

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи**

освітній ступінь - магістр
спеціальність - 273 – «Залізничний транспорт»
спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

на тему: «АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ
КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ
ЗАСОБІВ ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ»

Виконав
Здобувач вищої освіти
групи ІБЗТ-19зм

(підпис)

Пеномаренко О.А.

Керівник:

(підпис)

проф. Круть О.А.

Завідувач кафедри:

(підпис)

проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент:

(підпис)

(ініціали і прізвище)

Загройко Є.В.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

1.1 Аналіз конструкцій основних схем вітчизняних та зарубіжних вантажних станцій

Поступовий розвиток промислового виробництва в Україні вимагає удосконалення не тільки технології роботи вантажних станцій, але і їх конструкцій з метою скорочення тривалості початково-кінцевих операцій перевізного процесу, в якому вагони понад 40 % свого обороту знаходяться на цих станціях [31].

Основна частина вантажних станцій загального користування розташована у залізничних вузлах і виконує значні обсяги роботи по обслуговуванню населення та підприємств, що не мають власних під'їзних колій. Але більша частка вантажної роботи здійснюється на під'їзних коліях, для яких станція обслуговує вагони у технічному, інформаційному та комерційному відношенні.

Докладний аналіз елементів простою вагонів показав, що біля 50 % часу випадає на міжопераційні перерви, які в першу чергу залежать від конструкції і технології роботи станції та схеми примикання під'їзних колій.

Більшість вантажних станцій у великих містах які споруджувались на початку розвитку залізниць, по колійному розвитку, технічному оснащенню та схемним рішенням не відповідає сучасним вимогам. Ще у 1907 році Ф.А. Галіцинський [19], аналізуючи схеми 48 "великих товарних" станцій зазначав, що вантажні пристрої, як правило, були запроектовані з боку розташування пасажирської будівлі для можливості найбільш зручного під'їзду міського транспорту.

Для подачі та забирання вагонів виконувалась значна маневрова робота з перехрещенням багатьох маршрутів. За умови безпеки руху різко зменшувалися швидкості переміщень, викликаючи значні простой рухомого складу і перерви у виконанні вантажних операцій. При збільшенні обсягів

роботи вантажні пристрої споруджувались з протилежного боку від пасажирської будівлі, оскільки розвитку перших заважала забудова міста.

На окремих станціях [38, 39] такі пристрої розташовувалися між залізничними лініями окремих власників, які сходилися перед станцією.

Це давало певні зручності при одночасній подачі вагонів до перевантажувальних платформ з різних колій для переміщення вантажів до вагонів відповідних ліній, але розсередженість окремих вантажних районів ускладнювала маневрову роботу і викликала зменшення пропускної спроможності станцій.

З виданням закону у 1888 році про загальне користування вагонами [66], почалася перебудова вантажних пристроїв і в першу чергу на "великих товарних" станціях наскрізного типу. Виконувалася концентрація пристроїв у одному маневровому районі, переважно для переробки тарно-штучних вантажів. Почалося спорудження складів ангарного типу, удосконалювались схеми колійного розвитку вантажних районів та їх технічного обладнання [39, 54, 79]. Але у залізничних вузлах і крупних містах перебудова практично унеможлилювалась щільною забудовою біля станцій. Почали розроблятися проекти винесення окремих вантажних станцій за межі селітебної території, проте ряд причин перешкоджали їх впровадженню, це: значна вартість будівництва, стала прив'язка багатьох підприємств до даної станції, збільшення витрат вантажовласників через зміну маршрутів доставки вантажів, необхідність спорудження додаткових автошляхів, зміна соціальних умов робітників станцій та ін.

З розвитком промисловості збільшуються обсяги перевезень, утворюються нові економічні райони, проектується нові вантажні станції, але в цей час менше уваги приділялося їх розвитку, оскільки перевагу отримала основна тенденція росту перевезень масових вантажів, які повинні були надходити безпосередньо на підприємства. Директивно впроваджувались рекомендації по створенню замість вантажних станцій спеціалізованих баз за родом окремих вантажів, пунктів вивантаження та

централізованих складів. Звичайно, такий підхід дозволяв різко скорочувати тривалість знаходження рухомого складу під вантажними операціями за рахунок застосування комплексної механізації і прогресивної технології роботи, але при цьому значно розширювалася мережа під'їзних колій, збільшувалися пробіги передач і локомотивів, число точок перехрещень маршрутів подачі – забирання вагонів з маршрутами міського транспорту, що у багатьох випадках вимагало спорудження розв'язок у різних рівнях [72]. Вантажні станції загального користування пропонувалося залишити тільки для обслуговування населення з розміщенням на їх території складів і пристроїв для переробки тарно-штучних, важковагових вантажів та контейнерів.

Використовуючи досвід експлуатації і результати аналізу конструктивних рішень існуючих станцій, розробкою раціональних схем займалися такі вчені, як Образцов В.М., Земблінов С.В., Правдін М.В., Негрей В.Я., Нагорний Є.В., Ветухов Є.О., Сологуб М.К., Банек Т.С., Осьмінін А.Т. та інші, а оптимізацією технології роботи вантажних станцій – Сміхов А.О., Дерibas А.Т., Повороженко В.В., Єфименко Ю.І., Логінов С.І., Мироненко В.К., Данько М.І., Бутько Т.В., Котенко А.М., Жуковицький І.В., Цегельник М.Л., Кулешов В.М., Малахова О.А., Топчієв М.П., Поляков А.О. та ін.

Вантажні станції наскрізного типу практично завжди споруджувалися за схемами з паралельним розташуванням основних парків та вантажного району. При незначних обсягах вантажної роботи сортувальна робота виконувалась на крайніх коліях приймально-відправного парку з використанням витяжної колії, через яку здійснюється подача-забирання вагонів на вантажні фронти. Місцеві вагони надходять у збірних та вивізних поїздах із суміжних технічних станцій, тому для зменшення обсягу маневрової роботи, а також для можливого примикання окремих під'їзних колій проектується друга витяжна колія у протилежній горловині станції [30, 32, 73, 74, 82].

При збільшенні обсягів переробки сортувально – відправні колії виділяються в окремий парк з ізольованим виходом на витяжні колії, але схема принципово не змінюється. В залежності від місцевих умов вантажний район може примикати до однієї з витяжних колій, зберігаючи тупиковий тип, який дозволяє здійснювати незалежне обслуговування вантажних фронтів як з боку залізниці, так і з боку автотранспорту без перехрещення їх маршрутів.

З подальшим збільшенням обсягів роботи прийнятно – відправний і сортувально-відправний парки розташовуються паралельно, а вантажний район – послідовно, забезпечуючи незалежний вихід до обох парків. Схема дозволяє здійснювати максимальну потоковість переміщень, можливість незалежного розвитку пристроїв, покращує екологічні умови експлуатації [82], але збільшення довжини комунікаційних мереж, а також загальних пробігів маневрових локомотивів в межах станції через необхідність подачі – забирання вагонів через весь сортувально – відправний парк дещо обмежує сфери застосування таких схем, тому на мережі залізниць України незначне число таких станцій.

Інструкцією [32] пропонується використання схеми наскрізного типу з послідовним розташуванням прийнятно – відправного і сортувально-відправного парків, але сфери застосування її не визначено. Проте, наявність сортувальної гірки з двома насувними коліями передбачає переробку не менше 250 вагонів на добу. Значна довжина станційної площадки викликає внутрішньостанційні перепробіги рухомого складу, а також наявність точок перехрещення поїзних та маневрових маршрутів обмежує застосування такої схеми.

Крім цього, окремими авторами [15, 82] запропоновано ряд схем внутрішньовузлових вантажних станцій за принципами проектування допоміжних сортувальних станцій. При паралельному розташуванні сортувального парку між прийнятно-відправними і послідовним розміщенням вантажного району забезпечується одночасне приймання

передач з обох напрямків, перестановка состава на витяжну колію, розформування, подача та забирання вагонів з окремих вантажних фронтів.

Кожний приймально-відправний парк спеціалізується для обслуговування вагонопотоку певних підходів. Сортивальний пристрій передбачає значний обсяг переробки (понад 400 вагонів на добу), що відносить умови застосування схеми на подальшу перспективу. Значна довжина пробігів, зворотних переміщень, наявність великого числа точок перехрещення маршрутів, які викликають міжопераційні простої при виконанні основних технологічних операцій зменшують ефективність даної схеми у порівнянні з іншими.

При паралельному розташуванні об'єднаних парків, секції яких спеціалізовані за напрямками руху, і наскрізного вантажного району [82], також є можливість виконання значного числа одночасних операцій. Схема розрахована на обсяги роботи понад 300 вагонів на добу і на застосування не менше трьох маневрових локомотивів. Ширина станційної площадки (250 – 350 метрів), в залежності від числа і схеми розміщення вантажних фронтів, значно обмежує умови застосування такої схеми для внутрішньовузлових станцій і може розглядатися як варіант при спорудженні нових передвузлових станцій, або при винесенні існуючої вантажної станції за межі міста.

Варіанти комбінованого розташування основних парків і вантажного району дещо зменшують ширину станційної площадки, але розраховані на великі обсяги переробки і викликають значні перепробіги рухомого складу та затримки в точках перехрещення маршрутів [15, 82].

Схеми з варіантами підключення сортувальної гірки до колій вантажного району практично не придатні до впровадження, бо розпуск вагонів в зоні виконання вантажних операцій неможливий; а якщо група колій буде розташована у вхідній горловині з виходом до кожного вантажного фронту, то довжина горловини збільшується на 120 – 150 метрів [15, 73].

