

# 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОЦЕСУ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ВАГОНОПОТОКІВ МІЖ РІЗНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ МЕРЕЖАМИ

## 1.1 Особливості функціонування прикордонних станцій, розташованих між різними залізничними мережами

Відомо, що велике місце у вантажообігу українських залізниць займають експортні вантажі, що надходять транзитом у європейські країни. Обробку цих вантажопотоків на західному кордоні забезпечує залізниця Л. Її схему зображено на рис. 1.1, а чорними кружками показані прикордонні станції, на основі аналізу роботи яких були виконані дослідження.

Рис. 1.1 Схема залізниці Л.

Як видно з даного рис., залізниця Л. межує із залізницями: Білоруської (ст. Заболотьє, Горинь), Південно-Західної (ст. Олевськ, Здолбунів, Лановці, Підволочиськ, Гусятин) і Молдавської (ст. Мамалига) залізниць, а також із залізницями Румунії, Угорщини, Словаччини й Польщі.

Велике місце у вантажообігу залізниці Л. займають експортні вантажі, що впливають транзитом у європейські країни. Серед цих вантажів переважають залізна руда, кам'яне вугілля, нафтопродукти, кокс, чорні метали, хлібні й лісові вантажі. Найбільша кількість залізорудної сировини надходить у Польщу, Чехію, Словаччину й Румунію. Мінерально-сировинні ресурси відправляються закордонним споживачам в основному залізничним транспортом.

Залучення на залізницю нових вантажів у міжнародних перевезеннях залежить від співробітництва залізниць країн, через території яких проходять транспортні магістралі. У тому числі, і від впровадження більш ефективних технологій переходу з однієї ширини колії на іншу.

Техніко-економічні й експлуатаційні характеристики дороги під час перевезення експортно-імпортних вантажів знижуються через те, що ширина

її колії відрізняється від загальноєвропейської. Це вимагає утримання на західних кордонах країни 5 пунктів пропуску, що забезпечують перехід вагонів з колії 1435 мм на колію 1520 мм. Основні характеристики пунктів пропуску, аналіз роботи яких було проведено у роботі, наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Характеристика основних пунктів пропуску, що забезпечують перехід вантажних вагонів з колії 1435 мм на колію 1520 мм

№ з/п	Суміжна країна (залізниця)	Прикордонна станція України	Прикордонна станція суміжної країни
1	Польща (PKP)	Ягодин	Дорохуськ
2	Польща (PKP)	Мостиська-II	Пшемисль
3	Словаччина (ZSR)	Чоп	Чіерна-над-Тисою
4	Румунія (CFR)	Дьяково	Халмеу
5	Румунія (CFR)	Вадул-Сирет	Вікшани

Графіки зміни кількості переставлених на візки колії іншої ширини по пунктах перестановки та по Залізниці Л. в цілому показані відповідно на рис. 1.2 та 1.3.

Рис. 1.2 Перестановка вантажних вагонів на колію 1435 мм пунктами зміни візків залізниці Л. у 2002-2010 рр.

Технологія взаємодії мереж залізниць України і суміжних держав передбачає виконання таких операцій [2, 4] на міжнародних передаточних станціях:

- митний контроль перевізних документів, вибіркова натурна перевірка вантажів у складах вантажних потягів, візовий і паспортний контроль пасажирів та обслуговуючого персоналу;
- прикордонний контроль та інші види контролю вантажних і пасажирських поїздів;
- облік переходу поїздів, вагонів і контейнерів;
- технічний контроль справності й обслуговування рухомого складу;
- огляд вагонів у технічному і комерційному відношенні (цілісність пломб, правильність навантаження на відкритому рухомому складі й ін.).

Рис. 1.3 Кількість переставлених вагонів на колію 1435 мм з колії 1520 мм залізницею Л. у 1990-2010 рр.

Для виконання означених операцій прикордонні станції повинні бути обладнані відповідними технічними засобами [5, 6]. На прикордонних перевантажувальних станціях паралельно в часі працюють три технологічні лінії: з вагонами колії 1435 мм; з вагонами колії 1520 мм; з перевізними документами на вантажі та вагони.

Аналіз сучасного стану функціонування прикордонних передавальних станцій показав, що основним фактором зниження якості перевезень при транспортуванні вантажів у міждержавному сполученні постає проблема перетину кордонів між країнами [6, 7-10].

Технологія роботи і технічне оснащення міжнародних передаточних (прикордонних) дільничних станцій залежить від статусу державного кордону [8].

Усі вантажі, що ввозяться на митну територію України і вивозяться за її межі, підлягають митному оформленню в терміни, установлені Технологічним процесом роботи передаточної станції.

Прикордонно-митні операції з пасажирями, вантажами, вагонами і контейнерами виконують прикордонно-митні пункти [7, 8, 11]. Взаємодія працівників станції з прикордонно-митними й іншими контролюючими органами обумовлено Технологічним процесом роботи передаточної станції, що узгоджується з ними.

Для того, щоб у сучасних умовах залізничний транспорт зберігав свою провідну позицію у транспортній системі країни, необхідно вийти на інший, більш високий рівень якості перевезень у міждержавному сполученні. Для посилення взаємодії країн, що співпрацюють між собою, особливу увагу слід приділити кордонам суміжних держав, а саме покращенню технології роботи прикордонних передавальних станцій та удосконаленню функціонування інформаційних підсистем суміжних країн [10, 12].

Існування недоліків у роботі прикордонних передавальних станцій та неадаптованість їх до світового рівня перевезень є суттєвим стримуючим фактом. Технологія їх роботи повинна відповідати нормативам ЄС [13], а також регламентуватися «Правилами користування вагонів у міжнародному сполученні» та [14].

Вхідні потоки можуть надходити на прикордонні станції за часом і кількістю випадковим образом, детерміновано (регулярно за розкладом) чи комбіновано (з відхиленням від заданого режиму) [15].

На прикордонних станціях вхідні потоки за фізичною природою розрізняють:

- потоки вагонів, вантажів, поїздів і інших транспортних засобів;
- потоки надходження перевізних документів у контору передачі, у митні і прикордонні підрозділи, товарну контору і т.п.;
- потік відмовлень у роботі вантажно-розвантажувальних механізмів, локомотивів і інших пристроїв.

Система обслуговування на прикордонних перевантажувальних станціях може складатися [1]:

1) з одного чи декількох обслуговуючих апаратів. Як приклад обслуговуючих апаратів можна привести комплекс вантажно-розвантажувальних машин, парк маневрових локомотивів і т.д.;

2) одноканальної чи багатоканальної (однолінійної чи багатолінійної).

Необхідно також мати на увазі обмеження, що накладаються на станцію прикордонними функціями [9]:

- 1) обмеження, що накладаються на вагонопотік, який надходить із-за кордону;
- 2) обмеження, що викликані зміною технології роботи станції;
- 3) обмеження, що накладаються на вагонопотік, який виходить з України.

Технологія обробки документів на прикордонній перевантажувальній станції зводиться до наступного [15]. Спочатку виконується обробка

документів агентом сторони, що здає, після прибуття потяга і передача їх і складів приймаючій стороні. Обслуговуючий апарат даної фази – бригада агентів що здає і приймає сторін, потік заявок – обробки пакети документів, що очікують. Після прибуття потяга в приймально-відправний парк черговий по парку повідомляє агентів сторони, що здає, і прикордонників про колію, на яку прибув потяг. Агент сторони, що здає, виходить на колію прийому і забирає в машиніста локомотива перевізні документи, передатні і вагонні відомості, описи і т.д. Агенти дороги, що здає, одержавши від машиніста документи, ставлять календарний штампель на передатні і вагонні відомості, нумерують їх для обліку і спрощення розшуку, підписують, у вагонній відомості, ставлять час передачі документів у контору передачі. Календарний штампель проставляється для вказівки пункту переходу і дати. Нумерація документів виконується для реєстрації їхнього проходження через конкретний пункт переходу. Підпис засвідчує конкретну посадову особу, що працює в даній зміні і виконує перераховані вище операції. Час передачі документів використовується для розмежування відповідальності між сторонами, що здають і приймають, за простій вагонів у очікуванні оформлення документів і виконання приймально-здавальних операцій.

З боку іноземної залізниці прибуває 5 екземплярів передатних відомостей (2 – для сторони, що здає і 3 – для приймаючої сторони) та 4 екземпляри вагонних відомостей (по 2 для обох сторін). Після перевірки і прийому старшим агентом інформація з вагонних відомостей вводиться в ЕОМ для використання в подальшій роботі.

Технологічний час обробки документів і здачі вантажів, вагонів і контейнерів складається з наступних операцій:

- доставка документів від локомотива в будівлю контори передачі;
- обробка й оформлення документів;
- здача вагонів, контейнерів і вантажів агенту приймаючої сторони;
- остаточне оформлення передатних документів.

Наступна фаза - переклад передатних документів приймаючою стороною. Обслуговуючий апарат даної фази – бригада перекладачів, а потік заявок – пакети перевізних документів, що очікують перекладу, які прибули з окремими поїздами.

Технологічний час обробки пакета перевізних документів одним перекладачем включає час на переклад: а) передатних відомостей; б) вагонних відомостей; в) відомостей спільного контейнерного парку, передатних описів; г) комерційних актів; д) комплектів перевізних документів і супутніх документів (сертифікатів і т.д.).

