

Так як кількісно-якісні характеристики програмного забезпечення, застосованого в різних інформаційних системах, суттєво залежать від якісних характеристик апаратних засобів, то, на думку авторів, необхідно розглядати питання визначення якісних характеристик комплексно, тобто одночасно враховувати якісні характеристики архітектури системи та програмного забезпечення, виконуючі набір визначених операцій в інформаційних системах.

**Список використаних джерел:**

1. Липаев В. В. Программная инженерия сложных заказных программных продуктов : учебное пособие / В. В. Липаев. – М. : МАКС Пресс, 2014. – 312 с.
2. Оценка качества программных средств [Электронный ресурс] : ГОСТ 28195-89. – 2000. – Режим доступа : <http://www.vsegest.com/Catalog/11/11212.shtml>
3. Громов Ю. Ю. Надёжность информационных систем : учебное пособие / Ю. Ю. Громов, О. Г. Иванова, Н. Г. Мосягина, К. А. Набатов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 160 с.
4. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models [Электронный ресурс] : ISO 25010-2011. – 2011. – Режим доступа : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en>
5. McCall J. Factors in Software Quality / McCall J., Richards P., Walters G. – Springfield, 1977.
6. Characteristics of Software Quality / Brown J. R., Kaspar H., Lipow M. and oth. – 1978. – 524 p.
7. Dromey G. R. A model for software product quality / G. R. Dromey // Transactions of Software Engineering. – 1995. – Vol. 21. – № 2. – P. 146–162.



УДК 656.213.073.23

**А. І. Кузьменко**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспортних систем та технологій  
Університету митної справи та фінансів

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІНИ ВІЗКІВ  
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА СТАНЦІЯХ СТИКУВАННЯ КОЛІЙ РІЗНОЇ ШИРИНИ**

*Досліджено технології зміни візків вантажних вагонів на станціях стикування колій різної ширини для вибору раціональних вартісних та часових параметрів. Об'єктом дослідження виступають пункти перестановки візків залізничних вагонів на прикордонних станціях; предмет дослідження – технологічний процес зміни візків вантажних вагонів на станціях стикування колій різної ширини. За методи дослідження взято методи фаз і векторної оптимізації. У результаті виконаної роботи розроблено математичну модель для дослідження її удосконалення процесів зміни візків вантажних вагонів на станціях стикування колій різної ширини, що дозволяє раціонально використовувати фінансові ресурси та завантажувати технічні засоби.*

*Ключові слова: прикордонні станції; метод фаз; векторна оптимізація.*

© А. І. Кузьменко, 2015

---

*The article investigates the technology changes bogies of freight cars at the stations docking lines of different widths to select rational cost and time parameters. The object of the study are items reshuffle trucks railcars at border stations; subject of investigation – the technological process of changing bogies of freight cars at the stations docking lines of different widths. Research methods accepted methods phases and vector optimization. As a result of work performed mathematical model to study the processes of change and improvement bogies of freight cars at the stations docking lines of different widths, which can solve the problem of rational use of financial resources and technical means downloading.*

*Key words: border station; the method of phase; vector optimization.*

**Постановка проблеми.** Високі темпи зростання міжнародної торгівлі та характер виробничих зв'язків між країнами потребують поліпшення технічного рівня, масштабів та якості транспортного обслуговування міжнародних вагонопотоків. Незважаючи на те, що останнім часом відбулося зміцнення бази технічних засобів, залізничні прикордонні переходи залишаються традиційно “слабким” місцем. Нині немає парку вантажних вагонів, здатних вільно пересуватись як в Україні та країнах СНД, так і в Західній Європі.

Скорочення тривалості затримок поїздів на кордоні має велике значення для укріплення позицій залізничного транспорту на ринку перевезень у міжнародному сполученні [1]. У зв'язку з цим виникає питання вдосконалення технології роботи прикордонних залізничних станцій, що обслуговують вагонопотоки міжнародного сполучення, які передаються з колії 1435 мм на колію 1520 мм та у зворотному напрямку (далі – станцій стикування колій різної ширини).

Вирішення даного питання дозволить мінімізувати час перебування вагонів на цих станціях і покращити експлуатаційні показники роботи станцій. Головне завдання в цьому плані – розробка таких технологій обслуговування вагонопотоків, щоб можна було скоротити час перебування іноземних вагонів на території України, при цьому витрата грошей на реалізацію таких технологій була б якомога меншою.

Напрямок досліджень відповідає Транспортній стратегії України на період до 2020 р. [2], ураховує досвід іноземних науковців щодо організації міжнародних залізничних перевезень [3], основні положення Угоди про міжнародне залізничне вантажне сполучення [4] і Стратегічних напрямів розвитку транспортної галузі України у післякризовий період [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Над завданням скорочення часу перетину кордонів працювало багато вчених, зокрема такі вітчизняні та іноземні дослідники: А. П. Абрамов, В. М. Беленький, І. В. Белов, А. А. Босов, Т. В. Бутько, Є. А. Ветухов, М. Гайдаров, Ю. В. Дьомін, В. С. Зайчик, Г. М. Кірпа, К. П. Мироненко, Є. В. Нагорний, Г. І. Нечаєв, В. Н. Орлов, В. С. Правдін, Н. Г. Смехова, Р. М. Сувальський, М. Ф. Титов, Л. Н. Феньвеш, А. Н. Фролов, Г. А. Циркунов та ін. Проте питання ресурсозбереження за умов відсутності ринкових відносин не було актуальним. Надамо аналітичну оцінку останніх відомих досліджень і публікацій.