Якщо такий вихід не буде передбачатися, то збільшиться обсяг маневрової роботи на перестановки груп вагонів до вантажних фронтів із значним числом зворотних заїздів. Крім того, при роботі двох маневрових локомотивів будуть виникати додаткові простої.

Переважає більшість внутрішньовузлових вантажних станцій загального користування споруджена за схемами тупикового типу, проте в Інструкції [32] не дається аналізу таких схем і умов їх проектування. Окремі автори [17, 30, 67, 73, 82] розглядають данні схеми, але без ув'язки з конкретними обсягами роботи.

При наявності короткої станційної площадки і незначних обсягах роботи приймально-відправний парк об'єднаний із сортувальним; вантажний район тупикового типу розташовується паралельно з примиканням до однієї з витяжних колій. В деяких випадках проектується окремий сортувальний парк тупикового типу [73, 83], але як правило споруджується сортувальний і сортувально-відправний парки наскрізного типу [30, 82], або окремі секції загального парку [17].

При збільшенні обсягів роботи і наявності достатньої довжини станційної площадки пропонується послідовне розташування приймально-відправного і сортувального парків. Вантажний район наскрізного типу у багатьох схемах проектується паралельно із сортувальним [17, 30, 82, 83], але окремі автори пропонують розташовувати його послідовно [67].

Аналіз схем зарубіжних вантажних станцій показав, що принципово вони не відрізняються від вітчизняних, але є ряд особливостей, які залежать від конструктивних рішень та системи організації роботи.

Так, окремі вантажні станції розташовуються поруч із сортувальними (Сент-Луїс, Чикаго), використовуючи крайній пучок сортувального парку для детального підбирання груп місцевих вагонів, їх накопичення, формування подач і розстановка їх загальними локомотивами по окремих вантажних районах.

Деякі сортувальні станції мають на своїй території крупний вантажний район (Торонто – Канада), використовуючи основні пристрої і засоби для обслуговування місцевого вагонопотоку.

На багатьох крупних вантажних станціях для розформування составів і закінчення формування подач на окремі райони та вантажні фронти запроектовані сортувальні гірки (Франція, США, Германія, Італія). Частина вантажних станцій має окремі технологічні лінії по переробці вантажів з прискореним терміном доставки (Франція, Германія, Італія).

В усіх країнах спостерігається тенденція до концентрації вантажної роботи, особливо з тарно-штучними вантажами, на окремих найбільш технічно оснащених станціях залізничних вузлів Парижа, Ліона, Ліверпуля, Чикаго та ін., робота з навалочними, небезпечними та іншими вантажами вноситься на спеціалізовані станції та під'їзні колії. З цією метою на багатьох станціях споруджені склади ангарного типу, у більшості випадків одноповерхові, із внутрішнім введенням тупикових колій і навіть автопрїздів (Париж-Понтня, Ліон-Гілотьер, Дербі, Тулуза, Страсбург-Кронненбург, Страсберрі, Бірмінгем, Сент-Луїс, Нейшвілл, Біттіхайм і ін.). Окремі станції мають ангари з наскрізними коліями (Гейлвуд, Барлінгтон) та тупиково-наскрізними (Бреда, Бітенген).

Частина ангарних складів (Англія, Франція) має чітку спеціалізацію платформ і колій для обслуговування вантажів по прибуттю і окремо по відправленню, але практика показала значні недоліки у роботі таких комплексів через збільшення тривалості виконання технологічних операцій, зустрічні переміщення вантажів, затримки рухомого складу, відсутність здвоєних операцій, велика довжина складів.

У найкрупніших промислових містах через дороговизну землі споруджені окремі та проектується нові багатоповерхові склади довго – і короткотермінового зберігання вантажів (ст. Нью-Йорк, ст. Ері в Чикаго, Гелен у Франції та у Японії).

Особливого розвитку набрала міжнародна система контейнерних та контрейлерних перевезень. Для цього на контейнерних терміналах впроваджуються нові засоби механізації і автоматизації перевантажувальних процесів, створюються міжнародні контейнерні лінії, спеціальні станції – термінали і бази перевантажування (Берлін, Кунцево, Реджо, Барк, Флоренція, Неаполь, Мілан-Рогоредо, Рим-Терміні, Форест-Хілл та ін.). Через Україну планується пропуск та ввезення значного вагонопотоку з контейнерами по міжнародних транспортних коридорах, що вимагає перебудови основних вантажних станцій і необхідного їх технічного оснащення.

1.2 Аналіз існуючих методів визначення колійного розвитку вантажних станцій

Основним регламентуючим документом [32] не визначено методу розрахунку числа приймально – відправних колій ($m_{пв}$) на вантажних станціях різного типу, покладаючись на обґрунтування авторами проектів, в залежності від обсягів і характеру руху вантажних поїздів. Усі рекомендації базуються на загальних термінах: ”незначні” та ”значні” обсяги руху.

Проф. Савченко І.Ю. [83]. пропонує визначати число цих колій за сумарним їх навантаженням на протязі згущеного періоду приймання і відправлення поїздів (3-4 год), але посилається на формулу з добовим навантаженням

$$m_{пв} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\bar{a}^i} t_{\bar{c}ai} \hat{E}_i}{1440}, \quad (1.1)$$

де $N_{\bar{a}^i}$ – середньодобові обсяги руху, поїздів на добу;

$t_{зан}$ – тривалість заняття колій парку різними категоріями поїздів, хв;

K_n – коефіцієнт нерівномірності руху поїздів.

Проте, середньодобове значення коефіцієнта нерівномірності не відображає реальних умов ранкового або вечірнього згущеного надходження

поїздів і залежить від типу станції, числа головних колій, типу графіка, обсягів руху пасажирських поїздів і ін. Крім того тривалість заняття колій не враховує очікування виконання окремих операцій.

Доц. Банек Т.С. [30, 73] використовує принципово аналогічну формулу, але її складові визначаються за допомогою теорії імовірностей

$$m_{IA} = \frac{(N_{ID} t_{CI} + N_{AtCI})(1 + \beta_A)}{24 - \dot{O}_I}, \quad (1.2)$$

де $N_{пр}$, N_B – розрахункове число передач відповідно при прийманні та відправленні, поїздів за добу;

$t_{зп}$, $t_{зв}$ – тривалість заняття приймально – відправної колії передачею відповідно при прийманні та відправленні, год;

β_B – коефіцієнт, який враховує відмови у роботі пристроїв;

$T_{п}$ – тривалість заняття колії постійними операціями, що не залежать від обсягів руху, год.

Тривалість очікування виконання окремих операцій пропонується визначати за формулою Поллачека-Хінчина

$$t_{i.з} = \frac{\rho_i^2 (V_{i-1}^2 + V_i^2)}{\lambda_i (1 - \rho_i)}, \quad (1.3)$$

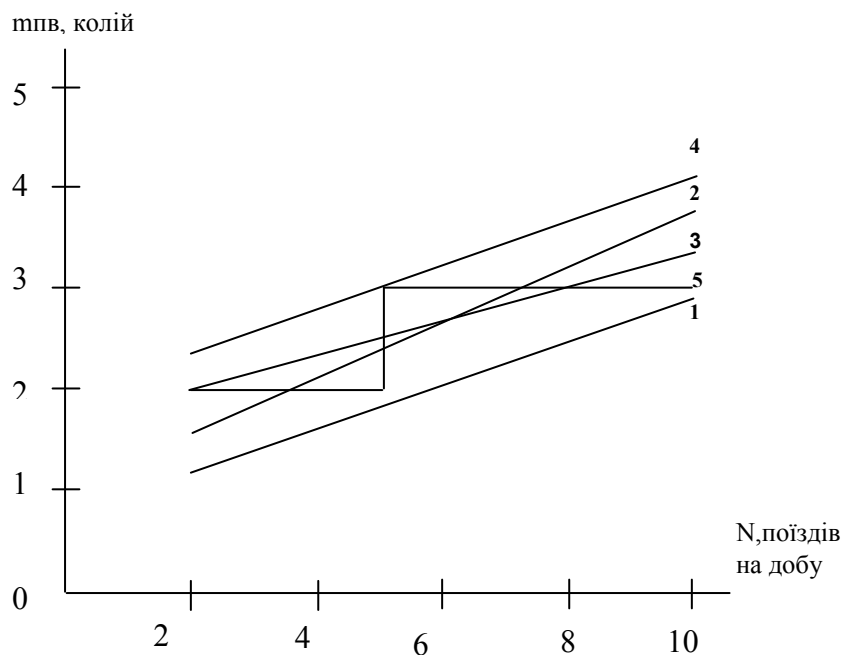
де ρ_i – рівень навантаження апарата обслуговування у і-му каналі;

V_i ; V_{i-1} – коефіцієнти варіації тривалості обслуговування відповідно у і-му та попередньому каналі;

λ_i – інтенсивність обслуговування у і-му каналі, год⁻¹.

Більшість авторів [10, 16, 17, 83] при визначенні числа приймально-відправних колій використовує ф. (1.1) з певними обмеженнями, щоб мінімальне їх число було не менше чотирьох з урахуванням ходової колії.