Якщо виявлена невідповідність, вантаж повертається стороні, що здає, для приведення його у відповідність вимогам приймаючої сторони. Технологічно спочатку повинні переводитися документи, а потім здійснюватися прийом вантажів і вагонів. Однак на практиці з метою скорочення простоїв приймаються контейнери і вагони по пломбах і номерах паралельно з перекладом документів.

Наступна підсистема містить у собі: а) прийом вантажних документів на підставі передатних відомостей, нанесення на останні календарних штемпелів, реєстрація передатних відомостей із присвоєнням їм номерів і виконання інших операцій товарним касиром; б) уточнення перекладу комплектів перевізних документів; в) обробку документів митницею; г) обробка документів працівниками транспортно-експедиторських фірм.

По закінченні обробки документи надходять до товарного касира транспортно-експедиційної фірми для виконання необхідного комплексу операцій (наприклад, по переадресуванню).

Остання фаза - обробка перевізних документів у товарній конторі. У товарній конторі документи очікують обробки товарним касиром, що повинні виконати наступні операції: розсортування документів; складання переліку документів і перевірка наявності дублікату дорожньої відомості; звірення реквізитів накладної з вагонними аркушами; таксування; складання

досилочних відомостей; перевірка документів, прикладених відправником до накладної.

Останнім часом на більшості прикордонних передавальних станцій України для покращення їх функціонування впроваджується промислове телебачення. Ця система дає можливість вести спостереження за територією станції, прибуттям та відправленням поїздів. На багатьох станціях країн СНД це дозволило забезпечити паралельну обробку составів, скоротити штат прикордонників, зайнятих на охороні територій станцій для проведення прикордонного контролю поїздів. Також вдалося зменшити час простою експортного поїзда. Наприклад, на станціях Росії у січні 2010 року середній час простою експортного рухомого складу складав у середньому 100 хв, а у квітні цього ж року цей показник різко зменшився до 20 хв. Також слід відмітити позитивний приклад прикордонної станції Печори-Псковські, де разом з Естонською залізницею створено пункти комерційного і технічного огляду поїздів і вагонів. Розташовані вони безпосередньо на станції території Росії. Технологія спільного огляду поїздів та вагонів дозволяє проводити огляд вантажів тільки один раз, що виключає повторний огляд на території Естонії, а також оперативно приймати рішення відносно збереження вантажів і безпеки руху [16]. Станція Печори-Псковські ще у 2003 році, була обладнана автоматизованою системою комерційного огляду, що дозволяє проводити огляд при прямуванні поїзда за допомогою моніторів, встановлених у приміщенні пункту комерційного огляду (ПКО). Це впровадження дозволило скоротити час на проведення комерційного огляду експортно-імпортних поїздів у середньому на 20 хвилин.

Ще одним суттєвим недоліком при перевезенні вантажів у міждержавному сполученні є відсутність єдиної електронної системи передачі даних між митницями двох взаємодіючих країн [17]. У зв'язку із цією проблемою виникають затримки вагонів за відсутністю електронного повідомлення митниці відправлення, при закритті коду експедитора, за



відсутністю інформації в центральній базі даних та при порушенні маршруту прямування вагону.

Із перших днів січня 2012 року на всіх станціях залізниці Л. розпочалася експлуатація автоматизованого робочого місця (АРМ) чергового по станції АРМ ДСП. Це програмне забезпечення дозволяє відстежувати рух усіх поїздів та надавати необхідну інформацію для прийняття оперативних рішень у реальному часі. За словами Олександра Гершуненка (газета «Львівський залізничник»), на сьогодні на Залізниці Л. 316 із 339 станцій та роздільних пунктів мають це автоматизоване робоче місце. На решті 23 станціях це програмне забезпечення не буде встановлюватися через їхнє закриття або перевід у режим під'їзної колії та станції з вузькою колією, яка не підлягала автоматизації. Серед 316 станцій 196 були автоматизовані у 2011 році.

Залізничному транспорту притаманний особливо тісний взаємозв'язок підрозділів, служб і ланок. Тому визначається необхідність глибокої регламентуючої системи всіх операцій, прямо чи побічно пов'язаних із здійсненням перевізного процесу. Важливим кроком на шляху до цього є впровадження інтероперабельних технологій [15-17]. Під інтероперабельністю у даному випадку розуміють здатність трансєвропейської системи залізниць забезпечити безпечний та безперервний рух поїздів, що відповідає експлуатаційним вимогам цих залізниць [15].

### *Шляхи удосконалення роботи прикордонних перевантажувальних станцій*

Вагомий внесок в розбудову теорії удосконалення технології роботи прикордонних передавальних та перевантажувальних станцій зробили у різні часи ряд відомих вчених та фахівців у галузі залізничного транспорту. Роботи та дослідження цих вчених були спрямовані на вирішення завдання скорочення часу простою вагонів на передавальних та перевантажувальних станціях.

Наприклад, у дослідження розсувної колісної пари SUW – 2000 великий вклад зробили Круліковський Ю., Назаренко В.М., Назаренко К.С., Перафенюк І., Кірпа Г.М., Дьомін Ю.В., Гайдаров М., Сувальський Р.М.

Проте питання ресурсозбереження за умов відсутності ринкових відносин не було актуальним. Аналітична оцінка останніх відомих методів та методик оптимізації роботи прикордонних станцій свідчить про відсутність комплексного підходу щодо удосконалення технології міжнародних перевезень вантажів з точки зору фінансових можливостей вантажовласників.

Дослідженням режиму роботи та технічного оснащення прикордонної станції займався Циркунов Г.А., який запропонував розрахунок витрат часу на обробку поїзда на прикордонній станції. Саме він вперше поставив питання про необхідність координації планів міжнародних перевезень та їх розвиток. У подальших дослідженнях приділялась увага таким питанням, як необхідність уніфікації й стандартизації транспортних засобів, сумісній побудові об'єктів та організації об'єднаних прикордонних станцій. У його роботах наведено результати досліджень функціонування основних процесів станцій перевантаження і надаються рекомендації з удосконалення міжнародних вантажних перевезень [13-15].

У працях таких вчених, як Нагорний Є.В., Титов М.Ф, Черниш Н.Ю. запропоновано комплексні методи скорочення простоїв вагонів, у тому числі і на прикордонних станціях, за рахунок більш раціонального розподілу перевезень вантажів за видами транспорту. Достатня увага була приділена підвищенню ефективності виробничих фондів залізничного транспорту, збільшенню пропускної спроможності пунктів перетину кордонів, а також раціоналізації витрат паливно-енергетичних та матеріальних ресурсів за рахунок підвищення ефективності експлуатаційної діяльності станцій, посиленню використання резервів і технічної потужності залізниць [16].

Такими вченими, як Ветухов Е.А., Казовський І.Г., Хохорін А.І. розглянуто особливості перевезень вантажів у міждержавному сполученні

[17]. Викладені основні відомості про прикордонні станції, наведена характеристика та схеми розташування основних пристроїв. Також розглянуто організацію роботи таких станцій і технічні норми проектування. Значна частина досліджень присвячена питанням планування перевезень у міждержавному сполученні, організації функціонування станцій перевантаження та методам маневрової роботи.

У роботі Мироненка К.П. значна увага приділялась дослідженням умов роботи прикордонних перевантажних пунктів при переробці імпортованих вантажів широкої номенклатури. Вченим були запропоновані методи підвищення пропускної спроможності прикордонних станцій, зменшення порожніх пробігів рухомого складу, а також підвищення ефективності обробки вантажних вагонів при перетині кордонів [18].

Найбільша увага при розгляді можливих шляхів удосконалення процесу міждержавних вантажних перевезень та функціонування прикордонних передавальних сортувальних залізничних станцій приділялась удосконаленню роботи технічних засобів та розрахункам відповідних витрат ресурсів. Згідно [18] Титовим М.Ф. прикордонні сортувальні станції розглядались, як три взаємодіючі між собою технологічні лінії – обробка вагонів, обробка документів та обробка інформації. Основною метою роботи є розробка методології і системного дослідження функціонування прикордонних станцій для вибору варіантів розвитку і підвищення ефективності їх функціонування. На основі отриманих показників у роботі мінімізуються сумарні економічні витрати, а саме: середній час простою одного вагона  $t_{np}^{6ag}$ , середній час простою персоналу  $i$ -го виду  $t_i^{nepc}$  та середній час простою  $j$ -го виду устаткування  $t_j^{obp}$ . Але була недостатньо обґрунтована можливість ресурсозбереження при організації міждержавних перевезень.