Є. С. Альошинський [6] розробив математичну та імітаційну модель, що враховує вплив сформованої множини факторів затримок з таких причин: додатковий митний огляд; повторне митне оформлення; відсутність електронного повідомлення митниці відправлення; технічна чи комерційна несправність вагона; невідповідність даних у транспортно-технічній накладній та вантажній митній декларації; затримка фітосані-

---

тарною, ветеринарною чи карантинною службами; затримка служб екологічного та радіаційного контролю; неправильне оформлення документів; відсутність або закриття коду експедитора; порушення маршруту прямування; відсутність інформації в центральній базі даних; відсутність рахунка-фактури; тимчасова заборона ввезення-вивезення тощо. Але не враховано варіанти передавання вагонів саме на станціях стикування колій різної ширини.

А. Л. Обухова [7] розв'язала науково-прикладну задачу підвищення ефективності функціонування передавальних станцій під час змішаних та інтермодальних вантажних перевезень в умовах різної ширини колії для прикордонних станцій шляхом удосконалення технології використання технічного оснащення підсистеми обробки вантажних вагонів та раціоналізації підсистеми обробки документів за критерієм скорочення простою вагонів. Але у праці не врахована нерівномірність надходження вантажів (добова, річна), простої через технічні несправності вагонів, а також час на перезміну працівників.

У [8] Ю. В. Кіхтева розробила комплексний підхід до визначення критерію впливу відмов у підсистемі передачі інформації міждержавного вагонопотоку на прикордонних передавальних станціях (ППС), проаналізувала прикордонні передавальні станції, що взаємодіють між собою. Але не розглянула додаткові причини затримок вагонів на станціях, що розташовані на стиках колій різної ширини, та не врахувала вартісну складову частину на ремонт вагону, якщо затримка відбулася з технічних причин (закупівля запчастин, оплата роботи працівників, експлуатація обладнання тощо).

Г. С. Бауліна [9] поглибила дослідження проблеми, що розглядалась у [8], та виконала завдання вдосконалення роботи ППС за рахунок формування автоматизованої інтелектуальної технології управління вагонопотоками. Запропонована у [9] логістична технологія типу "прикордонний сухий порт" в умовах ППС дозволяє забезпечити ефективне використання рухомого складу, зменшити його непродуктивні простої, а також забезпечити подальший прискорений пропуск платформ з великотоннажними контейнерами. Але у праці не враховано розміри можливих фінансових внесків вантажовласників і залежність роботи моделі від способу передавання вантажу.

Таким чином, аналітична оцінка останніх відомих методів та методик оптимізації роботи прикордонних станцій свідчить про відсутність комплексного підходу до вдосконалення технології міжнародних перевезень вантажів з погляду фінансових можливостей вантажовласників.

**Мета статті.** Технологія роботи станцій стикування колій різної ширини має забезпечувати оптимізацію параметрів і витрат на обслуговування вагонопотоків з урахуванням особливостей ринкових відносин. Тому виникає необхідність у проведенні дослідження залежностей витрат часу і коштів під час здійснення процесу зміни візків вантажних вагонів на прикордонних станціях, розташованих у пунктах стику колій 1435 мм та 1520 мм, за окремими елементами (фазами) з метою пошуку раціонального варіанта виконання технологічних операцій.

Вирішення даного питання дозволить мінімізувати час перебування вагонів на цих станціях і покращити експлуатаційні показники їх роботи. З вищезазначеного витікає мета статті, що полягає в удосконаленні технології обслуговування вагонопотоків на прикордонних станціях шляхом вибору раціональних вартісних та часових параметрів. Об'єктом дослідження виступають пункти перестановки візків залізничних вагонів на прикордонних станціях; предмет дослідження – технологічний процес зміни візків вантажних вагонів на станціях стикування колій різної ширини.

---

Для досягнення поставленої мети сформульовано та виконано такі завдання: виокремлено фази технологічного процесу зміни візків вагонів на прикордонних станціях з метою оцінки грошових і часових параметрів логістичного ланцюга в умовах різної структури вагонопотоків; розроблено математичну модель для дослідження та вибору ефективного способу зміни візків вантажних вагонів.

**Виклад основного матеріалу.** Перестановка ходових частин (колісних пар або візків) здійснюється на пунктах перестановки прикордонних станцій між державами, що мають залізниці різної ширини колії.