Аналіз результатів розрахунку числа приймально-відправних колій на вантажних станціях загального користування за різними методами і порівняння їх з фактичним числом на існуючих станціях показав, що для станцій наскрізного типу повинна забезпечуватись можливість одночасного приймання і відправлення місцевих поїздів і тоді основне число $m_{пв}$ слід визначати в залежності від обсягів руху місцевих поїздів: на одноколійних лініях не менше двох колій при обсягах руху до п'яти пар поїздів на добу і не менше трьох – при більших обсягах руху та на двоколійних лініях, а на перед вузлових та внутрішньовузлових вантажних станціях при обґрунтуванні може добавлятися по одній колії (рис. 1). Число додаткових $m_{пв}$, для можливості обгону або схрещення вантажних поїздів, визначається у залежності від інтенсивності руху поїздів і типу графіка. Фактичне число $m_{пв}$, за результатами досліджень, знаходиться в межах даних рекомендацій.



Примітки: 1 – метод проф. Савченко І.Ю.; 2 – метод проф. Правдіна М.В.; 3 – метод проф. Логінова С.І.; 4 – метод доц. Банек Т.С.; 5 – запропонований метод

Рис 1.1 Результати аналізу методів визначення основного числа приймально-відправних колій

Визначення числа сортувальних колій ($m_{ск}$) на вантажних станціях загального користування залежить від обсягу місцевого вагонопотоку, числа груп вагонів у передаточних поїздах, числа і схеми розташування вантажних фронтів, технології формування і розформування составів передаточних поїздів, числа маневрових і перевантажувальних засобів і ін. Практично усі автори [10, 17, 30, 73, 74, 82, 83] пропонують крім основного, визначати додаткове число сортувальних колій, які утворюються в результаті виникнення міжопераційних перерв при виконанні технологічних операцій та повторного сортування через нестачу цих колій у згущені періоди надходження поїздів.

Згідно з Інструкцією [32], число основних колій у сортувальному парку для розформування передаточних поїздів, як правило, повинно бути не менше числа маневрових районів, а для кожного вантажного пункту з переробкою понад 25 вагонів на добу слід проектувати по одній додатковій колії.

Відповідно до [75, п. 15.23 ; 33 п. 12.2], маневрові райони на станції виділяються в залежності від колійного розвитку і обсягу маневрової роботи і, як правило, у кожному з них повинен працювати один маневровий локомотив. Враховуючи дані [31, 96] тільки на 5 % позакласних вантажних станцій працює 2-3 маневрових локомотива, на 24 % вантажних станцій першого класу – 1-2 і на решті станцій – по одному локомотиву, тобто третина станцій має 2-3 основні сортувальні колії.

Проф. Сологуб М.К. [84, 85] пропонує визначати додаткове число сортувальних колій ($m_{д}$) за умови отримання економії від скорочення простою вагонів та обсягу сортування при підбиранні груп по окремих вантажних фронтах

$$\frac{24}{I_{np}} \Delta t \left(e_{\bar{a}\bar{a}} m_{\bar{n}} + e_{\bar{z}\bar{a}} \right) = \frac{A_i \hat{E}_{\bar{n}\bar{e}} + A}{365} m_{\bar{a}}, \quad (1.4)$$

де I_{np} - середньодобовий інтервал надходження передаточних поїздів на

вантажну станцію, год;

Δt - скорочення тривалості підбирання груп вагонів по вантажних фронтах при збільшенні числа сортувальних колій, год;

$e_{вг}$ - вартість однієї вагоно-години простою, грн.;

m_c - середній склад составу передаточного поїзда;

$e_{лг}$ - вартість однієї локомотиво-години роботи маневрового локомотива, грн.;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_{ск}$ - капітальні витрати на укладку однієї сортувальної колії, грн.;

E - щорічні експлуатаційні витрати на утримання однієї сортувальної колії, грн.

Проте, у даній формулі не враховуються згущені періоди надходження передаточних поїздів та імовірність їх появи, крім того до розрахунку слід приймати капіталовкладення та експлуатаційні витрати не на одну колію, а на 1 км, бо будівельна довжина колій у сортувальному парку різна.

Основне число колій пропонується приймати таким, що дорівнює половині числа груп вагонів у передаточному поїзді, але методика їх визначення і тривалості переробки не наводиться.

Проф. Логінов С.І. [55, 56] пропонує аналогічний підхід до визначення додаткового числа сортувальних колій, але при визначенні Δt враховуються багаторазові повторні маневрові переміщення при формуванні подач на вантажні фронти з різним числом відчепів при виконанні кожного циклу сортування в залежності від співвідношення числа колій і призначень груп вагонів.

На жаль у роботі не наводиться метод визначення структури передаточного вагонопотоку і не враховується злиття груп вагонів однакового призначення у процесі розформування. Крім цього експлуатаційні витрати визначаються в залежності від числа повторних сортувань за умови постійної тривалості кожного циклу.

За методом проф. Правдіна М.В. [73] число сортувальних колій пропонується визначати за умови мінімуму витрат на спорудження і утримання цих колій, затримку вагонів і маневрову роботу

$$E_{ск} = [t_p + t_\phi] (e_{лз} + e_{вс} m_c) 365 N_n + E_{пр} m_{ск}, \quad (1.5)$$

де t_p, t_ϕ - тривалість, відповідно, розформування состава передаточного поїзда та формування подач на вантажні фронти, год;

N_n - середньодобове число передаточних поїздів;

m_c - середнє число вагонів у складі передаточного поїзда;

$E_{пр}$ - приведені витрати на спорудження та утримання однієї сортувальної колії, грн.

$$E_{ід} = E_i \left(K_{нє} l_{нє} + K_{під} n_{під} \right) + E_\delta l_{нє} + E_{під} n_{під}, \quad (1.6)$$

де $K_{ск}$ - вартість укладки 1 км сортувальних колій з урахуванням витрат на виконання земляних робіт та баластування, грн.;

$l_{ск}$ - довжина сортувальної колії, км.;

$n_{стр}$ - число стрілочних переводів, що припадає на одну колію сортувального парку;

$K_{стр}$ - вартість укладки стрілочного переводу і підключення його до ЕЦ, грн.;

$E_{стр}, E_{стр}$ - щорічні експлуатаційні витрати по утриманню відповідно 1 км сортувальної колії та одного стрілочного переводу, грн.

$$l_{ск} = \frac{N_n m_c (1 + 3v_{зр}) y_\delta}{\sum_{i=1}^{n_\phi} x_i} \geq 200, \quad (1.7)$$

де $v_{гр}$ - коефіцієнт варіації числа вагонів у групі одного призначення;
 l_b - середня довжина вагону, м.;
 x_i - число подач на i -й вантажний фронт;
 $n_{ф}$ - загальне число вантажних фронтів на станції.

Оптимальне число сортувальних колій визначається після диференціювання виразу (1.5)

$$m_{\tilde{n}\tilde{e}} = 1 + \sqrt{\frac{365N_n(e_{\tilde{e}\tilde{a}} + e_{\tilde{a}\tilde{a}}m_{\tilde{n}})[2\tilde{A}(n_{\tilde{o}} - 1) + Bm_c(n_{\tilde{o}}^2 - 1)]}{2[365N_n(e_{\tilde{e}\tilde{a}} + e_{\tilde{a}\tilde{a}}m_{\tilde{n}}) + (\tilde{A} + \tilde{A}m_c) + E_{i\tilde{o}}]}}}, \quad (1.8)$$

де A, B, E, D – коефіцієнти, що враховуються при визначенні тривалості виконання окремих маневрових операцій [62];

Тривалість розформування передачі

$$t_p = Ag_s + B \frac{Q_n(1 + t_{\beta}v_n)}{q_{\tilde{o}p}}, \quad (1.9)$$

де A, B – коефіцієнти, які визначаються в залежності від умов виконання маневрової роботи [62];

g_s - число відчепів у передачі;

Q_n - розрахункова маса передаточних поїздів, т;

t_{β} - число нормованих відхилень в залежності від прийнятого рівня довірчої імовірності;

v_n - коефіцієнт варіації числа вагонів у передачі;

$q_{\tilde{o}p}$ - маса бруто одного вагона, т.

$$g_s = \left(N_i m_{\tilde{n}} - \sum_{i=1}^{n_{\tilde{o}}} n_i(n_i - 1) \right) \left(N_i m_{\tilde{n}}(1 + t_{\beta}v_i) - 1 \right) \frac{\alpha_{\tilde{o}\tilde{e}}}{N_i m_{\tilde{n}}}, \quad (1.10)$$

n_i - число вагонів і-го призначення;
 $\alpha_{ук}$ - коефіцієнт укрупнення груп вагонів у складі передаточного поїзда.

Тривалість формування подач на вантажні фронти

$$t_{\phi} = \alpha(a + bn_n), \quad (1.11)$$

α - число маневрових напіврейсів;

a, b - коефіцієнти, що залежать від довжини маневрових переміщень виду тяги,

стану автогальм у маневровому составі [62];

n_n - число вагонів у составі при виконанні кожного напіврейсу.

$$\alpha = 2 \left[m_{ck} + (c_n - m_{ck}) \frac{n_c g_c}{n_n} \right], \quad (1.12)$$

де c_n - число призначень у подачі;

n_c - середнє число вагонів у одному призначенні;

g_c - число відчепів, з яких формується подача;

n_n - число вагонів у подачі.

$$g_c = n_n \frac{c_n - 1}{c_n}; \quad (1.13)$$

$$n_n = \frac{(N_n + t_{\beta} \sigma_n) m_c}{\sum_{i=1}^{c_n} x_i}, \quad (1.14)$$

де σ_n середньоквадратичне відхилення розрахункових обсягів руху передаточних поїздів.

Окремі вчені [15, 16, 67, 82, 83], при досягненні обсягу місцевого вагонопотоку понад 150 вагонів на добу, пропонують проектувати сортувальні гірки малої потужності.