У [5] Альошинський Є.С. сформував транспортний процес міжнародних вантажних залізничних перевезень з урахуванням ресурсозбереження, що дозволило забезпечити адаптивність транспортної системи до митних

процедур для зменшення кількості затримок вантажів, скорочення непродуктивних затрат часу під митними операціями та витрат ресурсів всіх видів при переробці експортно-імпортних залізничних перевезень. У його дисертації доведено доцільність проведення дослідження функціонування системи доставки вантажів при міжнародних перевезеннях в три етапи: 1) відокремлені дослідження кожного мікрорівня транспортного комплексу міжнародних вантажних перевезень ТК МВП); 2) відокремлені макрорівні дослідження кожного напрямку міжнародних транспортних коридорів (МТК); 3) сукупні дослідження всіх напрямків МТК (комплекс макрорівнів). Для подальшої раціоналізації параметрів функціонування ТК МВП на мікрорівні „Прикордонна передавальна станція” розроблено математичну та імітаційну модель, що враховує вплив сформованої множини факторів затримок з наступних причин: додаткового митного огляду; повторного митного оформлення; відсутності електронного повідомлення митниці відправлення; технічної чи комерційної несправностей вагона; невідповідності даних у транспортно-технічній накладній та вантажній митній декларації; затримки фітосанітарною, ветеринарною чи карантинною службами; затримка служб екологічного та радіаційного контролю; невірною оформлення документів; відсутності або закриття коду експедитора; порушення маршруту прямування; відсутності інформації в центральній базі даних; відсутності рахунку-фактури; тимчасової заборони ввозу-вивозу та інших.

У [13] Обухова А.Л. вирішила науково-прикладну задачу підвищення ефективності функціонування передавальних станцій, при здійсненні 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. Нею було формалізовано технологію роботи прикордонних передавальних станцій та взаємодії припортової станції і порту з подальшим

вибором раціонального варіанту технології обробки вантажних поїздів при виконанні змішаних та інтермодальних перевезень, а також запропоновано комплекс моделей для визначення раціональної технології функціонування прикордонної передавальної станції в умовах різної ширини колії на основі мереж Петрі за критерієм часу на обробку вагонів та мінімуму загальних витрат на обробку вантажів з урахуванням тривалості та послідовності виконання основних операцій.

Математична модель для визначення, з точки зору часу обробки вагонів та загальних витрат на обробку вантажів, раціональна технології функціонування прикордонної передавальної станції в умовах різної ширини колії, враховує природу величин часу очікування подавання вагонів до пункту перевантаження та відхилень від нормативного часу на виконання операцій обробки перевізних документів в товарній конторі та прикордонно-митними органами, які в загальній тривалості обробки вагонів та документів мають обмежувальний характер. Розподіл тривалості за даними величинами показав, що вони мають імовірнісну природу та підпорядковані імовірним законам розподілу.

За результатами виконаного моделювання процесу роботи прикордонної передавальної станції в умовах необхідності зміни ширини колії було виконано науково обґрунтоване порівняння технологічних варіантів роботи прикордонної передавальної станції і зроблено висновок що реалізацію технологічних рішень різної ширини колії, до яких відносяться перевантаження, зміни візків та застосування колієперевідного пристрою, слід відтворити за умовами, коли кожна з існуючих технологій виконується безпосередньо на станції до процесу розформування поїзду, але на фронті перевантаження можна подати лише певну передачу згідно їх спеціалізації. Не врахована також нерівномірність надходження вантажів (добова, річна), простої із-за технічних несправностей вагонів і НРМ та тривалість роботи НРМ, а також час на перезмінку працівників.

У [16] Кіхтевою Ю.В. розроблено комплексний підхід визначення критерію впливу відмов у підсистемі передачі інформації міждержавного вагонопотоку на прикордонних передавальних станціях (ППС) України та суміжних держав для мінімізації можливості затримок експортно-імпортних вагонопотоків, що на відмінність від існуючих враховує зовнішні фактори збурення системи з боку митних та суміжних служб; розроблено модель, що враховує комплекс заходів з удосконалення функціонування інформаційної підсистеми ППС за рахунок об'єднання основних технологічних операцій при взаємодії прикордонних передавальних станцій суміжних країн для мінімізації витрат ресурсів всіх видів, що на відмінність від існуючих, крім виробничих, враховують паливно-енергетичні, людські та інформаційні ресурси. Для аналізу послідовності проходження технологічних операцій з обробки вагонопотоку розроблено імітаційну модель функціонування прикордонних передавальних станцій з використанням мереж Петрі, яка являє собою графічний та математичний засіб моделювання, що застосовується до систем керування та прогнозування різних типів. Метою удосконалення стану системи є мінімізація вартості витрачених ресурсів на обробку затриманих вагонів.

Для усунення проблемних місць при передачі вагонопотоку у міждержавному сполученні необхідно виявити причини затримки вагонів та можливі шляхи їх усунення. У [16] проаналізовано також прикордонні передавальні станції, що взаємодіють між собою. Але не розглянуто додаткові причини затримок вагонів на станціях, що розташовані на стиках колій різної ширини та не враховано вартісну складову на ремонт вагону, якщо затримка відбулася з технічних причин (закупівля запчастин, оплата роботи працівників, експлуатація обладнання тощо).

У [8] Бауліна Г.С. поглибила дослідження проблеми, що розглядалась у [16], та вирішила завдання удосконалення роботи прикордонних перевантажувальних станцій (ППС) за рахунок формування автоматизованої інтелектуальної технології управління вагонопотоками. Запропонована у [8]

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 цій роботі не враховано величину можливих фінансових вкладань вантажовласників та залежність роботи моделі від типу вантажу.

З огляду на те, що у перспективі планується обладнувати рефрижераторні вагони розсувними колісними парами, актуальною є робота [10], в якій Іванова Т.В. запропонувала прогресивну технологію роботи перевантажувального комплексу прикордонної станції з переробки швидкопсувних вантажів.

У дослідження аналітичних залежностей різних характеристик моделей обслуговування на прикордонних перевантажувальних станціях внесли свій внесок відомі вчені, такі як В. М. Акулінічев, Н. И. Федотов, А. А. Сметхов, Н. Н. Шабалін, И. Б. Сотників та інші. Білоруські вчені Г.А. Циркунов, І.О. Єловий та В.С. Зайчик у своїх роботах, присвячених розрахункам часових параметрів технологічного процесу роботи прикордонної перевантажувальної станції [18, 19] визначили, що середній час очікування, який приходить на одну вимогу, залежить від:

- коефіцієнта тривалості обслуговування  $v_{\text{обсл}}$  ;
- коефіцієнта варіації інтервалів між моментами надходження вимог у систему  $v_{\text{вх}}$  ;
- завантаження системи  $\rho$  .

В умовах високих завантажень підсилюється взаємодія підсистем станції. Наприклад, затримка перевантаження вантажів з вагонів колії 1435 мм у вагони колії 1520 мм може привести до заповнення колій сортувального парку. Через несвоєчасне звільнення цих колій від вагонів порушується ритмічність роботи гірки, що може привести до зупинки розпуску. Це є вираженням зворотної взаємодії процесів на станції.

Багатофазна система обслуговування складається з окремих підсистем, кожна з яких відповідає визначеній фазі обробки вагонів чи документів. Під фазою розуміється послідовно виконувана чи операція група паралельно виконуваних операцій технологічного процесу і при цьому можливий простій у чеканні їхнього здійснення. Вся робота умовно була поділена на 17 фаз [20]. Але наведена технологія не розглядає можливість зміни візків або роботу коліє перевідного пристрою, а також не враховує відхилення від нормальних умов роботи.

Заслуговує також на увагу задача моделювання технологічного процесу прикордонної перевантажувальної станції (ППС), розглянута Мишком С.І. у [21]. Вона розглядається як багатокритеріальна, так як охоплює державні, галузеві інтереси та інтереси самої станції і очікування клієнтів (вантажовласників та вантажоодержувачів). Реалізація декількох варіантів значень параметрів, що характеризують роботу ППС, дає можливість розглядати декілька сценаріїв її функціонування, і серед них вибрати оптимальний з точки зору можливостей економічної адаптації до сучасного стану економіки. Але у цій роботі розглядається тільки процес перевантажування вагонів.

## **1.2 Причини затримок вагонів на прикордонних станціях**

Аналіз роботи станцій Чоп, Мостиська-II, Ягодин та Вадул-Сирет довів, що на станціях стикування колій різної ширини багато часу витрачається на технологічні операції під час перевантаження вантажів, а також при зміні візків вагонів з колії однієї ширини на іншу. На затримку вагонів суттєво впливають несвоєчасна інформація і порушення встановленого порядку обробки вагонопотоків. Були виділені основні фактори, що впливають на час знаходження вантажних вагонів на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж (рис. 1.4): 1 – несправність засобів механізації та недостатність їх у період максимального надходження вантажів під перевантаження; 2– зайнятість перевантажувальних колій унаслідок



нерівномірного підводу вантажів під перевантаження; 3 – несвоєчасне подавання вагонів на пункти перевантаження та прибирання їх після перевантаження і очікування виконання наступних операцій; 4 – недостача робочої сили; 5 – очікування підведення порожніх вагонів колії іншої ширини; 6 – очікування провідників для супроводу вантажів; 7 – очікування відправлення ізотермічного рухомого складу; 8 – інші причини.

Отримані результати свідчать про те, що основними причинами затримки транзитних вантажів є відсутність дієвої взаємодії на місцевому рівні між митницями, залізницями й декларантами, що приводить до неузгоджених дій по своєчасній подачі вагонів для митного огляду, надання повного пакету необхідних документів для митного оформлення та термінів проведення контрольних процедур, а як наслідок затримок в пунктах пропуску залізничних транспортних засобів, зайвого листування між Держмитслужбою та Укрзалізницею. [21-24].

Основні технічні несправності вантажних вагонів, що прямують у міждержавному сполученні і підлягають усуненню, стосуються візків і колісних пар, амортизаторів, автозчеплень, кузовів, підлог, рам та бортів рухомого складу. У середньому орієнтовна кількість несправних вагонів складає 12% та залишається незмінною [25, 26].