Для вантажних вагонів пункти перестановки (ППВ) спеціалізуються за родами вантажу й типами вагонів. Наприклад, на західному кордоні України ці пункти спеціалізуються в такий спосіб:

– для хімічних і нафтоналивних вантажів, що перевозяться у цистернах (станції Королево, Мостиська);

– для спеціальних вагонів (Унгени);

– для вантажів, перевезених у критих й інших універсальних вагонах (Чоп, Рені).

Переставні пункти за конструкцією можуть бути:

– відкритого типу, що розташовуються на відкритих майданчиках із твердим покриттям;

– закритого типу, що улаштовуються в цеху ангарного типу з уведенням у нього колій західноєвропейської й вітчизняної колії.

Залежно від потрібної перероблювальної спроможності пункти зміни візків можуть мати одну або дві колії перестановки.

Піднімання вагонів проводиться електричними домкратами одночасно з двох кінців. Перед підніманням у вантажних вагонах роз'єднують тяги гальмової важільної передачі. З-під піднятих вагонів тросовими конвеєрами візки перекочують на шляху відстою. Із протилежної сторони пункту під вагони підкочують візки для колії іншої ширини. Після приєднання гальмової важільної передачі вагони готові для подальшого просування в складі поїзда.

Пункти перестановки, крім електричних домкратів, оснащені також мостовими або козловими кранами. Все це обумовлює необхідність обирати раціональну технологію серед декількох можливих.

У статті розглядається облаштування ППВ козловими кранами типу ККС-10 та стаціонарними електрифікованими домкратами вантажопідйомністю 30 т у необхідній кількості.

Процес заміни візків вантажних вагонів складається з багатьох окремих технологічних операцій, які умовно пропонується розбити на такі фази.

1. Прибуття поїзда на станцію в парк прибуття.

2. СОРТУВАННЯ ВАГОНІВ.

3. Доставка вагонів на колію зміни візків маневровим локомотивом.

4. Роз'єднання міжвагонного з'єднання бригадою робітників.

5. Розміщення краном електродомкратів за базами вагонів.

6. Подача й розміщення вагонів за позиціями підйому маневровим локомотивом.

7. Огородження і підготовка вагонів слюсарями до підйому (роз'єднання гальмівних тяг, зняття негабаритних деталей, установлення висувних телескопічних балок домкратів із підведенням опорних поверхонь балок під вагони й укладанням на них дерев'яних підкладок, підклинювання візків тощо).

8. Підйом вагонів на переставних позиціях.

- 
9. подача візків іншої ширини колії із парку відстою на колію перестановки (козловим краном або маневровим локомотивом).
  10. Викочування з-під вагонів візків (бригадою робітників або електролебідкою).
  11. Підкочування візків колії іншої ширини (бригадою робітників або електролебідкою).
  12. Опускання вагонів, установлення негабаритних деталей, усунення несправностей за крейдовими позначками, приведення телескопічних балок домкратів в утоплене положення, з'єднання гальмових тяг, регулювання важільної передачі.
  13. Зняття огорожень, відкриття шлагбаума.
  14. З'єднання вагонів у групу.
  15. Прибирання вагонів з переставної колії у парк відправлення маневровим локомотивом.
  16. Накопичування вагонів, виконання всіх видів оглядів і контролю, обробка документів, формування та відправлення поїзда.

Основними показниками, що визначатимуть процес перестановки візків, є витрати часу та грошей на його виконання. У зв'язку з цим головною метою під час переставного процесу полягає у визначенні такої технології перестановки візків, щоб витрати часу та грошей на це були найменшими, завдяки чому знизиться час обслуговування вагона на переставному пункті, а отже, час обертів іноземного вагона на території України.

Особливістю завдання полягає в тому, що фази, як правило, залежні, тобто кожна операція в наступній фазі залежить від вибору операції у попередній. Крім того, необхідно враховувати стани системи: кожен канал обслуговування (колія, маневровий локомотив, домкрат, кран тощо) може бути зайнятим. Візок (колісна пара, гальмова тяга, зчипний пристрій тощо) може бути несправним. Це викликає додаткові грошові та часові витрати.

Ще однією особливістю є залежність витрат часу та грошей на здійснення переставного процесу від кількості вагонів, що обслуговуються. Наприклад, якщо кількість вагонів, що підлягають перестановці, перевищує кількість вагонів, на яку розрахований переставний пункт, то їх розбивають на групи і всі технологічні операції доводиться повторювати для кожної групи вагонів окремо, що призводить до додаткових витрат часу та грошей. Для прикладу розглядається перестановка візків для груп вагонів з 5, 10 та 15 вагонів (відповідно, необхідно мати 10, 20 та 30 візків іншої колії для заміни). Аналізовані параметри залежать також і від чисельності обслуговуючих бригад.

Для дослідження технології перестановки візків пропонується використовувати метод фаз. Математична модель технології заміни візків ураховує кількість вагонів, що підлягають обробці, та робить можливим широке використання даного методу без прив'язки до конкретних статистичних даних. Вибір незрівнянних за Парето варіантів технологій дає змогу гнучко виконувати завдання й прогнозувати витрати часу на реалізацію технологічного процесу залежно від грошових витрат, що є важливим чинником в умовах гострої ринкової конкуренції.