При цьому тривалість розформування рекомендується [73] визначати в залежності від технічного оснащення гірки. Так, для немеханізованої гірки

$$t_p^{HM} = \frac{0,03l_g}{2,905\alpha_{ук} + 0,52} M, \quad (1.15)$$

а для механізованої

$$t_p^{Mex} = \frac{0,03l_g}{4,49\alpha_{ук} + 0,535} M; \quad (1.16)$$

$$M = \frac{m_{ck}(2m_c\alpha_{ук} - 1) - 2m_c\alpha_{ук}}{m_{ck} - 1}; \quad (1.17)$$

$$\alpha_{\delta\epsilon} = \frac{c_i - 1}{m_c - 1}, \quad (1.18)$$

де $c_{п}$ - середнє число призначень у складі передаточного поїзда.

Тривалість формування подачі у хвостовій горловині сортувального парку.

$$t_{\delta} = a + bm_c \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_{\delta}} x_i + N_n}{2(m_{c\epsilon} - 1) \sum_{i=1}^{n_{\delta}} x_i} \right] \left[2m_{c\epsilon} + \frac{2N_n m_c \alpha'_{\delta\epsilon} (c_n - 1)(c_n - m_{c\epsilon})}{\tilde{n}_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{n_{\delta}} x_i} \right], \quad (1.19)$$

де $\alpha'_{ук}$ - коефіцієнт укрупнення числа відчепів у подачі

$$\alpha'_{ук} = \frac{(c_n - 1) \sum_{j=1}^{c_n} x_j}{N_n m_c - \sum_{j=1}^{c_n} x_j}. \quad (1.20)$$

Тоді число сортувальних колій, необхідних для розформування составів передаточних поїздів і формування подач на вантажні фронти, буде визначатися при мінімумі приведених витрат

$$E'_{c\acute{e}} = 365 \left[N_n t_{\acute{a}} (e_{\acute{e}\acute{a}} + e_{\acute{a}\acute{a}} m_c) + \sum_{i=1}^{n_{\acute{a}}} x_i t_{\acute{o}i} (\acute{a}_{\acute{e}\acute{a}} + \acute{a}_{\acute{a}\acute{a}} n_{ci}) + E_{\acute{r}\acute{a}} m_{c\acute{e}} \right], \quad (1.21)$$

де $t_{\acute{r}}$ - гірковий технологічний інтервал, год;

$E_{\acute{r}\acute{r}}$ - приведені витрати на спорудження і утримання однієї колії при наявності сортувальної гірки, грн.

$$E_{\acute{r}\acute{a}} = \acute{A}_i \left(\acute{E}_{\acute{n}\acute{e}} l_{\acute{n}\acute{e}} + \acute{E}_{\acute{n}\acute{o}\acute{o}} n_{\acute{n}\acute{o}\acute{o}} + \frac{f_1}{m_{c\acute{e}}} + f_2 \right) + \frac{\varphi_1}{m_{c\acute{e}}} + \varphi_2 + E_{\acute{n}\acute{e}} l_{c\acute{e}} + E_{c\acute{o}\acute{o}} n_{\acute{n}\acute{o}\acute{o}}, \quad (1.22)$$

де f_1, f_2 - вартість спорудження та механізації гірки, грн.;

φ_1, φ_2 - вартість утримання гірки і засобів механізації, грн.

Даний метод вимагає визначати значне число вихідних даних, які змінюються з кожною передачею. Так, з кожною зміною складу передаточного поїзда та числа груп у ньому буде змінюватися число маневрових переміщень при формуванні подач і їх тривалість, що буде впливати на розрахункове значення числа сортувальних колій. Крім того, у формулі (1.6) слід було б урахувувати сумарну довжину колій, бо за конструкцією парку вона різна для кожної колії, а тому витрати $E_{\acute{r}\acute{r}}$ будуть іншими.

2.3 Розробка моделі оптимального функціонування системи вантажної станції

При встановленні оптимального режиму функціонування вантажної станції як системи, що складається з окремих підсистем з очікуванням,

утворюється складна мережа з технологічними взаємозв'язками у кожній фазі обслуговування з одним або декількома паралельними каналами. Складність системи вантажної станції полягає в тому, що вхідні потоки з боку залізниці після обслуговування залишають її не повертаючись і система є розімкнутою, а з боку міста вхідні потоки через певний час повертаються і вона стає замкнутою.

Згідно з результатами спостережень [21, 50], а також з дослідженнями окремих авторів [40, 76, 87, 101], тривалість обслуговування n рухомих одиниць визначається експоненційним законом розподілу, а тому імовірність того, що за певний проміжок часу Δt буде закінчене обслуговування з інтенсивністю деякого числа одиниць у фазі складає [21].

$$\begin{aligned} n_i \mu_i \Delta t + o(\Delta t), & \text{ при } n_i < c_i; \\ c_i \mu_i \Delta t + o(\Delta t), & \text{ при } n_i \geq c_i, \end{aligned} \quad (2.27)$$

де c - число паралельних каналів обслуговування;
 μ - інтенсивність потоку обслуговування, год⁻¹.

При рівні навантаження $\psi_i = \frac{\lambda}{c_i \mu_i} < 1$, ($i=1,2,\dots,k$), рівняння для

стаціонарного стану системи буде мати вигляд [21]

$$\left[\lambda + \sum_{i=1}^k \delta(n_i) a(n_i) \mu_i \right] P(n_1 \dots n_k) = \sum_{i=1}^k \delta(n_{i+1}) a(n_{i+1}) \mu_{i+1} P(n_i, n_{i+1} \dots n_k) + \lambda P(n_{i-1}, n_{i-2} \dots n_{i-k}), \quad (2.28)$$

де λ - інтенсивність вхідного потоку, год⁻¹.

При від'ємному значенні будь-якого аргументу імовірність дорівнює нулю. Крім цього

$$a(n_i) = \begin{cases} n_i, & n_i < c_i; \\ c_i, & n_i \geq c_i; \end{cases} \quad (2.29)$$

$$\delta(n_i) = \begin{cases} 1, & n_i < 0; \\ 0, & n_i = 0, i=1,2,\dots,k. \end{cases} \quad (2.30)$$

Рішення виконується у вигляді $P(n_1, \dots, n_k) = P(0 \dots 0) \prod_{i=1}^k b(n_i)$;

$$b(n_i) = \frac{1}{n_i!} (\psi_i)^{n_i}, \quad n_i < \psi_i;$$

$$b(n_i) = \frac{1}{n_i!} (\psi_i)^2 i^{(n_i - \psi_i)}, \quad n_i \geq \psi_i. \quad \{2.31\}$$

Внаслідок того, що сума за всіма значеннями повинна дорівнювати одиниці,

то

$$\sum_{n=0}^1 \dots \sum_{n=0}^1 \left[\prod_{i=1}^k b(n_i) \right] = \prod_{i=1}^k \sum_{n=0}^k b(n_i) = \prod_{i=1}^k A_i; \quad i=1,2,\dots,k;$$

$$P(0 \dots 0) = \prod_{i=1}^k A_i^{-1}. \quad \{2.32\}$$

Розподіл імовірностей для будь-якої фази знаходиться шляхом підсумовування по числу рухомих одиниць у всіх фазах. Звідси імовірність того, що у фазі буде n_i одиниць

$$P(n_i) = \frac{b(n_i)}{A}. \quad (2.33)$$

Цей результат можна отримати для системи з паралельними каналами.

При $\psi_i=1, i=1,2,\dots,k$, для одного каналу [21].

$$P(n_1 \dots n_k) = P(0 \dots 0) \prod_{i=1}^k \psi_i^n (1 - \psi_i). \quad (2.34)$$

В системі вантажної станції імовірність того, що у і-й фазі знаходиться n одиниць, складе

$$P(n) = \psi_i^n (1 - \psi_i), \quad (2.35)$$

а середнє число одиниць, що знаходиться в одній групі [21]

$$\sum_{n=0}^{\infty} n \psi_i^n (1 - \psi_i) = \frac{\psi_i}{1 - \psi_i}. \quad (2.36)$$

У підсистемі обслуговування составів передаточних поїздів черги виникають через невідповідність рівнів навантаження апаратів технічного обслуговування та маневрових локомотивів; у підсистемі розформування – через невідповідність числа груп окремих призначень у складах числу сортувальних колій; у підсистемі обслуговування вантажних фронтів – через невідповідність рівнів навантаження маневрових локомотивів та перевантажувальних засобів.