Рис. 1.4 Порівняння факторів, що впливають на простой вантажних вагонів на прикордонних станціях

Незважаючи на всі попередні досягнення країн у спільному процесі перевезення вантажів, в роботі майже кожної прикордонної залізничної станції визначаються такі недоліки, як неправильне оформлення документів, необхідність додаткового митного оформлення, невідповідність даних у товарно-транспортній накладній (ТТН) та вантажній митній декларації

(ВМД), відсутність рахунка-фактури та інші перешкоди при передачі імпортно-експортного вагонопотоку. Майже всі причини затримок вагонів виникають у зв'язку з недосконалою системою передачі поїзної інформації та різницею в оформленні вантажних документів. Причини затримок в Україні носять загальний характер і стають глобальною перешкодою у безперебійному функціонуванні пунктів переходу.

При недостатній взаємодії митних, прикордонних, екологічних, фіто-санітарних, ветеринарних, санітарно-карантинних служб та самих прикордонних станцій з'являються перешкоди, спільні для багатьох пунктів передач, що призводять до виникнення схожих причин затримок вагонів. А саме: затримки вагонів для митного огляду; затримки фітосанітарною, ветеринарною, санітарно-карантинною та прикордонною службами; затримання екологічною службою та службою радіаційного контролю; тимчасова заборона на ввіз-вивіз якогось з вантажів (у вигляді додаткового наказу). Наявність цих перешкод приносить чимало небажаних проблем при достатньо великих обсягах перевезень.

Конкурентоспроможність залізничного транспорту неможлива без зведення до мінімуму затримок вагонів [27, 28]. Завдяки подальшому покращенню технології роботи пунктів перетину кордонів, та удосконаленню функціонування інформаційної підсистеми ППС Україна зможе бути вагомою частиною широкого міжнародного співробітництва.

Дуже велика кількість годин втрачається при перевантаженні вантажів на прикордонних станціях, а також при переході на різні ширини колії. На погіршення технологічного процесу діють також несвоєчасна інформація і порушення встановленого порядку [23].

З аналізованого переліку три причини пов'язані з діями митної служби й у звітності станцій визначені як затримки вагонів для митного огляду, для митного оформлення та затримки за відсутністю електронного повідомлення митниці відправлення. За статистичними спостереженнями 30% всіх затримок вагонів ініціюються митними органами [13].

Контроль за переміщенням товарів між митницями здійснюється відповідно до чинних нормативних актів Департаменту митної служби України. При виявленні мінімально можливого порушення вагон буде затримано митницею до з'ясування. Також слід зауважити, що особливу увагу митні служби приділяють вантажу, перевезення якого здійснюється у піввагонах. Цей рід рухомого складу не може мати відповідних запірнопломбових пристроїв (ЗПП). Саме через полегшений доступ до вантажу з такими вагонами виникає багато проблем та непорозумінь. Наприклад, за статистикою, найбільше претензій, вирішення яких відбувається у суді, виникає стосовно вагонів, завантажених металевим брухтом. Так складається у зв'язку із важкістю простеження збереженості цього вантажу на шляху прямування [13].

На розглянутих прикордонній станції в порівнянні зі звичайними вантажними виконується значна кількість додаткових технічних і вантажних операцій, більшість з яких мають значну тривалість. Аналіз їх роботи і показує наступне:

1) тривалість обробки вагонів на прикордонних перевантажувальних станціях у 1,5-1,6 рази більше в порівнянні зі звичайними вантажними станціями, що порозумівається специфікою перевезень вантажів у міжнародних повідомленнях, а саме:

- виконанням прийомо-здавальних операцій з вантажами і перевізними засобами;
- більш тривалим здійсненням перевантажувальних операцій;
- простоем навантажених вагонів колії 1435 мм у очікуванні підведення і подачі порожніх вагонів колії 1520 мм і навпаки;
- перебуванням навантажених вагонів у очікуванні операцій, зв'язаних з розробкою креслень на негабаритні вантажі і їхню обробку;

2) найбільш тривалими операціями є:

- обробка складів по прибуттю і відправленню;
- вантажні операції;

- очікування подачі вагонів на пункт перевантаження;
- простої вагонів колії 1435 мм у очікуванні подачі порожніх вагонів колії 1520 мм і навпаки;
- обробка вагонів з негабаритними вантажами;
- нагромадження складу;
- очікування відправлення складу.

При прийомі завантаженого поїзда колії 1435 мм із-за кордону в переробку і відправку на ділянку перевантаження згідно з Технологічною картою на станції виконується обробка вагонів та документів. Загальний нормативний час від моменту прибуття поїзда та прийому перевізних документів від поїзної бригади до закінчення операцій по відправленню на пункт перевантаження вагонів після розформування становить 8.25 год.

На рис. 1.5 приведено діаграму відсоткового співвідношення тривалості виконання основних операцій. В таблиці 1.2 наведено пояснення до позначень на рис. 1.5, що до операцій, які виконуються на прикордонній станції.

Рис. 1.5 Діаграма відсоткового співвідношення тривалості виконання основних операцій з вагонами та документами із загального часу обробки

Як видно з рис. 1.5, більша частина часу із загальної тривалості обробки поїзду приходить на обробку перевізних документів в товарній конторі, декларування в ЄвроТЕВ та прикордонно-митний контроль. Таким чином, на загальну тривалість технологічних процесів на прикордонній станції (без врахування будь-яких операцій зміни ширини колії) істотний вплив здійснює підсистема обробки документів.

У загальному простої вагонів на прикордонних перевантажувальних станціях технологічні операції займають 36 %, а інший час приходиться на міжопераційні простої:

- очікування виконання чергової операції – 31 %;
- очікування порожніх вагонів іншої колії – 20 %;
- очікування робочої сили для виконання вантажних операцій – 13 %.

Таблиця 1.2

Категорія	Перелік операцій	Тривалість, хв
1	Операції по прибуттю та відправленню	10
2	Технічний огляд по прибуттю та відправленню	60
3	Списування составу по прибуттю та відправленню	60
4	Попередній документальний контроль прикордонно-миною службою	30
5	Приймання поїзда в комерційному відношенні та до оформлення передатної відомості	120
6	Обробка документів екологічною, карантинною та ветеринарною інспекціями	85
7	Обробка документів в Товарній конторі	310
8	Обробка документів в ЄвроТЕВ та митниці	270
9	Складання сортувального листа	30
10	Розформування та підформування составу по відправленню	55
11	Сортування та підбір документів на состав передаточного поїзда	60
12	Заїзд та причепка локомотива, проба автогальм та передача документів на локомотив	35

При недостатній взаємодії митних, прикордонних, екологічних, фіто-санітарних, ветеринарних, санітарно-карантинних служб та самих прикордонних станцій з'являються перешкоди, спільні для багатьох пунктів передач, що призводять до виникнення схожих причин затримок вагонів. А саме: затримки вагонів для митного огляду; затримки фітосанітарною,

ветеринарною, санітарно-карантинною та прикордонною службами; затримання екологічною службою та службою радіаційного контролю; тимчасова заборона на ввіз-вивіз якогось з вантажів (у вигляді додаткового наказу).

Наявність цих перешкод приносить чимало небажаних проблем при достатньо великих обсягах перевезень. Отже, можна виділити основні причини, що викликають збої в роботі станції перевантаження [25]:

1) недостатньо чітка взаємодія між станційними процесами і графіком руху потягів, що приводить до тривалого простою вагонів у чеканні виконання наступних операцій;

2) неузгоджене підведення навантажених і порожніх вагонів по обох коліях на перевантажувальні пункти, що викликає непродуктивний простій вагонів у чеканні перевантаження (особливо при недостатній складській площі чи при її відсутності);

3) сезонна нерівномірність, що приводить до відхилення від середньодобових обсягів роботи;

4) недостатній колійний розвиток станції, що не дозволяє робити потокову обробку вагонів, а також наявність глухих схрещень колії 1520 мм із колією 1435 мм, що знижують маневреність станції.

У цих умовах особливу актуальність здобувають питання визначення взаємоув'язки основних технологічних параметрів станційних процесів з вагонами колії 1520 і 1435 мм, а також комерційними операціями, виконуваними відповідними підрозділами [18].

Таким чином, виникає завдання вибору раціональної технології роботи прикордонних станцій з передавання вагонів з колії ширини 1435 мм на колію ширини 1520 мм та у зворотному напрямку, яка потребує наукового обґрунтування процесу обслуговування вагонопотоків шляхом визначення оптимального терміну знаходження вагонів на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж та витрат грошових ресурсів у логістичному ланцюгу доставки вантажів міжнародного призначення.

## Висновки до 1 розділу

В ході огляду було проаналізовано матеріальні та інформаційні потоки на станціях стикування колій різної ширини, а також виконано оцінку техніко-експлуатаційних показників їх роботи, що дозволило визначити можливі шляхи підвищення ефективності функціонування цих станцій. Встановлено, що існуюча технологія передачі вагонопотоків між суміжними країнами є недосконалою, а інформаційна база не відповідає сучасним потребам перевізників у швидкості та якості доставки вантажів.