Набір з означених 16 фаз визначатимемо у вигляді списку  $\Omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{16}]$ . У кожній фазі  $\omega_i$  є деякий набір технологічних операцій  $\Xi_i = \{\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots, \theta_{ik_i}\}$ ,  $i = 1..16$ .

У випадку, коли операції залежні, кількість можливих селекторів може виявитися значно меншою. Для визначення операцій, які можна виконувати в наступній фазі,



Вибір раціональної технології роботи пункту перестановки візків пропонується здійснювати за такою схемою (рис. 1), що включає сім кроків.

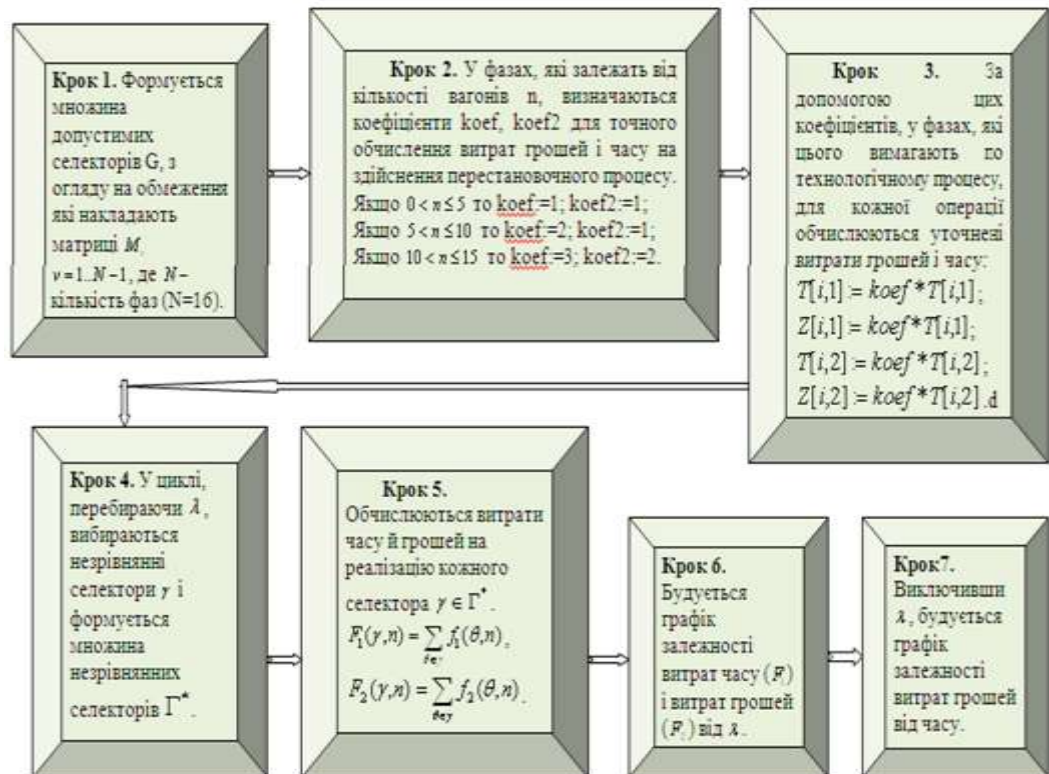


Рис. 1. Схематичне подання алгоритму розв'язання задачі вибору раціональної технології роботи пункту перестановки візків

Для кількісного оцінювання експлуатаційних витрат на реалізацію технологічних операцій зміни візків кожній з обумовлених фаз поставимо у відповідність витрати часу  $t$  і коштів  $z$ . Вихідні дані взято на підставі аналізу роботи станції Мостиська-II.

Фаза 1. Операції з прибуття поїзда на станцію –  $t = 110$  хв,  $z = 28$  грн.

Фаза 2. Операції із сортування вагонів – через сортувальну гірку  $t = 20$  хв,  $z = 120$  грн; через витяжну колію  $t = 50$  хв,  $z = 80$  грн.

Фаза 3. Доставка вагонів на переставну колію –  $t = 5$  хв,  $z = 195$  грн.

Фаза 4. Роз'єднання міжвагонного з'єднання – для 5 вагонів  $t = 20$  хв,  $z = 70$  грн, для 10 вагонів –  $t = 40$  хв,  $z = 70$  грн, для 15 вагонів –  $t = 60$  хв,  $z = 70$  грн.

Фаза 5. Розміщення електродомкратів – для 5 вагонів  $t = 20$  хв,  $z = 30$  грн, для 10 вагонів –  $t = 40$  хв,  $z = 44$  грн, для 15 вагонів –  $t = 60$  хв,  $z = 56$  грн.

Фаза 6. Подача й розміщення вагонів за позиціями підйому – для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 80$  грн, для 10 вагонів –  $t = 20$  хв,  $z = 90$  грн, для 15 вагонів –  $t = 30$  хв,  $z = 100$  грн.