При оптимізації функціонування системи в першу чергу слід оптимізувати технічне оснащення вантажних фронтів на станції за допомогою мінімізації цільової функції $F(S)$, яка включає вартість часових і технічних параметрів. До перших відносяться тривалість обслуговування рухомих одиниць і очікування початку виконання основних технологічних операцій, тривалість перерв у процесі обслуговування та експлуатаційні витрати на утримання штату. До других відноситься вартість апаратів обслуговування і витрати щодо їх утримання [21]

$$F(S) = f\left(\sum_{i=1}^n E_i\right) \Rightarrow \min, \quad (2.37)$$

де E_1 - витрати, що пов'язані з простоем маневрових локомотивів через зайнятість вагонів у процесі їх обслуговування на станції і вантажних фронтах

$$E_1 = 365M_{л}e_{лг}(t'_л + t''_л), \quad (2.38)$$

де $M_{л}$ - розрахункове число маневрових локомотивів на станції;

$e_{лг}$ - вартість однієї години простою локомотива, грн.;

$t'_л$ - середня тривалість очікування локомотивом початку розформування після виконання операцій по технічному та комерційному обслуговуванню вагонів год;

$t''_л$ - середня тривалість очікування локомотивом початку операції закінчення формування після обслуговування вантажних фронтів.

$$t'_л = \frac{1}{1 - \psi_{мл}} \left[\frac{\psi_{мл}}{\mu'_{рф}} + \frac{\psi'_{мл}}{\mu'_{вф}(1 - \psi'_{мл})} \right]; \quad (2.39)$$

$$t''_л = \frac{1}{1 - \psi_{мл}} \left[\frac{\psi_{мл}}{\mu''_{вф}} + \frac{\psi''_{мл}}{\mu''_{зф}(1 - \psi''_{мл})} \right]; \quad (2.40)$$

$$\psi_{мл} = \psi'_{мл} + \psi''_{мл} < 1, \quad (2.41)$$

де $\psi'_{мл}, \psi''_{мл}$ - рівень навантаження маневрового локомотива при розформуванні та при обслуговуванні вантажних фронтів по подачі і розставленні вагонів;

$\mu'_{рф}, \mu'_{вф}$ - інтенсивність розформування составів за годину та обслуговування вантажних фронтів по подачі і розставленні вагонів;

$\mu''_{вф}, \mu''_{зф}$ - інтенсивність обслуговування вантажних фронтів по збиранні та забиранні вагонів і закінчення формування составів передаточних поїздів;

де E_2 - витрати, що пов'язані з простоем вагонів і автомобілів через зайнятість ВРМ

$$E_2 = 365 \sum_{i=1}^n (n_{\text{грі}} m_{\text{грі}} t'_a e_{\text{грі}} + N_a t'_a e_{\text{авт}}), \quad (2.42)$$

де $n_{\text{грі}}$ - число груп вагонів, що надходять за добу до і-го вантажного фронту;
 $m_{\text{грі}}$ - середнє число вагонів в одній групі;
 N_a - число автомобілів, що задіяні на перевезенні вантажів;
 $e_{\text{грі}}, e_{\text{авт}}$ - вартість однієї вагоно- або автомобіле-години простою, грн.;
 t'_a, t'_a - середня тривалість очікування однією групою вагонів або одним автомобілем звільнення ВРМ, год

$$t'_a = \frac{1}{1 - \psi_1} \left[\frac{\psi_1}{\mu'_a} + \frac{\psi'_a}{\mu'_a (1 - \psi'_a)} \right]; \quad (2.43)$$

$$t'_a = \frac{1}{1 - \psi_1} \left[\frac{\psi_1}{\mu'_a} + \frac{\psi'_a}{\mu'_a (1 - \psi'_a)} \right], \quad (2.44)$$

де ψ_1 - рівень навантаження ВРМ при обслуговуванні вагонів і автомобілів

$$\psi_1 = \psi'_a + \psi'_a < 1, \quad (2.45)$$

де μ'_a, μ'_a - інтенсивність обслуговування вагонів та автомобілів за годину;
 E_3 - витрати, що пов'язані з простоєм вагонів і автомобілів через відсутність вільних місць складування

$$E_3 = 365 \sum_{i=1}^n (n_{\text{грі}} m_{\text{грі}} t''_a e_{\text{грі}} + N_a t''_a e_{\text{авт}}), \quad (2.46)$$

де t''_g, t''_a - середня тривалість очікування однією групою вагонів або автомобілем звільнення складських приміщень, год.

$$t''_a = \frac{1}{1-\psi_2} \left[\frac{\psi_2}{\mu''_a} + \frac{\psi''_a}{\mu''_a(1-\psi''_a)} \right]; \quad (2.47)$$

$$t''_a = \frac{1}{1-\psi_2} \left[\frac{\psi_2}{\mu''_a} + \frac{\psi''_g}{\mu''_g(1-\psi''_g)} \right], \quad (2.48)$$

де ψ_2 - рівень навантаження підсистеми складування і зберігання вантажів при обслуговування вагонів і автомобілів

$$\psi_2 = \psi''_a + \psi''_g < 1, \quad (2.49)$$

μ''_g, μ''_a - інтенсивність складування вантажів при обслуговуванні вагонів та автомобілів за годину;

E_4 - витрати, що пов'язані з простоем ВРМ

$$E_4 = 365 \sum_{i=1}^n t''_{mi} Z_i e_{i\alpha^3}, \quad (2.50)$$

де t''_{mi} - середня тривалість очікування початку роботи ВРМ, год;

Z_i - розрахункове число ВРМ на і-му вантажному фронті;

$e_{m\alpha}$ - вартість однієї години простою ВРМ на і-му вантажному фронті, грн.

$$t''_{mi} = \frac{Z_i \Pi_i \gamma_i t_{\phi i} - (n_{zpi}^H m_{zpi}^H q_{\phi i}^H + n_{zpi}^g m_{zpi}^g q_{\phi i}^g) (1 - \alpha_{np})}{Z_i \Pi_i \gamma_i}, \quad (2.51)$$

де n_{zpi}^H, n_{zpi}^6 - середньодобове число груп вагонів при надходженні та відправленні від і-го складу;

m_{zpi}^H, m_{zpi}^6 - середнє число вагонів, що надходять та відправляються від і-го складу;

q_{ei}^H, q_{ei}^6 - статичне навантаження вагону при надходженні та відправленні від і-го складу;

E_5 - витрати, що пов'язані із складуванням і зберіганням вантажів в очікуванні вивозу та навантажуванні у вагони з і-го складу

$$E_5 = 365 \sum_{i=1}^n \left(n_{zpi}^H m_{zpi}^H q_{ei}^H t_{emi}^H + n_{zpi}^6 m_{zpi}^6 q_{ei}^6 t_{emi}^6 \right) \rho_{emi}, \quad (2.52)$$

де t_{emi}^M - середня тривалість очікування вивозу вантажу при надходженні до і-го складу, год

$$t_{emi}^H = \frac{1}{1 - \psi_3} \left[\frac{\psi_3}{\mu_{e3}} + \frac{\psi_{e\partial}}{\mu_{e\partial} (1 - \psi_{e\partial})} \right]; \quad (2.53)$$

$$\psi_3 = \psi_{B3} + \psi_{B\partial} < 1,$$

де $\psi_{B3}, \psi_{B\partial}$ - рівень навантаження підсистеми складування і зберігання при вивозі вантажу та при навантажуванні у вагони;

$\mu_{B3}, \mu_{B\partial}$ - інтенсивність вивозу вантажів та навантажування у вагони;

t_{em}^6 - середня тривалість очікування навантажування у вагони при відправленні вантажу, год

$$t_{em}^6 = \frac{1}{1 - \psi_3} \left[\frac{\psi_3}{\mu_{e\partial}} + \frac{\psi_{e3}}{\mu_{e3} (1 - \psi_{e3})} \right], \quad (2.54)$$

де e_{BT} - приведена вартість складування і зберігання 1т вантажу за годину з урахуванням витрат на спорудження та утримання складських приміщень, грн.;

E_6 - витрати, що пов'язані з обслуговуванням експлуатаційного штату при зміні часових параметрів

$$E_6 = 365 \sum_{i=1}^n \Delta \mu_i q_{ei} K_{ni} \Delta t_i e_{ui}, \quad (2.55)$$

де $\Delta \mu_i$ - зміна інтенсивності переробки на i -му вантажному фронті у зв'язку із простоем рухомого складу через зайнятість ВРМ, маневрових локомотивів, відсутність вільних місць розвантажування, додатковий час зберігання у очікуванні вивозу або навантажування у вагони;

K_{ni} - коефіцієнт нерівномірності подач рухомого складу до i -го вантажного фронту [78];

Δt_i - середньодобові простой рухомого складу, ВРМ, складських приміщень, пов'язаних із зміною експлуатаційного штату, год;

e_{ui} - середньодобові питомі експлуатаційні витрати на утримання комплексної бригади, що обслуговує i -й вантажний фронт, які припадають на одиницю обсягу переробки, грн.

Для оцінки варіантів технічного оснащення до сумарних приведених витрат включаються тільки ті статті витрат, що залежать від числа ВРМ, локомотивів, автомобілів, складських приміщень, тривалості роботи вантажних фронтів та автомобілів на протязі розрахункового періоду.

