідних умов конкретних станцій.

Отже, в результаті проведення порівняльного аналізу методів формування багатогрупних составів на різних допоміжних сортувальних пристроях було визначено кращі методи формування для різних составів та сортувальних пристроїв (і сформульовані рекомендації щодо вибору раціонального сортувально пристрою), що дозволить зменшити як обсяг, так і тривалість виконання роботи з формування составу, що, в свою чергу, сприятиме зменшенню витрат станції на виконання роботи такого типу.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. E. Dahlhaus, F. Manne, M. Miller, and J. Ryan, —Algorithms for combinatorial problems related to train marshalling, in Proceedings of the 11th Australasian Workshop on Combinatorial algorithms. 2000. – P. 7-16.
2. Гренкевич О. О. Порівняльна ефективність способів формування багатогрупних составів за критерієм експлуатаційних витрат на маневрову роботу. Вид-во СДУШС. 2002. – с. 179-184.
3. Яновський, П. О. Прискорення переробки місцевих вагонів в залізничних вузлах [Текст] : Перспективні системи управління на залізничному транспорті: Тези 16-тої міжнародної конференції / П. О. Яновський, В. І. Мацюк // Алушта, УкрДАЗТ. 2003. – С. 75-76.
4. Jacob, R. Multistage methods for freight train / Rico Jacob, Peter Martoon, Jens Maue, Marc Nunkesser // 7th Workshop on algorithmic approaches for transportation modeling, optimization and systems. 2007. – P. 158-174.
5. Григор'єв В. В. Інтенсифікація сортувальної роботи з місцевими вагонопотоками при використанні допоміжних сортувальних пристроїв: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1987. 24 с.
6. Бакумов Е. В. Проектування допоміжних сортувальних пристроїв // Методичні вказівки з проектування залізничних вузлів та станцій. К, 1988. № 113. – с. 4-13.
7. Патент України на корисну модель № 55826. Спосіб формування багатогрупних составів на основному та допоміжному сортувальних пристроях / Бобровський В. І., Сковрон І. Я. – Опубл. 27.12.2010, бюл. № 24/2010.
8. Патент України на корисну модель № 56315 Пристрій для формування багатогрупних составів / Бобровський В. І., Сковрон І. Я., Дорош А. С. – Опубл. 10.01.2011, бюл. № 1/2011.
9. Бобровський В. І. Двосторонній сортувальний пристрій для інтенсифікації процесу формування багатогрупних составів / В. І. Бобровський, І. Я. Сковрон // Вид-во РДУШС, 2013. – Вип. 2. – С. 7-12.
10. Сковрон І. Я. Методи двостороннього формування багатогрупних составів / І. Я. Сковрон, Є. Б. Демченко, А. С. Дорош, В. В. Малашкін // Транспортні системи і



технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2019. – Вип. 18. – С. 103–109. – DOI: 10.15802/tstt2019/182615.

11. Флодр Ф. Технологія роботи станцій формування поїздів / Ф. Флодр, В. Майжиш, К. Волескі. - М.: Транспорт. 1989. – 134 с.

12. Kozachenko D., Bobrovskiy V., Gera B., Skovron I., Gorbova A. An Optimization Method of the Multi-Group

Train Formation at Flat Yards. International Journal of Rail Transportation. 2021. Vol. 9. Iss. 1. P. 61–78. – DOI: 10.1080/23248378.2020.1732235.

Надійшла до редколегії 05.07.2024.

Прийнята до друку 20.08.2024.

I. SKOVRON, I. RADZHAPOVA, A. MOSKVITINA

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FORMING TECHNOLOGY MULTI-GROUP TRAINS ON DIFFERENT SORTING DEVICES

**Purpose.** The purpose of the work is a comparative analysis of the multi-group trains forming technology on various sorting devices for solve the task of choosing the best sorting device depending on the initial conditions (combination of train and sorting devices parameters) using both one-sided and two-sided methods of forming such trains. **Method.** The methods of combinatorics, mathematical statistics and simulation modeling were used for comparative analysis of the of forming multigroup trains methods. The formalization of both classical one-sided and adapted two-sided formation methods was taken from published scientific publications. **Results.** An illustration of the use of one-sided and two-sided forming methods for real trains allows a better understanding of the reason for the superiority of some methods over others for certain initial conditions. As a result, with the help of a simulation model, the time indicators of the formation of multi-group trains were obtained for various initial conditions, the comparison of which allows to establish the best option for the implementation of the technology of the formation of multi-group trains. **Practical importance.** The performed analysis allows to choose the best method for each specific case of the initial conditions which will speed up the formation process and reduce the idling time of local cars at the stations. For this purpose, it is advisable to include the specified forming algorithm in the station dispatching staff decision-making support system, which based on the data about the cars parameters and given classification tracks specialization that used to form such trains, will allow to obtain the time parameters of train forming in different ways and choose the best of them (for example, with the minimum duration of the train formation), for which a shunting work plan will be offered.

**Keywords:** multi-group train, one-sided methods of forming multi-group trains, two-sided methods of forming multi-group trains, one-sided sorting device, two-sided sorting device, simulation modeling.