Фаза 7. Огородження й підготовка вагонів до підйому – для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 20$  грн, для 10 вагонів –  $t = 15$  хв,  $z = 25$  грн, для 15 вагонів –  $t = 20$  хв,  $z = 30$  грн.

---

Фаза 8. Підйом вагонів на переставних позиціях – для 5 вагонів  $t = 5$  хв,  $z = 80$  грн, для 10 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 120$  грн, для 15 вагонів –  $t = 15$  хв,  $z = 160$  грн.

Фаза 9. Подача візків іншої ширини колії з парку відстою на колію перестановки козловим краном для 5 вагонів  $t = 8$  хв,  $z = 40$  грн, для 10 вагонів –  $t = 16$  хв,  $z = 52$  грн, для 15 вагонів –  $t = 24$  хв,  $z = 64$  грн; маневровим локомотивом для 5 вагонів  $t = 12$  хв,  $z = 70$  грн, для 10 вагонів –  $t = 12$  хв,  $z = 75$  грн, для 15 вагонів –  $t = 12$  хв,  $z = 80$  грн.

Фаза 10. Викочування з-під вагонів візків бригадою робітників для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 30$  грн, для 10 вагонів –  $t = 20$  хв,  $z = 45$  грн, для 15 вагонів –  $t = 30$  хв,  $z = 60$  грн; електролебідкою для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн, для 10 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн, для 15 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн.

Фаза 11. Підкочування візків колії іншої ширини бригадою робітників для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 30$  грн, для 10 вагонів –  $t = 20$  хв,  $z = 45$  грн, для 15 вагонів –  $t = 30$  хв,  $z = 60$  грн; електролебідкою для 5 вагонів  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн, для 10 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн, для 15 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 70$  грн.

Фаза 12. Опускання вагонів, установлення негабаритних деталей тощо для 5 вагонів  $t = 55$  хв,  $z = 170$  грн, для 10 вагонів –  $t = 100$  хв,  $z = 210$  грн, для 15 вагонів –  $t = 145$  хв,  $z = 250$  грн.

Фаза 13. Зняття огорожень, відкриття шлагбаума –  $t = 5$  хв,  $z = 20$  грн.

Фаза 14. З'єднання вагонів у групу – для 5 вагонів  $t = 19$  хв,  $z = 15$  грн, для 10 вагонів –  $t = 38$  хв,  $z = 20$  грн, для 15 вагонів –  $t = 57$  хв,  $z = 25$  грн.

Фаза 15. Прибирання вагонів з переставної колії у парк відправлення маневровим локомотивом – для 5 вагонів  $t = 5$  хв,  $z = 140$  грн, для 10 вагонів –  $t = 10$  хв,  $z = 155$  грн, для 15 вагонів –  $t = 15$  хв,  $z = 170$  грн.

Фаза 16. Накопичування вагонів, виконання всіх видів оглядів і контролю, обробка документів, формування та відправлення поїзду –  $t = 90$  хв,  $z = 200$  грн.

Результати роботи відповідної програми із заданими числовими даними дозволяють установити таке.

1. Із кількістю до 6 вагонів множина  $\Gamma^*$  складається з 2 непорівнянних селекторів:

$[w_{1,1}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}, w_{6,1}, w_{7,1}, w_{8,1}, w_{9,1}, w_{10,1}, w_{11,1}, w_{12,1}, w_{13,1}, w_{14,1}, w_{15,1}, w_{16,1}]$ ,

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}, w_{6,1}, w_{7,1}, w_{8,1}, w_{9,1}, w_{10,1}, w_{11,1}, w_{12,1}, w_{13,1}, w_{14,1}, w_{15,1}, w_{16,1}]$ .

Технологічні операції, які відповідають першому селектору, полягають у такому:  
– поїзд, що прибув, або група вагонів до 6 шт. проходить усі види оглядів у парку прийому;

– сортування відбувається на сортувальній гірці й доставляється в пункт перестановки візків маневровим локомотивом;

– перестановка вагонів здійснюється на пункті перестановки візків, розрахованому на перестановку 5 вагонів за один робочий цикл, бригадою робітників, козловим краном й електродомкратами.

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють:  $F_1 = 1220$ ,  $F_2 = 375$ .

Технологічні операції, які відповідають другому селектору, аналогічні до технологічних операцій першого селектора, за винятком другої фази, в якій сортування вагонів відбувається на витяжній колії, а не на сортувальній гірці.



---

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1260, F_2 = 345$ .

2. Із кількістю до 11 вагонів множина  $\Gamma^*$  складається з 3 непорівнянних селекторів:

$[w_{1,1}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,2}, w_{11,2}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ ,

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,2}, w_{11,2}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ ,

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,5}, w_{11,5}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ .

Технологічні операції, що відповідають першому селектору, полягають у такому:  
– поїзд або група вагонів до 11 шт. проходить усі види оглядів у парку прийому;  
– сортування відбувається через витяжну колію і доставляється в пункт перестановки візків маневровим локомотивом;

– перестановка вагонів здійснюється на пункті перестановки візків, розрахованому на перестановку 10 вагонів за один робочий цикл, бригадою робітників, козловим краном і електродомкратами.