В результаті огляду визначено основні фактори, які негативно впливають на грошові та часові параметри логістичного ланцюга доставки вантажів міжнародного призначення. Серед них – несвоєчасне подавання вагонів на пункти перевантаження, нерівномірне надходження вагонопотоків, несправність засобів механізації та недостатність їх у період максимального надходження вагонопотоків, несвоєчасна інформація і порушення встановленого порядку тощо.

## **2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ НА СТАНЦІЯХ, ЩО РОЗТАШОВАНІ МІЖ РІЗНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ НАПРЯМКАМИ**

### **2.1 Особливості передавання вантажних вагонів між різними залізничними мережами**

Для вирішення завдання формування математичної моделі процесів декомпозиції вхідного потоку вагонів на станціях стикування колій різної ширини, яка б дозволяла визначати вартісні та часові параметри та дала можливість запроваджувати логістичні технології обслуговування вагонопотоків, засновані на узгодженості використання наявних матеріальних та грошових ресурсів, проаналізуємо існуючі технології передавання вагонопотоків з колії однієї ширини на колію іншої ширини.

Для подальшого дослідження прийняті наступні способи обслуговування вагонопотоків на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж: перевантаження вантажів у парку перевантаження (ППер), зміна візків вагонів у пункті перестановки візків (ППВ) та зміна відстані між гребенями коліс за допомогою колісперевідного пристрою SUW-2000 у пункті розсування колісних пар (ПРКП). Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки.

Основним у сучасних умовах є спосіб перевантаження вантажів з вагонів однієї колії у вагони іншої колії. Його головною перевагою є зменшення плати за вагони іноземних доріг, що знаходяться на українських залізницях. До недоліків можна віднести збільшення простою вагонів під вантажними операціями, необхідність у наявності комплексу складів і вантажно-розвантажувальних механізмів, необхідність у кріпленні вантажів, що перевозяться на відкритому рухомому складі.

Виконання ряду операцій за цією технологією накладає особливі специфічні вимоги як на технічні пристрої перевантажувальної станції, так і на характер її роботи:



1) перевантаження вантажів виконується в більшості випадків безпосередньо з вагона однієї колії у вагон іншої колії і вимагає:

- суворо узгодження підходу навантажених і порожніх вагонів по обох коліях з метою скорочення простою вагонів у очікуванні;

- спеціального підбору вагонів різної ширини колії в групи рівної вантажопідйомності та по родах вантажів;

2) колієвий розвиток складається з двох комплектів – колій і парків колій шириною 1435 мм і 1520 мм;

3) пункти перевантаження спеціалізуються за родами вантажів і вагонів і обладнуються засобами механізації і коліями для вагонів різної ширини колій;

4) на прикордонних станціях колії 1520 мм перетинаються із коліями шириною колії 1435 мм в одному рівні, що утворює глухі схрещення, а це значно збільшує ворожість при маневрових пересуваннях і ускладнює маневрову роботу.

Для деяких видів вагонів застосовується спосіб зміни візків (колісних пар) у вагонів, що мають передаватися на колію іншої ширини. Його переваги: відпадає необхідність у перевантаженні вантажів, а отже, і в наявності великих комплексів складів і вантажно-розвантажувальних машин; зменшується робота з кріплення вантажів на рухомому складі. Недоліки: необхідна наявність спеціальних пристроїв для перестановки колісних пар; потрібно мати парк змінних візків вагонів.

Перспективним є безпосереднє переміщення вагонів через спеціальний колієвий стенд для розсунення колісних пар. У цьому випадку вагони повинні бути обладнані спеціальними розсувними колісними парами. Даний спосіб має наступні переваги: відпадає необхідність у перевантаженні вантажів, а отже, і в наявності великих комплексів складів і вантажно-розвантажувальних машин; зменшується обсяг маневрової роботи; скорочується простій вагонів на станції; зменшується робота з кріплення вантажів на рухомому складі. До недоліків можна віднести: збільшення маси

тари вагона, що приводить до зниження корисного навантаження на вісь; необхідність у спорудженні спеціальних стендів для розсунення колісних пар; у зв'язку з ускладненням конструкції колісної пари збільшується імовірність її поломки, що може привести до створення аварійної ситуації.

Ураховуючи особливості функціонування прикордонних перевантажувальних станцій, необхідно зазначити, що для виконання перерахованих вище операцій, а також операцій з передавання рухомого складу, виконання митного, прикордонного оглядів та ін., ці станції повинні мати відповідні пункти, службово-технічні будинки й інші пристрої.

Таким чином, можна скласти принципову схему станції, де передбачено розміщення ППВ (пункту перестановки візків), ПРКП (пункту розсування колісних пар) та ППер (парку перевантаження) (див. рис. 2.1.).

Дана станція є лише окремою ланкою логістичної системи (ЛС) доставки вантажів міжнародного призначення, що показана у спрощеному вигляді на рис. 2.2. Для даної логістичної системи термін доставки  $T_d$  визначається наступним чином:

$$T_d = \sum_1^k t_3 + \sum_1^m t'_T + \sum_1^l t_{\text{Відп}} + \sum_1^p t_{1520} + \sum_1^s t_{\text{пер}} + \sum_1^c t_{1435} + \sum_1^x t_{\text{призн}} + \sum_1^g t''_T + \sum_1^z t_{\text{п}}, \quad (2.1)$$

де  $\sum_1^k t_3$ ,  $\sum_1^z t_{\text{п}}$  – сума простоїв продукції у пунктах зародження та погашення вантажопотоків;

$\sum_1^m t'_T$ ,  $\sum_1^g t''_T$  – сумарний час доставки вантажу від складу вантажовідправника до станції призначення та від станції призначення до

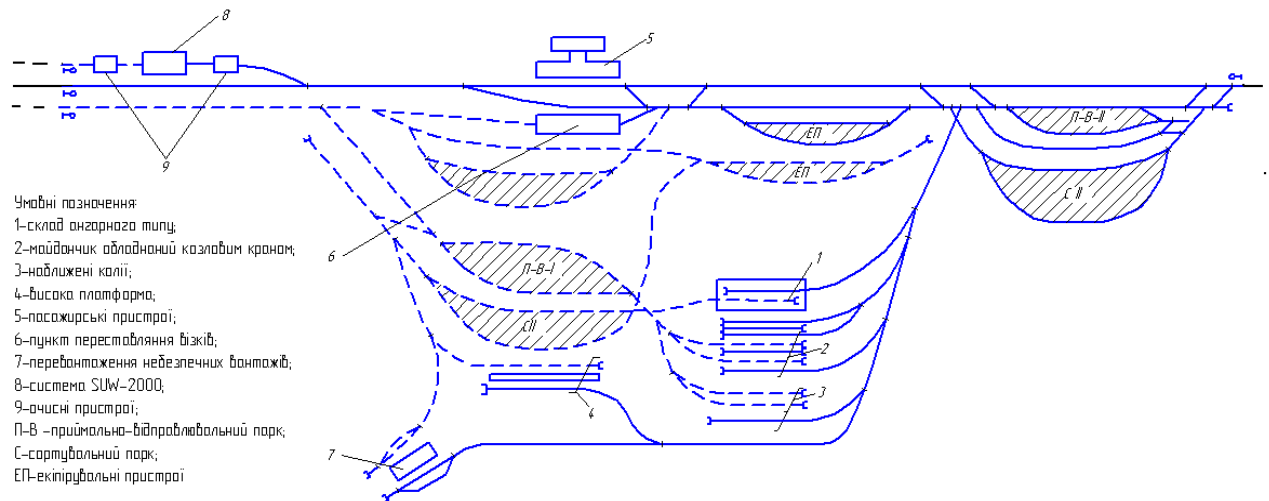


Рис. 2.1. Принципова схема станції стикування колій різної ширини

Рис. 2.2. Спрощена схема доставки вантажів міжнародного призначення до складу вантажоодержувача

$$\sum_1^l t_{\text{відпр}}, \sum_1^s t_{\text{пер}}, \sum_1^x t_{\text{призн}} - \text{сумарний час знаходження вантажу на станціях}$$

відправлення, перевантаження та призначення;

$$\sum_1^p t_{1520}, \sum_1^c t_{1435} - \text{сумарний час транспортування вантажів у вагонах}$$

широкої та вузької колії відповідно.

Оскільки термін доставки вантажів визначається як сума часових характеристик усіх ланок логістичного ланцюжка [12], то буде доцільним проаналізувати час знаходження вантажних вагонів на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж з метою визначення основних критеріїв, що впливають на цей час.

Станції стикування колій різної ширини необхідно розглядати як вагому ланку у ланцюжку доставки вантажів міжнародного призначення від відправника до одержувача [12], яка визначає часову складову усієї ЛС.

Варто також звернути увагу на той факт, що іноді вантажі перевантажуються не за прямим варіантом, з одного вагону в інший, а

затримуються на певний час на складі. Причини можуть бути різними (відсутність порожніх вагонів під перевантаження, комерційний брак, відсутність документів або неправильне їх оформлення, затримка за підсумками митних операцій тощо), але усі вони негативно впливають на логістичний ланцюжок в цілому, збільшуючи час знаходження вантажу на прикордонній станції.

Якщо припустити, що у складі поїзда знаходяться вагони, які підлягають обробці згідно означених технологій, то схема розгалуження часових елементів логістичного ланцюжка доставки вантажів міжнародного призначення при їх обробці на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж буде мати наступний вигляд (рис. 2.3).