У розгорнутому вигляді експлуатаційні витрати визначаються

$$F(S) = \{ M_e (t'_e + t''_e) \dot{a}_{\bar{e}a} + \sum_{i=1}^n [n_{\bar{a}d^3} m_{\bar{a}d^3} (t'_a + t''_a) \dot{a}_{\bar{a}a} + N_{\bar{a}^3} (t'_a + t''_a) \dot{a}_{\bar{a}a} + Z_i t'_{i^3} \dot{a}_{\bar{i}a^3} + (n_{\bar{a}d^3}^i m_{\bar{a}d^3}^i q_{\bar{a}^3}^i t_{\bar{a}d^3}^i + n_{\bar{a}d^3}^{\bar{a}} m_{\bar{a}d^3}^{\bar{a}} q_{\bar{a}^3}^{\bar{a}} t_{\bar{a}d^3}^{\bar{a}}) \dot{a}_{\bar{a}d^3} + \Delta \mu_i q_{\bar{a}^3} \dot{E}_{i^3} \Delta t_i e_{\theta^3}] \} \Rightarrow \min ; \quad (2.56)$$

при обмеженнях

$$\left\{ \begin{array}{l} N_a^{\min} \leq N_a \leq N_a^{\max}; \\ Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}; \\ T_{\hat{a}\hat{o}}^{\min} \leq T_{\hat{a}\hat{o}} \leq T_{\hat{a}\hat{o}}^{\max}; \\ F_{\min} \leq F \leq F_{\max}; \\ \psi_1 = \psi'_{\hat{a}} + \psi'_a < 1; \\ \psi_2 = \psi''_{\hat{a}} + \psi''_a < 1; \\ \psi_3 = \psi_{\hat{a}\zeta} + \psi_{\hat{a}\hat{a}} < 1; \\ \psi_{i\hat{e}} = \psi'_{i\hat{e}} + \psi''_{i\hat{e}} < 1. \end{array} \right.$$

Мінімальне число автомобілів на протязі $T_{\text{вф}}$ повинне обслуговувати усі вантажні фронти при розрахунковій тривалості (t_{eo}^p) виконання вантажних операцій

$$N_a^{\min} = \sum_{i=1}^n \frac{(n_{\hat{a}\hat{o}}^i m_{\hat{a}\hat{o}}^i q_{\hat{a}^3}^i + n_{\hat{a}\hat{o}}^{\hat{a}} m_{\hat{a}\hat{o}}^{\hat{a}} q_{\hat{a}^3}^{\hat{a}}) t_{\hat{a}\hat{i}}^{\delta}}{T_{\hat{a}\hat{o}}^3 q_{\hat{a}^3}}, \quad (2.57)$$

де $q_{\hat{a}\hat{i}}$ – розрахункове завантаження автомобіля при обслуговуванні i -го вантажного фронту, т;

Максимальне число автомобілів визначається за умови забезпечення перевезень вантажів середньодобового обсягу

$$N_a^{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(n_{\text{zpi}}^n m_{\text{zpi}}^n q_{\hat{e}\hat{i}}^n + n_{\text{zpi}}^6 m_{\text{zpi}}^6 q_{\hat{e}\hat{i}}^6) T_a^{\text{об}}}{T_{\text{вф}\hat{i}} q_{\hat{a}\hat{i}}}. \quad (2.58)$$

Мінімальне число ВРМ визначається за умови забезпечення добової переробної спроможності вантажних фронтів

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^n \frac{(n_{\text{zpi}}^n m_{\text{zpi}}^n q_{\hat{e}\hat{i}}^n + n_{\text{zpi}}^6 m_{\text{zpi}}^6 q_{\hat{e}\hat{i}}^6)}{(T_{\text{вф}\hat{i}} - n_{\text{zpi}} t_{\text{нз}\hat{i}}) \Pi_{0\hat{i}} \gamma_t}, \quad (2.59)$$

де $t_{\text{пз}\hat{i}}$ - тривалість подачі-забирання вагонів з урахуванням розстановки та

збирання на і-му вантажному фронті, год.

Максимальне число ВРМ повинне забезпечувати безперебійне обслуговування усіх секцій вантажних фронтів розрахункової довжини ($l_{\text{вф}}^p$)

$$Z_{\text{max}} = \sum_{i=1}^n \frac{l_{\text{вф}i}^p}{l_{\text{нм}i}^p}, \quad (2.60)$$

де $l_{\text{нм}}^p$ - розрахункова дальність переміщення ВРМ при безпечній і безперешкодній роботі на суміжних секціях, м.

Мінімальна тривалість роботи маневрових локомотивів, вантажних фронтів і автомобілів – 8 год, а максимальна – 24 год.

Мінімальна площа складських приміщень розраховується у відповідності до нормативних параметрів розрахункового добового вагонообігу

$$F_{\text{min}} = \sum_{i=1}^n \frac{n_{\text{ад}i} m_{\text{ад}i} q_{\text{ад}i} \hat{e}_{\text{ад}i} t_{\text{з}i} (1 - \alpha_{\text{іф}})}{p_i}, \quad (2.61)$$

де $k_{\text{д}}$ - коефіцієнт, що враховує додаткову площу для проходів і проїздів;

$t_{\text{з}i}$ - нормативний термін зберігання вантажів при надходженні та відправленні;

p - питома навантаження на 1 м^2 площі.

Максимальна площа складських приміщень визначається з урахуванням термінів зберігання за узгодженням з вантажовласниками, при цьому повинен бути резерв площі для не отриманих, бездокументних та інших вантажів.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВАНТАЖНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Дослідження процесів обслуговування в каналах технічної і комерційної обробки составів

Після надходження передаточних поїздів на вантажну станцію состав підлягає обслуговуванню в каналах технічної, комерційної, документальної та інформаційної обробки.

Тривалість операцій технічного обслуговування залежить від багатьох факторів, які не підлягають комплексному обліку аналітичним способом. Тут проявляються відмінності у довжині составів, різнотипності вагонів, числі та обсягу несправностей, рівні навантаження груп ПТО, кваліфікації окремих робітників, зміні темпів обслуговування по окремих періодах доби та ін. Але аналіз хронометражних спостережень показав, що крива статистичного розподілу інтервалів технічного обслуговування може бути апроксимована кривою зрізаного нормального розподілу. Визначено також, що у пікові періоди тривалість технічного обслуговування составів однією бригадою перевищує середнє значення. Це пояснюється нерівномірністю тривалості обслуговування окремих частин состава групами бригади, різним рівнем їх навантаження. У зв'язку з цим, переходи груп бригади до обслуговування іншого состава здійснюються неодноразово, а час закінчення обробки состава визначається тією групою бригади, яка останньою приступила до огляду своєї частини состава. У періоди, коли поїзди надходять з інтервалами більшими від розрахункового (з урахуванням міжопераційних перерв у роботі бригад), визначена вище нерівномірність згладжується і значення інтервалів обслуговування наближається до його математичного очікування. Визначено, що математичне очікування тривалості обробки у області

максимальних значень $M[t_{mo}^{max}]$ перевищує $M[t_0]$ у вихідному розподілі в 1,1-1,2 рази і при розрахунках може прийматися $1,15M[t_0]$.

Міжопераційні перерви у роботі бригад ПТО можна поділити на два види: перерви, що впливають на тривалість знаходження вагонів у приймально-відправному парку і ті, що не впливають на нього.

Перший вид перерв проявляється, як правило у пікові періоди роботи системи, при цьому на протязі цих періодів тривалість перерв зростає. Тут проявляється вплив умов переходу від одного составу до іншого; зайнятість колій вагонами; необхідність чекання перестановки состава по суміжній колії на маневрову витяжку; неможливість огороження состава до моменту забирання поїзного локомотива; збільшення психологічного навантаження при роботі у зоні підвищеної небезпеки (рух по суміжних коліях та інше). До цього виду перерв необхідно віднести також і допоміжні операції(проходи за запасними деталями, інструментом, необхідність використання двостороннього паркового зв'язку тощо).

Другий вид перерв відноситься до періодів стабілізації роботи системи і складає тривалість очікування бригадою надходження поїзда на колії парку. При проведенні досліджень такі перерви прирівнювалися до нульових і враховувалися у загальному розподілі тривалості міжопераційних перерв.

Аналіз хронометражних даних про роботу бригад ПТО на різних станціях показав що тривалість міжопераційних перерв коливається у широких межах. Згладжувальна крива статистичного розподілу задовільно описується функцією щільності імовірностей гіперекспоненційного розподілу з різними параметрами складових потоків.

Дослідженнями встановлено, що математичні очікування міжопераційних простоїв складають $0,1-0,3 M[t_0]$ і при розрахунках може прийматися $0,2 M[t_0]$. Інтервал технічного обслуговування усіма бригадами залежить від інтенсивності обслуговування кожною бригадою

$$\mu_{mo} = \frac{M[\psi_{mo}]}{M[t_{mo}]} \quad (3.1)$$

У практиці роботи ПТО виходять у основному із нормативного контингенту робітників бригади [98] без урахування рівня її навантаження. Кожна група бригади складається із двох оглядачів вагонів та слюсаря - автоматника. Методичними вказівками [34] рекомендується визначати необхідну кількість робітників ремонтної бригади

$$R = \frac{Hm_c\alpha_n}{t_{об}}, \quad (3.2)$$

де H - середні витрати праці на технічне обслуговування одного вагона;

m_c - середнє число вагонів у складі вантажного поїзда;

α_n - коефіцієнт, що враховує нерівномірність пред'явлення вагонів для обслуговування та непродуктивні переходи ремонтної бригади;

$t_{об}$ - тривалість обслуговування складів, яка повинна встановлюватися за технологічним процесом.

Як видно, необхідна кількість робочих бригади ПТО не залежить від обсягів руху, а тому у кожній бригаді пропонують приймати не менше двох груп; при більших обсягах руху – 3-4 групи (при цьому градація обсягів руху не встановлюється).

Аналітичні залежності та рекомендації [34, 98, 105] для однакових вихідних даних дають різні результати і, крім цього, повністю не ураховують взаємозалежність потужностей суміжних каналів та рівнів їх навантаження.

Дослідження показують, що математичне очікування рівня навантаження бригад ПТО у області максимальних значень перевищує $M[\psi_{\delta t}]$ в 1,4 - 1,6 разів і при розрахунках $M[\psi_{\delta t}^{\max}]$ може прийматися $1,5 M[\psi_{\delta t}]$.

Це пояснюється тим, що на відміну від технічних станцій, на вантажних станціях огляд і безвідчепний ремонт вагонів здійснюється у більшому обсязі через необхідність якісної підготовки їх під навантаження.