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1381, F_2 = 557$ .

Технологічні операції в реалізації другого селектора збігаються майже в усіх фазах за винятком другої, в якій сортування вагонів здійснюється через сортувальну гірку.

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1421, F_2 = 527$ .

Технологічні операції, які відповідають третьому селектору, ідентичні з операціями другого селектора, а витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1469, F_2 = 513$ .

3. Із кількістю до 16 вагонів множина  $\Gamma^*$  складається з 3 непорівнянних селекторів:

$[w_{1,1}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,3}, w_{5,3}, w_{6,3}, w_{7,3}, w_{8,3}, w_{9,3}, w_{10,3}, w_{11,3}, w_{12,3}, w_{13,1}, w_{14,3}, w_{15,3}, w_{16,1}]$ ,

$[w_{1,1}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,3}, w_{5,3}, w_{6,3}, w_{7,3}, w_{8,3}, w_{9,3}, w_{10,6}, w_{11,6}, w_{12,3}, w_{13,1}, w_{14,3}, w_{15,3}, w_{16,1}]$ ,

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,3}, w_{5,3}, w_{6,3}, w_{7,3}, w_{8,3}, w_{9,3}, w_{10,6}, w_{11,6}, w_{12,3}, w_{13,1}, w_{14,3}, w_{15,3}, w_{16,1}]$ .

Технологічні операції, що відповідають першому селектору, такі:

– поїзд або група вагонів до 16 шт. проходить усі види оглядів у парку прибуття;  
– сортується через витяжну колію і доставляється у пункт перестановки візків маневровим локомотивом;

– перестановка вагонів здійснюється на пункті перестановки візків, розрахованому на перестановку 15 вагонів за один робочий цикл, бригадою робітників, козловим краном і електродомкратами.

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1540, F_2 = 734$ .

Технологічні операції, які відповідають другому селектору, аналогічні до технологічних операцій першого селектора за винятком 10-ї та 11-ї фаз.

Витрати грошей і часу в ході виконання даного селектора відповідно дорівнюють  $F_1 = 1566, F_2 = 702$ .

На виконання технологічних операцій третього селектора витрачається грошей і часу відповідно  $F_1 = 1606, F_2 = 672$ .

Як видно з отриманих результатів, кількість вагонів, що підлягають перестановці, істотно впливає на розв'язок цієї задачі. Таким чином, у виборі раціональної технології перестановки вагонів з однієї ширини колії на іншу для кожної конкретної станції головну роль відіграватиме вантажопотік, що проходить через цю станцію. І, виходячи з конкретних статистичних даних, можна буде планувати технологічний процес з найбільшою ефективністю. Побудуємо графіки залежності витрат грошей (рис. 2) і часу (рис. 3) від кількості вагонів, що підлягають перестановці. Зазначимо, що на рис. 2 і 3 показано графіки, які відповідають двом крайнім випадкам реалізації технологій з найменшими часовими та грошовими витратами. Всі інші можливі непорівнянні за Парето варіанти розв'язку перебувають між ними.

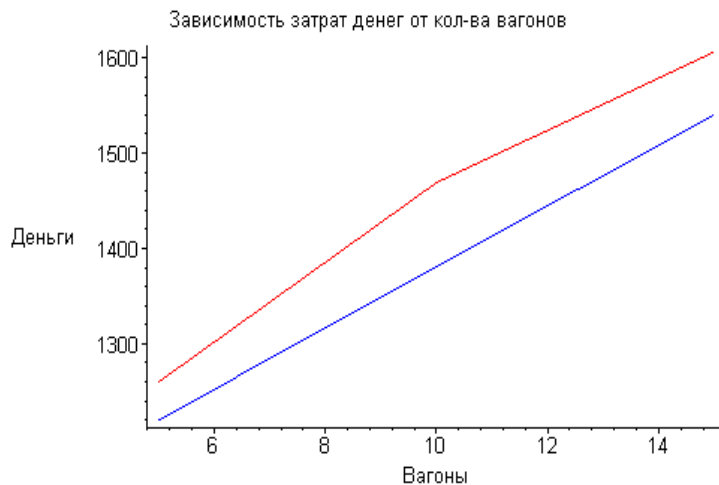


Рис. 2. Залежність витрат грошей на зміну візків від кількості вагонів, що підлягають перестановці

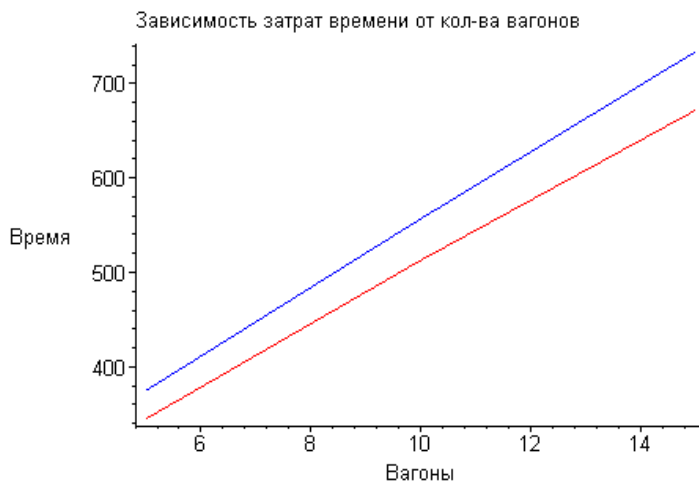


Рис. 3. Залежність витрат часу на зміну візків від кількості вагонів, що підлягають перестановці

---

Для дослідження стійкості розв'язку даної задачі змінимо деякі початкові дані та порівняємо отримані результати.