Дана схема розроблена для випадку, коли вантажі прибувають на станцію у вагонах колії 1435 мм, а відправляються у вагонах колії 1520 мм.

Рис. 2.3 Схема розгалуження часових елементів логістичного ланцюжка доставки вантажів міжнародного призначення при їх обробці на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж

Згідно даної схеми сумарний час знаходження вантажних вагонів на станції стикування колій різної ширини складатиметься з наступних елементів:

$$\sum_1^s t_{\text{станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж}} = \sum_1^a t_{\text{пп}} + \sum_1^b t_{\text{сп}} + \alpha \sum_1^f t_{\text{ппв}} +$$

$$\beta \sum_1^q t_{\text{ркп}} + \gamma [\eta \sum_1^r t'_{\text{пер}} +$$

$$+ \varphi (\sum_1^e t''_{\text{пер}} + \sum_1^u t_{\text{скл}} + \sum_1^y t_{\text{нав}})] + \sum_1^d t_{\text{пв}}, \quad (2.2)$$

де  $\sum_1^a t_{\text{пп}}$  – сумарний час знаходження вагонів з вантажем у парку приймання;

$\sum_1^b t_{сп}$  – сумарний час знаходження вагонів з вантажем у сортувальному парку;  
 $\sum_1^d t_{пв}$  – сумарний час знаходження вагонів з вантажем у парку відправлення;  
 $\sum_1^f t_{ппв}$  – сумарний час знаходження вагонів з вантажем у ППВ;  
 $\sum_1^g t_{ркп}$  – у сумарний час знаходження вагонів з вантажем ПРКП;  
 $\sum_1^r t'_{пер}, \sum_1^e t''_{пер}$  – сумарний час перевантаження вантажів відповідно у вагони іншої колії або на склад;  
 $\sum_1^u t_{скл}$  – сумарний час знаходження вантажу на складі;  
 $\sum_1^y t_{нав}$  – сумарний час перевантаження вантажу із складу у вагони.

Кожен состав пропонується розглядати як сукупність вагонів трьох типів:

- вагони, у яких виконується заміна візків колії 1435 мм на візки колії 1520 мм (їх частка складає  $\alpha$ );
- вагони з розсувними колісними парами ( $\beta$ );
- вагони, з яких вантажі перевантажуються у вагони колії іншої ширини на тих чи інших фронтах в залежності від роду вантажів ( $\gamma$ ).

У свою чергу, вагони, що потрапляють на перевантажувальні fronti, поділяються на ті, які перевантажуються за прямим варіантом (з вагону у вагон) та ті, що деякий час зберігаються на складі. Частки таких вагонів складатимуть відповідно  $\eta$  та  $\varphi$ . Для часток вагонів будуть справедливими наступні припущення:

$$0 \leq \alpha \leq 1; 0 \leq \beta \leq 1; 0 \leq \gamma \leq 1;$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1; 0 \leq \eta \leq 1; 0 \leq \varphi \leq 1; \eta + \varphi = 1.$$

У рівнянні (2.2) літерами  $a, b, f, q, r, e, u, y, d$  позначена кількість окремих операцій, за якими розраховуються витрати часу для відповідних елементів технології обробки вантажних вагонів на станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж.

Так, наприклад,  $\sum_1^a t_{\text{пп}}$  складається з операцій підготовки маршруту приймання, виходу відповідних працівників на колію приймання, закріплення составу, відчеплення поїзного локомотиву та причіпки маневрового, обробки документів у СТЦ, технічного та комерційного огляду составу, митних операцій, операцій по здійсненню прикордонного, карантинного, ветеринарного, екологічного та інших видів державного контролю згідно прийнятої технології, розпуску составу по сортувальних коліях згідно сортувального аркуша тощо.  $\sum_1^f t_{\text{ппв}}$  залежить від технології роботи ППВ, кількості колій перестановки, оснащеності спеціальними технічними засобами та їх продуктивності, ступеню автоматизації процесу перестановки і т.д. Він складається з операцій, що передбачені Технологічним процесом його роботи, так само, як і наступний елемент  $\sum_1^q t_{\text{ркп}}$ , що залежить від потужності технічних засобів та пропускної здатності ПРКП. Такі ланки логістичного ланцюжка, як  $\sum_1^r t'_{\text{пер}}$ ,  $\sum_1^e t''_{\text{пер}}$ ,  $\sum_1^y t_{\text{нав}}$  складаються з комплексу операцій, що виконуються під час перевантаження вантажу з вагону у вагон, з вагону на склад або зі складу у вагон. Вони залежать від типу, кількості та продуктивності НРМ, типу та обсягів вантажів, що перевантажуються, типу складів та рухомого складу, чисельності штату причетних робітників, прийнятої технології та ін. Складові цього елемента поділяються на основні (пересування вантажу, штабелювання і т. д.) та додаткові (стропування, розстановка у вагоні тощо).  $\sum_1^u t_{\text{скл}}$  залежить від типу вантажу, умов зберігання, а також причин, які

викликали складування і складається з операцій, пов'язаних із забезпеченням збереженості вантажу. Такий елемент, як  $\sum_1^b t_{сп}$  характеризується витратами часу на насув та розпуск состава, ліквідацію “вікон”, осаджування, виконання маневрових рейсів з перестановки на перевантажувальні фронти тощо та залежить від швидкості виконання цих процесів, кількості відчепів у составі, кількості сортувальних колій, довжини маневрових рейсів та маневрових валок, кількості маневрових локомотивів, технології виконання робіт і т.д. Елемент  $\sum_1^d t_{пв}$  враховує витрати часу на підформування составу згідно плану формування та вимог Правил технічної експлуатації, проведення технічного, комерційного та прикордонного огляду, виконання митних операцій, огляду представниками сусідньої держави, проведення різних видів державного контролю згідно прийнятої технології та чинної документації, операцій з документами, заміни маневрового локомотиву на поїзний, приготування маршруту відправлення тощо.

У формулу (2.2) як окремі елементи можуть входити витрати часу на маневрові пересування між станційними пристроями. Вони залежать від типу маневрового локомотиву, кількості вагонів у маневровому составі, довжини рейсів та напіврейсів, швидкості руху тощо та обумовлюються конкретними місцевими умовами. Кожен з елементів логістичного ланцюжка може також мати часові витрати на міжопераційні простої, які витікають з прийнятої технології роботи станції.

## **2.2 Моделювання процесів на станціях, розташованих між залізничними мережами**

### ***Математична модель процесів декомпозиції вхідного потоку вагонів***

З метою складання моделі декомпозиції вхідного потоку вагонів та розрахунку основних характеристик математичної моделі функціонування прикордонних станцій було проаналізовано полігон залізниці Л..

Враховуючи невизначеність кількості вагонів у поїзді та його структури, при моделюванні використано методи випадкових процесів [8, 13].

Дослідження технологій пропуску вагонопотоків через станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж довели, що зустрічаються нормальний, показовий закони, закон Ерланга й інші закони розподілу, що показують зміну частоти надходження вимог в одиницю часу чи величини інтервалів [3]. Із системи звичайних диференціальних рівнянь Колмогорова [23, 24, 27, 28] визначено таку характеристику вхідного потоку, як  $p_k(\tau, t)$  – імовірність того, що на інтервалі часу  $[t, t + \tau]$  прибуде  $k$  поїздів з інтенсивністю надходження потоку поїздів  $\lambda$ :

$$p_k(\tau, t) = \frac{(\Lambda(\tau, t))^k}{k!} \cdot e^{-\Lambda(\tau, t)}, \quad k \geq 0, \quad (2.3)$$

де

$$\Lambda(\tau, t) = \int_0^{\tau} \lambda(t + x) dx.$$

У більшості випадків потоки поїздів можна описувати за допомогою розподілу Ерланга. Якщо інтенсивність потоку поїздів дорівнює  $\lambda$ , тоді можна визначати середній інтервал між потягами  $\bar{t}$ , коефіцієнт варіації, щільність розподілу ймовірностей, дисперсію.

При дослідженні числа вагонів у поїзді з метою визначення часток  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  у його складі було проаналізовано структуру і параметри вхідного вагонопотоку та доведено, що вони підпорядковуються закону Бернуллі.

Як математичну модель числа вагонів у поїзді розглянуто випадкову величину, що має усічений розподіл Бернуллі:

$$P(N = n) = C_{\bar{N}-n}^{n-\underline{N}} \cdot p^{n-\underline{N}} \cdot (1-p)^{\bar{N}-n}, \quad (2.4)$$

де  $n = \underline{N}, \underline{N} + 1, \underline{N} + 2, \dots, \bar{N}$ .



Середнє число вагонів у поїзді в силу розподілу буде дорівнювати

$$N_{cp} = \underline{N} + (\bar{N} - \underline{N}) \cdot p . \quad (2.5)$$

Таким чином, імовірнісне визначення вагопотоків має наступний вигляд: для вагонів, які обслуговуються за технологією зміни візків колії 1520 мм на візки колії 1435 мм, середнє число вагонів, що надійшли за проміжок  $(t, t + \tau)$ , буде дорівнювати  $\Lambda^1(\tau, t) = \alpha \cdot N_{cp} \cdot \Lambda(\tau, t)$ , для вагонів з розсувними колісними парами –  $\Lambda^2(\tau, t) = \beta \cdot N_{cp} \cdot \Lambda(\tau, t)$ , а для тих вагонів, що підлягають перевантажуванню –  $\Lambda^3(\tau, t) = \gamma \cdot N_{cp} \cdot \Lambda(\tau, t)$ .