Крім зовнішнього огляду необхідно перевіряти стан підлоги та покрівлі, завантажувальних і розвантажувальних люків та механізмів їх закривання, засобів ущільнення дверей критих вагонів і інших обладнань, що вимагає виконання додаткових операцій, особливо при відсутності оглядових вишок у горловинах приймально-відправних парків.

Завищений рівень навантаження бригад ПТО викликає додаткові простої рухомого складу, а також очікування маневровими локомотивами початку операцій розформування составів, для ліквідації якого необхідне детальне обґрунтування збільшення числа груп або удосконалення технологій технічного обслуговування вагонів.

На сьогодні у вагонному господарстві поточним утриманням вагонів займається біля 60 % загального контингенту робітників, а плановими видами ремонту тільки 6 % [106], але ефективність витрат праці на технічне обслуговування вагонів, показником якої може бути досягнення зміни рівня технічного стану вагона за одиницю часу при різних видах обслуговування, значно відрізняється.

Так, якщо ефективність при поточному безвідчепному ремонті прийняти за одиницю, то при поточному відчепному ремонті вона складає до 10 одиниць, а при деповському – до 100 одиниць. Продуктивність праці при виконанні одних і тих же ремонтних операцій в умовах стаціонарного ремонту і на пунктах технічного обслуговування відрізняється у 2-3 рази. Низька ефективність використання праці на ПТО обумовлена цілим рядом причин і, в першу чергу, значною довжиною зони роботи, нестационарністю робочих місць, метеорологічними умовами і ін. В результаті значна частина робочого часу при існуючій технології витрачається на різні проходи, підйоми на вагони, пролізання під вагонами і допоміжні роботи, що безпосередньо впливає на рівень навантаження бригади.

Так, питома вага основного часу, що витрачається безпосередньо на виконання операцій по обслуговуванню вагонів, для слюсарів по ремонту складає до 15 % загальної тривалості зміни. Аналіз хронометражних спостережень показав, що тільки біля 5 % місцевого вагонопотоку підлягає укрупненому ремонту на пунктах технічного обслуговування, а решта 95 % вагонів простоюють у очікуванні його виконання. При цьому тривалість виконання цих операцій при безвідчепному ремонті у 5-7 разів більше, ніж на стаціонарних місцях. Серед основних несправностей 62 % складає пошкодження кузова, 16 % - колісних пар і візків, 11 % - автозчеплення, 8 % - гальмові системи, 3 % - інші.

З метою скорочення тривалості операцій по технічному обслуговуванню вагонів укрупнені види ремонту пропонується здійснювати на крайніх коліях сортувального парку або на окремих тупикових коліях, запроектованих поруч з хвостовою горловиною цього парку, без виключення таких вагонів з робочого парку. Біля таких стаціонарних місць повинна бути спеціальна заасфальтована площадка із стелажми для запасних частин, кран-балка, домкрати для підйому кузова, а при масовому навантажуванні напіввагонів на станції або на під'їзних коліях – спеціальна ремонтна установка типу “Донбас” або інших типів. При незначній відстані до сортувальної станції можливе застосування варіанту технології передачі вагонів, що вимагають укрупненого відчепного ремонту, до вагонного депо (при можливості їх включення до складу передаточних поїздів за умови дотримання безпеки руху).

Згідно з типовим технологічним процесом [81], комерційний огляд вагонів повинен здійснюватися паралельно з їх технічним обслуговуванням. До складу однієї групи входять: старший прийомо-здавальник, два приймальника поїздів та робітник по усуненню комерційних несправностей.

Число груп встановлюється в залежності від обсягів руху, норми часу на обслуговування одного вагону однією групою та тривалості обробки состава за технологічним процесом. Аналіз результатів хронометражних

досліджень показав (рис.К.2), що згладжувальна крива статистичного розподілу інтервалів комерційного обслуговування може бути апроксимована, як і для технічного обслуговування кривою зрізаного нормального розподілу. Визначено, що тривалість обслуговування одного вагону у більшості випадків наближається до математичного очікування, але усунення окремих несправностей викликає значні простої, особливо при необхідності складання актів загальної форми, викликання робітників воєнізованої охорони та міліції. Основні причини міжопераційних простоїв становлять: відсутність пломб - 31,4 %; розрив пломбувального дроту - 11,7 %, пошкодження та крадіжка частин колісної техніки – 29,2 %; пошкодження та ослаблення кріплення вантажів – 12,5 %; зсув вантажів – 4,9 %; інші комерційні несправності – 11,3 %. Враховуючи, що склад групи ПКО більший, ніж груп ПТО, математичне очікування тривалості обслуговування у області максимальних значень практично не повинне перевищувати $M [t_{то}]$, але періодичне виникнення міжопераційних простоїв викликає його збільшення на 7-12 % і при розрахунках може прийматися $1,1 M [t_{ко}]$.

Дослідженнями встановлено, що рівень навантаження бригад ПКО при двогрупному обслуговуванні складає від 0,4 до 0,6, але в окремі нестационарні періоди він збільшується до 0,8 - 0,9, викликаючи збільшення простоїв рухомого складу, проте суттєвого впливу на середньодобове значення $\psi_{ко}$ такі періоди не чинять.

3.2 Дослідження процесів обслуговування вантажних фронтів

Вантажні фронти обслуговуються маневровими локомотивами, автомобільним рухомим складом та вантажно-розвантажувальними засобами. Від організації їх роботи та рівня навантаження залежить інтенсивність обслуговування підсистеми складування і зберігання вантажів, пробіги та простої рухомого складу, експлуатаційні витрати по утриманню основних пристроїв та необхідного штату.

Рівень навантаження маневрового локомотива залежить від значного числа факторів: тривалості розформування составів передаточних поїздів, числа груп та відчепів у составі, числа сортувальних колій та конструкції сортувального парку, типу сортувального пристрою, схеми розташування основних пристроїв вантажного району, числа під'їзних колій і технології їх обслуговування, відстані до вантажних фронтів на під'їзних коліях, допустимої швидкості руху за умови технічного стану та умов габаритності і ін.

При розформуванні составів на вантажних станціях загального користування у більшості випадків застосовуються витяжні колії з горловинами сортувальних парків на площадці, або на уклоні; окремі станції обладнанні напівгірками, які згідно з [77], повинні утримуватися за нормами сортувальних гірок малої потужності без гальмової позиції на спускній частині, але повздовжній профіль їх на сьогодні залишається не перевірений технологічними розрахунками і не виправлений у відповідності до встановлених норм. У зв'язку з цим маневрова робота по розформуванню здійснюється поштовхами, а тривалість, згідно [62, 71], може визначатися

$$t_{p\phi} = (a_n + b_n m_c) + (a_{p3} + b_{p3} m_c \frac{g+1}{2g}) \frac{V_{p3} g}{60} + (a_a + b_a m_c \frac{g-1}{2g}) \frac{V_{p3} g}{60} + (a_B + 0,5b_a m_c)(g-1) + t_g, \quad (3.3)$$

де a_p , a_{p3} , a_g , a_B – питомі витрати часу на переміщення маневрового локомотива при

перестановці состава на витяжну колію, розгоні, гальмуванні та відтягуванні для нового поштовху у залежності від довжини напіврейсу;

v_p , v_{p3} , v_g , v_B – питомі витрати часу на переміщення одного вагону при перестановці состава на витяжну колію, розгоні, гальмуванні та відтягуванні для нового поштовху у залежності від довжини напіврейсу;

m_c – число вагонів у составі;

V_{p3} – швидкість розгону, м/с;

g – число відчепів у составі;

t_d – додатковий час на осаджування відчепів, які заборонені до розпуску без локомотива, на розпорядження по виконанню маневрової роботи, міжопераційні зупинки через неможливість розчеплення вагонів, недокочування окремих відчепів за граничний стовпчик і ін.

При використанні гірки малої потужності тривалість розформування визначається за умови насуву і вільного скочування відчепів під дією сили тяжіння вагонів. Швидкість розпуску, згідно [77], складає 0,8 м/с, при цьому розрахунковий інтервал між суміжними відчепами визначається по найвіддаленішому стрілочному переводу у горловині. При несприятливих умовах сполучення суміжних відчепів, коли за вагоном легкої вагової категорії, скочується вагон важкої вагової категорії, насув і розпуск може припинятися при відсутності гальмових засобів на спускній частині гірки

$$t_{p\phi} = (a_n + b_n m_c) + \left[\frac{0,06 l_v m_c}{V_p} \left(1 - \frac{1}{2g}\right) + \frac{t'_p N'_n}{N_n} \right] + 0,06 m_c, \quad (3.4)$$

де l_v – розрахункова довжина вагона, м;

V_p – середня розрахункова швидкість розпуску состава, км/год.;

t'_p – додаткова тривалість розпуску вагонів, які заборонено до спуску з гірки без локомотива, хв;

N'_n – число поїздів з вагонами, які заборонені до спуску з гірки без локомотива.

Тривалість збирання групи вагонів при формуванні подач на вантажні fronti визначається у залежності від співвідношення числа груп ($n_{гр}$) і числа колій сортування ($m_{кc}$). При $n_{гр} > m_{кc}$ [71]

$$t_{3A} = \left[a_{3A} + b_{3A} \frac{m_c(m_{\acute{e}c} + n_{rp})}{2m_{\acute{e}c}n_{\acute{a}p}} \right] m_{\acute{e}c} + a_{\delta} n_{rp} + t_{\acute{a}}, \quad (3.5)$$

де $a_{3\delta}, b_{3\delta}$ – питомі витрати часу на переміщення маневрового локомотива та одного вагона при збиранні груп у залежності від довжини напіврейсів;

a_x – питомі витрати часу на переміщення маневрового локомотива при холостих заїздах у залежності від довжини напіврейсів.