Дані були змінені у фазах номер 2, 5, 6, 8, 11, 13 і 14.

Список усіх змін:

- до зміни  $Z_2 = [120, 80]$ , після  $Z_2 = [160, 70]$ , варіація у відсотках 12,5 %;
- до зміни  $T_5 = [20, 40, 60]$ , після  $T_5 = [22, 40, 50]$ , варіація у відсотках 16,6 %;
- до зміни  $Z_6 = [80, 90, 100]$ , після  $Z_6 = [85, 90, 100]$ , варіація у відсотках 6,25 %;
- до зміни  $T_8 = [35, 70, 100]$ , після  $T_8 = [40, 75, 105]$ , варіація у відсотках 12,5 %;
- до зміни  $T_{11} = [10, 20, 30, 10, 10, 10]$ , після  $T_{11} = [10, 15, 20, 10, 10, 10]$ , варіація у відсотках 33,3 %;
- до зміни  $Z_{11} = [30, 45, 60, 70, 70, 70]$ , після  $Z_{11} = [32, 44, 62, 73, 70, 70]$ , варіація у відсотках 6,6 %;
- до зміни  $T_{13} = [5]$ , після  $T_{13} = [8]$ , варіація у відсотках 37,5 %, залежно від фази;
- до зміни  $T_{14} = [19, 38, 57]$ , після  $T_{14} = [20, 38, 57]$ , варіація у відсотках 5 %.

Варіація початкових даних у відсотках становить від 5 до 37,5 відсотків залежно від фази.

У результаті розв'язання задачі зі зміненими початковими даними отриманий результат якісно не відрізняється від результату, отриманого з початковими даними. Це показано на рис. 4.

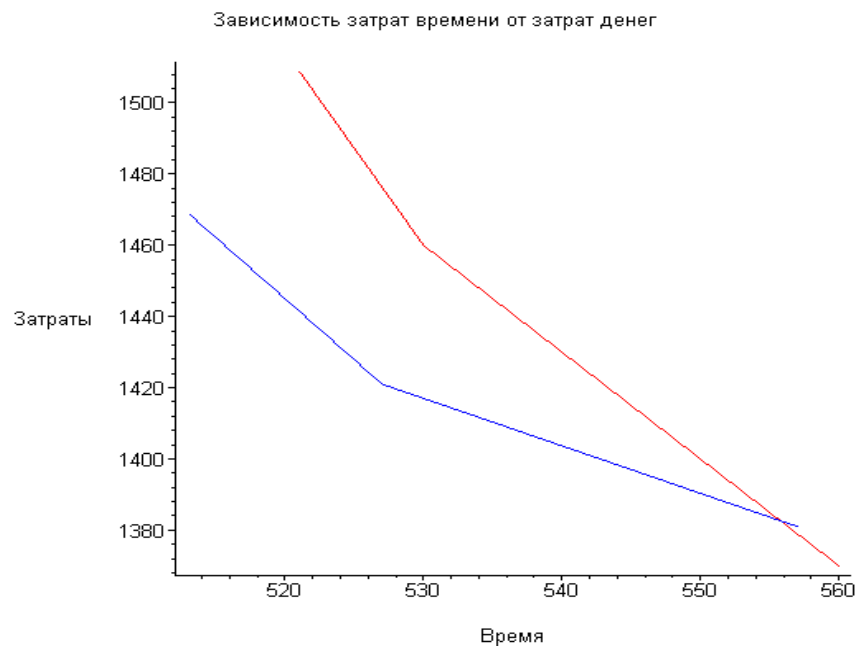


Рис. 4. Графіки залежності витрат часу на зміну візків від витрат грошей на перестановку вагонів зі зміненими початковими даними (верхній графік) і без змін (нижній графік) з обраною кількістю вагонів від 6 до 10

---

Для розв'язання задачі кількість вагонів обрана рівною 8.