Імовірності надано в наступному вигляді:

$$p_k^i(\tau, t) = \frac{(\Lambda_i(\tau, t))^k}{k!} \cdot e^{-\Lambda_i(\tau, t)}, \quad k \geq 0, \quad i=1,2,3. \quad (2.6)$$

Наведені формули цілком описують нестационарні потоки вагонів. Параметри  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  розглядаються як керуючі параметри, що дозволяють оцінити роботу ППВ, ПРКП та ППер.

У ході досліджень виявлено, що закон розподілення прибуття поїздів є пуасонівським, а інтервали між прибулими вагонами, що надходять у ППВ, ПРКП або ППер мають показовий розподіл. На величину коефіцієнта варіації зайняття сортувальних колій передачами, що накопичуються на адресу ППВ ПРКП та ППер, найбільш впливає завантаження системи розформування, а також коефіцієнти варіації інтервалів між моментами завершення накопичення передач. Черговість розформування поїздів пропонується обирати згідно [14].

***Математична модель обробки вантажних вагонів при  
інтероперабельності вагонопотоків між залізничними мережами***

Дослідженню потоку поїздів присвячено досить багато публікацій. Наприклад, у роботах [3, 17] особлива увага приділяється моделюванню потоку поїздів, як випадкового потоку з розподілом інтервалів часу між ними за законом Ерланга з диференціальною функцією розподілу

$$f(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t},$$

де  $\lambda$  та  $k$  - параметри розподілу.

Відзначимо, що при  $k=1$  розподіл Ерланга переходить в експонентний, а при  $k > 9$  наближається до нормального. Якщо  $k \rightarrow \infty$ , то одержимо регулярний потік [15, 18].

Окремі технічні пристрої станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж (сортувальна гірка або витяжна колія, пункт перевантаження, пункт перестановки візків, пристрій SUW-2000) розглядаються як одноканальна система масового обслуговування (СМО) з ерланговським вхідним потоком і часом обслуговування, розподіленим по експонентному закону з інтенсивністю обслуговування  $\mu$ , для якої необхідно розрахувати сталий режим і визначити раціональні параметри з позиції мінімізації втрат від простою СМО і перебування вагонів у черзі на обслуговування [3, 12].

Пропонується наступний спосіб виконання розрахунків. Спочатку розглядається потік Ерланга з  $k = 3$ , що відповідає натурним спостереженням по станції Чоп, а далі – з довільним  $k$ . Для випадку  $k = 3$  модель процесу обслуговування вагонопотоків на технічних пристроях станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж представлена у вигляді графу можливих станів та переходів СМО (рис. 2.4), які позначені наступними цифрами: 0 - поїзд, що прибуває; 1 - приймально-відправний парк; 2 -

сортувальна гірка (витяжна колія); 3 - фронти передавання вагонопотоків на іншу колію (ППер, ППВ, ПРКП); 4 – виставочні колії; 5 - парк відправлення; 6 - поїзд, що відправляється.

Рис. 2.4 Модель процесу обслуговування вагонопотоків на технічних пристроях станції, що розташовані на межі різних залізничних мереж

На рис. 2.4 кружками позначені стани найпростішого потоку, а квадратики відбивають стани СМО.

Якщо кількість вагонів у СМО буде  $m$ , то диференціальні рівняння для ймовірностей станів системи можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= -\lambda P_0 + \mu P_k ; \\ \frac{dP_m}{dt} &= -\lambda P_m + \lambda P_{m-1} + \mu P_{m+k}, m < k ; \\ \frac{dP_m}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_m + \lambda P_{m-1} + \mu P_{m+k}, m \geq k . \end{aligned} \quad (2.7)$$

Сталий режим визначиться наступною системою алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -\lambda P_0 + \mu P_3 \\ 0 = -\lambda P_1 + \lambda P_0 + \mu P_4 \\ 0 = -\lambda P_2 + \lambda P_1 + \mu P_5 \\ *0 = (-\lambda + \mu)P_3 + \lambda P_2 + \mu P_6 \\ *0 = (-\lambda + \mu)P_4 + \lambda P_5 + \mu P_7 \\ *0 = (-\lambda + \mu)P_5 + \lambda P_4 + \mu P_8 \\ *0 = (-\lambda + \mu)P_6 + \lambda P_3 + \mu P_9 \end{array} \right\} , \quad (2.8)$$

до якої необхідно додати початкову умову

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = 1 . \quad (2.9)$$

Рішення системи, складеної з рівнянь, позначених (\*), будемо шукати у вигляді  $P_v = y^v$ , де довільне рівняння може бути представлене в такий спосіб:

$$-(\lambda + \mu)P_n + \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+k} = 0. \quad (2.10)$$

Після підстановки  $P_v = y^v$  в (2.10) одержимо

$$-(\lambda + \mu)y^n + \lambda y^{n-1} + \mu y^{n+k} = 0.$$

Поділивши рівняння на  $y^{n-1}$  і поклавши при цьому  $r = \lambda / \mu$ , одержимо,

$$-(r+1)y + r + y^{k+1} = 0.$$

З огляду на те, що  $k = 3$ , приходимо до рівняння

$$y^4 - (r+1)y + r = 0 \quad . \quad (2.11)$$

Легко переконатися, що  $y = 1$  є рішенням рівняння (2.11), отже, його можна представити у вигляді

$$(y-1)(y + y^2 + y^3 - r) = 0,$$

а тому, що значення  $y = 1$  не можна взяти для визначення  $P_v$  в силу умови (2.9), то з необхідністю приходимо до рішення рівняння

$$y + y^2 + y^3 = r \quad .$$

Для довільного  $k$  маємо:

$$\sum_{v=1}^{k-1} y^v = r \quad .$$

Дане рівняння при  $r < k$  має єдиний позитивний корінь, менший 1.

У загальному випадку при  $v > k$  імовірності  $P_v$  можуть розраховуватися за формулою

$$P_v = cy^v. \quad (2.12)$$

Постійний множник  $c$  в цьому випадку визначається з першого рівняння системи (2.8):

$$-rP_0 + cy^3 = 0,$$

або в загальному випадку:

$$-rP_0 + cy^k = 0,$$

звідки

$$c = \frac{r}{y^k} P_0,$$

що дозволяє представити довільне  $P_n$  через  $P_0$  у вигляді

$$P_n = rP_0 y^{n-k}, \quad n \geq k.$$

Значення  $P_0$  визначимо з умови (2.9) з урахуванням того, що

$$P_v = \frac{P_0(1 - y^{v+1})}{1 - y} \quad \text{при } v = 1, 2, \dots, k - 1,$$

де  $P_v$  - рішення системи рівнянь (2.8), не позначених зірочкою.

Умову (2.9) через  $P_n$  представимо у вигляді:

$$P_0 + \sum_{v=1}^{k-1} P_v + \sum_{n=k}^{\infty} P_n = 1 \quad ,$$

або

$$P_0 + \frac{P_0}{1-y} \sum_{v=1}^{k-1} (1-y^{v+1}) + rP_0 \sum_{n=k}^{\infty} y^{n-k} = 1 \quad ,$$

звідкіля

$$P_0 = \frac{1-y}{k-y - \frac{y^2 - y^{k+1}}{1-y}} \quad . \quad (2.13)$$

У виразі (2.13) у є рішенням рівняння

$$y + y^2 + \dots + y^{k-1} = r \quad .$$

Для рішення даного рівняння скористаємося пакетом символьних обчислень [21]. Розглянемо приклад, коли  $k = 3, r = 3.5, y = 0.883379$ . Покладемо:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_0 &= P_0 + P_1 + \dots + P_{k-1} \\ \mathcal{G}_1 &= P_k + P_{k+1} + \dots + P_{2k-1} \\ &\dots \\ \mathcal{G}_m &= P_{m \cdot k} + P_{m \cdot k + 1} + \dots + P_{(m+1)k-1} \end{aligned}$$

В цьому випадку середня кількість вагонів у СМО дорівнюватиме:

$$\bar{m} = \sum_{m=0}^{\infty} m \mathcal{G}_m = \sum_{m=0}^{\infty} m \cdot \sum_{v=0}^{k-1} P_{mk+v} \quad .$$

Після елементарних перетворень отримаємо:

$$\bar{m} = \frac{rP_0}{(1-y^k)(1-y)} \quad . \quad (2.14)$$

Витрати від простою СМО та перебування вагонів у СМО розраховуються за формулою

$$Z = snP_o + c\bar{m}, \quad (2.15)$$

де  $c$  – відношення вартості вагоно-години до СМО-години, грн./ваг.;

$sn$  – вартість СМО, розрахованої на обслуговування  $n$  вагонів за одиницю часу, грн./СМО-годину;

$P_o$  – імовірність того, що СМО вільна;

$\bar{m}$  – середня кількість вагонів у СМО.

Залежність функції витрат  $Z$  від завантаженості системи, що характеризується параметром  $r$ , при  $k=3$  та трьох значеннях  $c$  ( $c_1=0,14$ ;  $c_2=0,09$ ;  $c_3=0,04$ ), наведена на рис. 2.5.