При $n_{гр} \leq m_{кc}$ [71]

$$t_{3A} = \left[a_{3A} + b_{3A} \frac{m_c}{m_{\acute{e}c}} \right] m_{\acute{e}c} + a_{\acute{e}} n_{\acute{e}\bar{n}} + t_{\acute{a}}. \quad (3.6)$$

Число вагонів, що сортуються повторно, згідно з дослідженнями [56], можна визначити

$$m_{\hat{N}} = \frac{m_c(n_{rp} - m_{\acute{e}c} - 1)^2}{2m_{\acute{e}c}n_{\acute{a}p}}. \quad (3.7)$$

Рівень навантаження маневрового локомотива на протязі розрахункового періоду складе [50]

$$\Psi_{мл} = \frac{N_n(t_{p\phi} + t'_l + t''_l + t_{з\phi}) + \sum_{i=1}^n X_{pi}(t_{з\delta i} + t_{нзи})}{T_p - T_n}, \quad (3.8)$$

де N_n – середньодобове число передаточних поїздів;
 n – число вантажних фронтів;
 t'_n – середня тривалість очікування локомотивом початку розформування після виконання операцій по технічному та комерційному обслуговуванню вагонів, хв;
 t''_n – середня тривалість очікування локомотивом початку операцій закінчення формування після обслуговування вантажних фронтів, хв;
 $t_{зф}$ – тривалість закінчення формування состава передаточного поїзда, хв;
 x_{pi} – розрахункове число подач вагонів на i -й вантажний фронт;
 t_{nzi} – тривалість подавання та збирання груп вагонів з урахуванням розставлення і збирання на i -му вантажному фронті, хв;
 T_p – тривалість роботи маневрового локомотива хв;
 T_n – тривалість виконання постійних операцій (екіпірування локомотива, зміна бригад, технічне утримання основних пристроїв станції, ворожість маршрутів, відсутність роботи і ін.), хв.

Рівень навантаження автомобілів, задіяних на обслуговуванні вантажних фронтів, в першу чергу залежить від організації їх роботи на протязі зміни, тривалості обороту, міжопераційних простоїв при виконанні основних технологічних операцій, вантажопідйомності та місткості автомобілів.

Організація роботи автомобілів повинна базуватися на досягненні мінімальних експлуатаційних витрат при оптимальному розподілі рухомого складу певної вантажопідйомності та місткості до відповідних пунктів призначення [87]

$$E = \min_{X_{ijk}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r x_{ijk} q_{ik} e_{ijk}, \quad (3.9)$$

де i – число пунктів призначення;
 j – число видів вантажів;
 k – число типів автомобілів;
 q – статичне навантаження автомобіля, т.

Сумарне число автомобілів k -го типу що обслуговують певні вантажні фронти складе

$$x_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ijk}, \quad (3.10)$$

при цьому сумарний обсяг вантажів j -го виду, що перевозяться автомобілями k -х типів до i -х пунктів призначення повинен бути не менше наявного для перевезення

$$Q_{ij} \leq \sum_{k=1}^r n_{ijk} x_{ijk} q_{jk}, \quad (3.11)$$

де n_{ijk} – число рейсів автомобілів k -го типу при перевезенні вантажів j -го виду до i -х пунктів призначення.

Поставлена задача вирішується за допомогою лінійного програмування при попередньому визначенні відстані до пунктів призначення і тривалості обороту автомобілів та вартості перевезення у залежності від виду вантажу та типу автомобілів.

Рівень навантаження автомобіля буде визначатися [21]

$$\Psi_a = \frac{q_a T_a}{T_{об} Q}, \quad (3.12)$$

де T_a – тривалість робочого часу автомобіля, год;
 $T_{об}$ – тривалість обороту, год;

Q – запланований обсяг перевезень вантажів на протязі робочого часу,
т.

При перевезенні контейнерів зменшення рівня навантаження автомобілів можна досягти впровадженням обмінних контейнерних пунктів, які забезпечують підвищення інтенсивності перевезення за рахунок скорочення тривалості обслуговування в пунктах призначення з розрахунковим обсягом роботи. Згідно з дослідженнями [59], мінімальний середньодобовий обсяг контейнерів, при якому доцільно експлуатувати існуючий або відкривати новий обмінний пункт складає

$$N_{окп}^p = \frac{E_{мп} + n_{зм}e_m + n'_{зм}e_{пз}}{\frac{T_p e_a}{T_{оп} K_a} + \frac{2E_{мс}}{N_{ко}} + \frac{T_p e_6 [(1 + K_{зо})t_{оп} - t'_{оп}]}{T_{оп} K_a} - E_k}, \quad (3.13)$$

де $E_{мп}$ - приведені витрати на утримання однієї ВРМ на обмінному пункті, грн./добу;

$n_{зм}$ – число змін роботи ВРМ на обмінному пункті;

e_m – заробітна плата бригади механізаторів, що обслуговують ВРМ на обмінному пункті, грн./зміну;

$n'_{зм}$ – число змін роботи прийомо – здавальників після закриття складу підприємства;

$e_{пз}$ – питома заробітна плата прийомоздавальника на обмінному пункті, грн./год;

T_p – тривалість рейсу автомобіля, год;

$T_{оп}$ – тривалість роботи обмінного пункту на протязі доби, год;

e_a – приведена вартість однієї години експлуатації автомобіля, грн.;

K_a – число контейнерів на одному автомобілі;

$E_{мс}$ – питомі приведені витрати на утримання однієї ВРМ на складі підприємства, грн./добу;

$N_{ко}$ – норма виробітку на одну ВРМ у контейнероопераціях за зміну;

e_b – заробітна плата водія автомобіля, грн./год;

K_{zo} – коефіцієнт зворотної операції з контейнерами;

t_{on} – тривалість простою автомобіля під однією вантажною операцією без зйому контейнерів, год;

t'_{on} – тривалість простою автомобіля під однією вантажною операцією при зйомі контейнерів, год;

E_k – приведені витрати на утримання одного умовного контейнера, грн.

Якщо фактичний обсяг роботи обмінного пункту буде менше розрахункового, то необхідно зменшити тривалість його роботи за умови економічної ефективності його функціонування [59]

$$T_{on} = \sqrt{\frac{N_{oei}^{\phi} T_{ia}^2 [\hat{E}_{aa}(E_i + \alpha_p) K_a (E_i + \alpha'_p)]}{365 [N_{oei}^{\phi} t'_{on} e_a + T_{ia} \hat{E}_a (\hat{a}_i + \hat{a}_{nc})]}}, \quad (3.14)$$

де N_{oei}^{ϕ} – фактичний середньодобовий обсяг роботи обмінного пункту, конт.;

$K_{ав}$ – вартість автомобіля, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

α_p, α'_p – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення і капітальний ремонт автомобіля та гаража;

K_r – вартість гаража, що приходить на один автомобіль, грн.;

t'_{on} – тривалість простою автомобіля під вантажними операціями, год.

Для вибору режиму обслуговування обмінного пункту необхідно визначити допустиму середню тривалість затримки контейнера з вантажем на станції [59]

$$t_{3T} = \frac{T_{об} [K_{ав}(E_n + \alpha_p) + K_r(E_n + \alpha'_p)]}{365 K_a E_n e_{кз} (K_{zo} e_{BT} q_{KT} + K_{KT})}, \quad (3.15)$$

де $e_{вТ}$ - питома вартість однієї тонни вантажів, що перевозяться у контейнерах, грн.;

$q_{кт}$ - середнє завантаження одного контейнера, т;

$e_{кг}$ - приведена вартість однієї контейнеро - години, грн.;

$K_{кт}$ - вартість одного контейнера, грн.

Результати розрахунків для різних вихідних даних показують, що тривалість затримки контейнерів на станції складає від 2 до 12 годин. Це пояснюється значною вартістю вантажів, які перевозяться у контейнерах, що підтверджує значність впровадження обмінних контейнерних пунктів із збільшенням частки перевантажування контейнерів безпосередньо з вагону на автомобілі. Така технологія обслуговування найбільш потужних підприємств дозволяє зменшити рівень навантаження автомобілів і скоротити їх простої у очікуванні початку виконання основних технологічних операцій.

При визначенні рівня навантаження ВРМ слід враховувати подвійний обсяг переробки вантажів як при завозі автомобілями та відправленні вагонами, так і при надходженні залізницею та вивезенні автотранспортом. При цьому число операцій, при достатній розрахунковій кількості автомобілів, практично буде однаковим, але розосередженим у часі, крім випадків безпосереднього перевантажування з вагонів на автомобілі та навпаки. Якщо наявний рухомий склад не відповідає розрахунковому на задані обсяги роботи, то частина вантажів залишиться не вивезеною зі складів автомобілями [21]

$$\Delta m_{zp}^H q_a^H = n_{zp}^H m_{zp}^H q_a^H - N_a^6 q_a^6, \quad (3.16)$$

або не відправлена залізницею

$$\Delta m_{zp}^B q_a^B = N_a^3 q_a^3 - n_{zp}^B m_{zp}^B q_a^B \quad , \quad (3.17)$$

що підвищить рівень навантаження ВРМ і викличе додаткові простой рухомого складу, збільшуючи величину залишків вантажів. В таких випадках пропонується розробляти заходи по підвищенню продуктивності вагонів, одним з яких є ущільнене навантажування в першу чергу критих вагонів.