Розбіжність результатів становить:

1) у реалізації селектора

$[w_{1,1}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,2}, w_{11,2}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ ,

за витратами коштів  $|F_1 - \bar{F}_1| = |1381 - 1370| = 11$ , у відсотках: 0,8 %;

за часом  $|F_2 - \bar{F}_2| = |557 - 560| = 3$ , у відсотках: 0,54 %;

2) у реалізації селектора

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,2}, w_{11,2}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ ,

за витратами коштів  $|F_1 - \bar{F}_1| = |1412 - 1460| = 48$ , у відсотках: 2,08 %;

за часом  $|F_2 - \bar{F}_2| = |527 - 530| = 3$ , у відсотках: 0,57 %;

3) у реалізації селектора

$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,2}, w_{5,2}, w_{6,2}, w_{7,2}, w_{8,2}, w_{9,2}, w_{10,5}, w_{11,5}, w_{12,2}, w_{13,1}, w_{14,2}, w_{15,2}, w_{16,1}]$ ,

за витратами коштів  $|F_1 - \bar{F}_1| = |1469 - 1509| = 40$ , у відсотках: 2,65 %;

за часом  $|F_2 - \bar{F}_2| = |513 - 521| = 8$ , у відсотках: 1,54 %.

Розв'язок задачі зі зміненими даними якісно не змінився. Варіація початкових даних (від 5 до 37,5 відсотків) привела лише до невеликої зміни часових і грошових характеристик (найбільша зміна 2,65 %), не спричинила зміни множини  $\Gamma^*$  непорівнянних за Парето селекторів та не вплинула на вибір технологій, звідки можна зробити висновок, що розв'язок задачі стійкий з невеликими змінами початкових даних.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** Таким чином, можна зробити висновки, що запропонована у даній статті математична модель може бути застосована для дослідження та вибору раціонального способу зміни візків вантажних вагонів на прикордонній станції. Вона враховує взаємну залежність таких критеріїв оптимізації, як час і вартість, а також їх залежність від структури та обсягів міжнародних вагонопотоків. У результаті можуть бути побудовані графіки залежності витрат коштів від витрат часу, аналіз яких дозволяє обрати ефективну технологію зміни візків вантажних вагонів на станціях стикування колій різної ширини. Упровадження результатів досліджень у технологічні процеси прикордонних станцій дасть змогу скоротити час перебування вантажних вагонів, що прямують за кордон або з-за кордону, на цих станціях, а отже, підвищити техніко-експлуатаційні показники роботи під час міжнародних перевезень вантажів.

Подальший розвиток досліджень у даному напрямі може бути націлений на формування раціональної логістичної технології роботи станцій стикування колій різної ширини, що забезпечить ефективне функціонування національної транспортної інфраструктури в системі міжнародних транспортних коридорів.

---

### Список використаних джерел:

1. Котелевский О. А. Совершенствование технологии работы пограничных станций / Котелевский О. А. – СПб. : Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2005. – № 1. – С. 18–21.
2. Vossloh Rail Vehicles sold to Stadler [Електронний ресурс] // Railway Gazette. – 04 Nov., 2015. – Режим доступу : <http://www.railwaygazette.com/news/business/single-view/view/vossloh-rail-vehicles-sold-to-stadler.html>
3. Транспортна стратегія України на період до 2020 р. (схвалена розпорядженням КМУ від 20.10.2010 р. № 2174-р). – К. : НІСД, 2010. – 56 с.
4. Угода про міжнародне залізничне вантажне сполучення (УМВС) від 01.11.1951 р. № 998\_011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?page=1&nreg=998\\_011](http://www.zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?page=1&nreg=998_011)
5. Стратегічні напрями розвитку транспортної галузі України у післякризовий період. – К. : НІСД, 2011. – 48 с.
6. Альошинський Є. С. Основи формування процесу міжнародних вантажних залізничних перевезень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.22.01 / Є. С. Альошинський. – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – 40 с.
7. Обухова А. Л. Удосконалення технології функціонування передавальних залізничних станцій в умовах змішаних та інтермодальних перевезень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 / А. Л. Обухова. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – 20 с.
8. Кіхтева Ю. В. Удосконалення функціонування інформаційної підсистеми прикордонних передавальних станцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Ю. В. Кіхтева. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – 20 с.
9. Бауліна Г. С. Удосконалення роботи прикордонних передавальних станцій на основі автоматизованої технології управління вагонопотоками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 / Г. С. Бауліна. – Х. : УкрДАЗТ, 2012. – 20 с.
10. Босов А. А. Математическое моделирование рационального использования ресурсов железнодорожной станции [Электронный ресурс] / Босов. А. А. – Режим доступа : [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=vdnuzt\\_2004\\_4\\_18](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=vdnuzt_2004_4_18)
11. Босов А. А. Симметрическая разность и её применение / А. А. Босов // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – 2004. – № 4. – С. 92–95.
12. Босов А. А. Определение рациональных параметров одноканальной СМО в процессе математического моделирования обработки грузовых вагонов при переходе с колеи 1435 мм на колею 1520 мм / А. А. Босов, Н. А. Мухина, А. И. Кузьменко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – № 14. – С. 94–98.
13. Мухіна Н. А. Моделювання раціональних технологій роботи прикордонних залізничних станцій / Н. А. Мухіна, А. І. Кузьменко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2007. – № 85. – С. 244–252.
14. Кузьменко А. І. Підвищення ефективності функціонування прикордонних перевантажувальних станцій / А. І. Кузьменко // Транспортні системи та технології перевезень : збірник наукових праць ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 9. – С. 35–41.