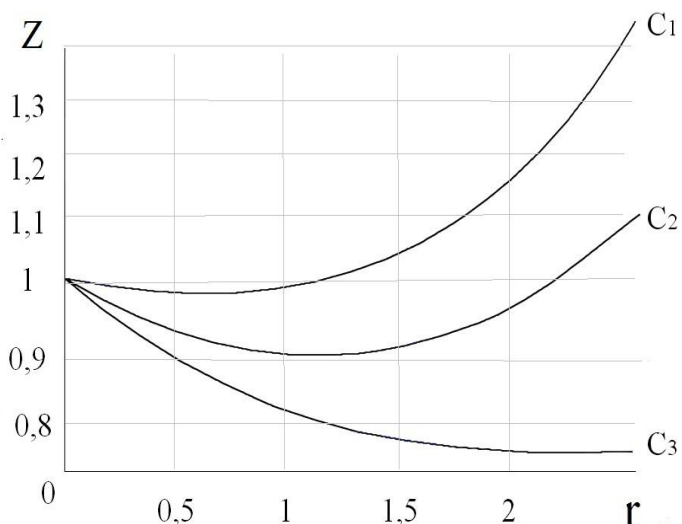


Рис. 2.5 Залежність функції витрат  $Z$  від параметра завантаженості системи  $r$

Як видно з рисунка 2.5, при фіксованих значеннях  $k$  та  $c$  функція  $Z(r)$  має мінімум.

На рис. 2.6 представлена залежність параметру  $r$  як функції  $c$ , при якому  $Z$  приймає мінімальне значення.

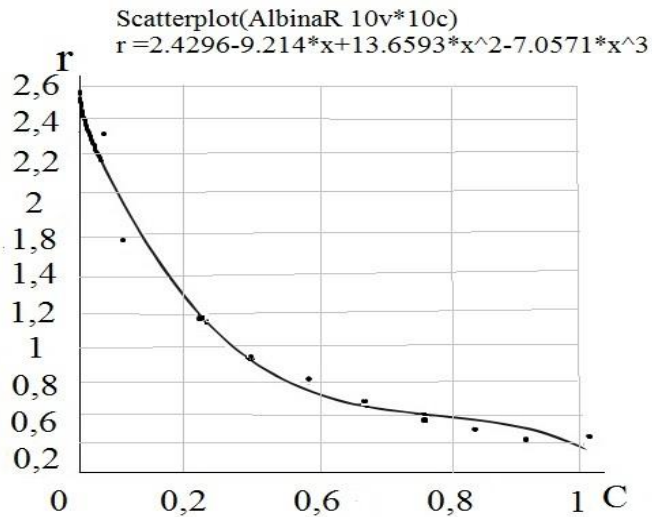


Рис. 2.6 Залежність параметра завантаженості  $r(c)$ , при якому реалізується  $\min Z(r)$

На рис. 2.7 представлена залежність мінімальних витрат як функція від параметру  $c$ .

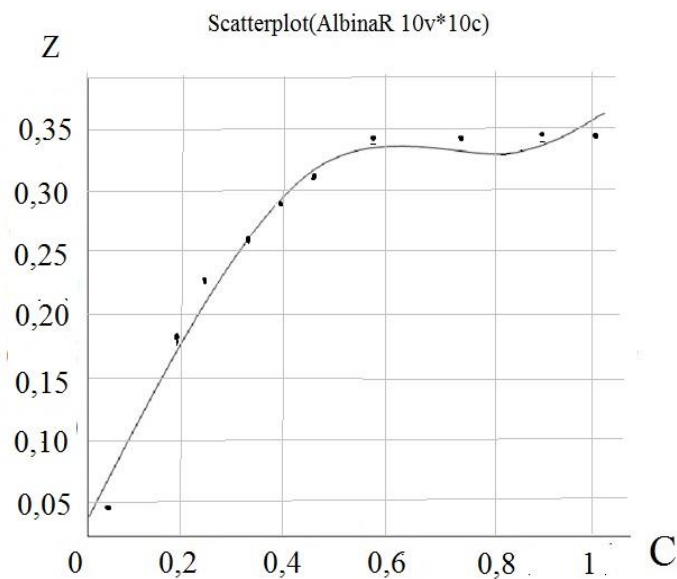


Рис. 2.7 Залежність мінімальних витрат  $Z$  від відношення вартості вагону-години до СМО-години  $c$

З достатнім ступенем вірогідності дана залежність може бути описана поліномом третього ступеню [10, 12]:



$$\min Z(r,c) = 0,0626 + 1,1217 c - 1,6892 c^2 + 0,8683 c^3,$$

а значення параметру  $r(c)$ , при якому  $Z$  має найменше значення, дорівнює

$$r(c) = 2,4296 - 9,214 c + 13,6593 c^2 - 7,0571 c^3.$$

Для побудови аналогічних залежностей (рис. 2.6 та 2.7) при довільному  $k$  пропонується програма на мові Maple 8 [21, 22].

### 2.3 Визначення параметрів обслуговування вантажних вагонів на станціях, розташованих між різними залізничними мережами

Запропонована програма дозволяє будувати криві  $r(c)$ ,  $\min Z = f(c)$  при заданому параметрі  $k$  (рис. 2.8).

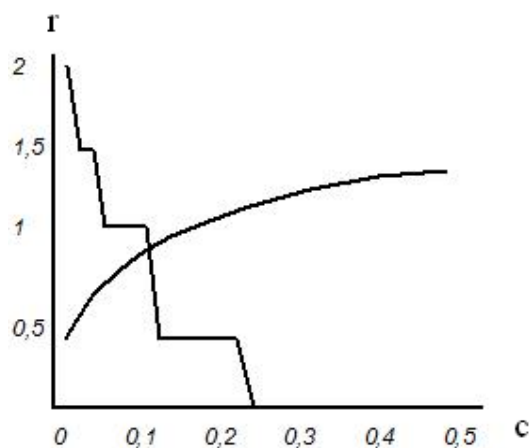


Рис. 2.8 Спадаюча крива  $r(c)$ ; зростаюча крива  $\min Z$

Помітимо, що поява сходинок у кривій  $r(c)$  обумовлена кінцівкою кроку при визначенні мінімуму  $Z(r,c)$  по  $r$ . Таким чином, якщо задані параметри потоку  $(\lambda, k)$  і відношення вартостей простою вагонів до вартості простою СМО, то дана процедура дозволяє визначити раціональне значення

параметра  $r(c, k)$ , а тим самим і властивість СМО з обробки, тобто середній час обробки вагона можна представити як

$$\frac{1}{\mu} = \frac{r(c, k)}{\lambda}. \quad (2.16)$$

Розглянемо роботу колієперевідного пристрою SUW-2000 по зміні відстані між гребенями коліс вагонів із розсувними колісними парами [11]. Обслуговування вагонопотоків у цьому випадку полягає у проходженні поїзда по даному пристрою зі швидкістю  $\vartheta$ . Якщо середня довжина поїзда дорівнює  $L$ , то середній час обслуговування буде дорівнювати

$$\frac{1}{\mu} = \frac{L+l}{\vartheta}, \quad (2.17)$$

де  $l$  - довжина пристрою SUW-2000 з урахуванням прилеглих ділянок, на якій швидкість поїзда змінюється від встановленої до тієї, з якою він прямує по SUW-2000. З іншого боку, цей час повинен задовольняти співвідношенню

$$\frac{L+l}{\vartheta} = \frac{r(c, k)}{\lambda},$$

звідкіля можна визначити раціональну швидкість руху поїзда по пристрою SUW-2000 у вигляді

$$\vartheta = \frac{(L+l)\lambda}{r(c, k)}. \quad (2.18)$$

При відношенні вартості простою пристрою SUW-2000 до вартості простою поїзда в черзі  $c=0,04$  і параметрах потоку поїздів  $\lambda= 7,54$  ;  $k = 3$  (взятих із графіка на рис. 2.8), одержимо  $r(c, k)= 1,51$ . Поклавши  $L=1,2$  км,  $l=100+27,1=127,1$  м, визначимо:

$$g = \frac{(1.2 + 0.1271) \cdot 7.54}{1.51} = 6.63 \text{ км / год}$$

При цьому середній час обслуговування поїзда складе 12 хвилин.

Запропонований підхід дозволить більш оперативно і точно визначати час перебування поїздів на технічних пристроях станцій стикування колій різної ширини і може бути використаний для підвищення ефективності пропуску вантажних поїздів через кордон.

Наступним кроком в процесі формування логістичної технології роботи станцій стикування колій різної ширини є визначення раціональних часових та вартісних параметрів для різних способів обслуговування міжнародних вагонопотоків.

## **Висновки до 2 розділу**

Аналіз особливостей передавання вантажних вагонів між різними залізничними мережами показав, що кожен з розглянутих варіантів має свої недоліки та переваги, а остаточне рішення про застосування тієї чи іншої технології потребує формалізації транспортних процесів на прикордонних станціях. Огляд основних характеристик математичної моделі функціонування станцій стикування колій різної ширини дозволили визначити часові та грошові параметри логістичного ланцюга доставки вантажів міжнародного призначення в умовах різнорідної структури вагонопотоків. У ході досліджень виявлено, що закон розподілення прибуття поїздів є пуасонівським, а інтервали між прибулими вагонами, що надходять у окремі елементи прикордонної станції, мають показовий розподіл.