

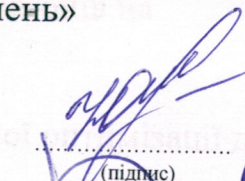
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**
Навчально-науковий інститут транспорту та будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр

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

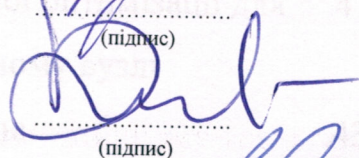
на тему: «Вдосконалення технології роботи залізничного вузла
використанням системи підтримки й прийняття рішень»

Виконав: студент групи ОПЗТ-19дм
Бутенко Ю.С.



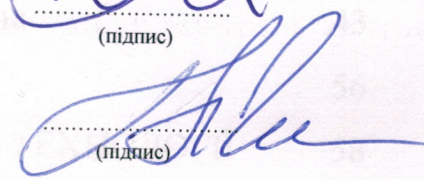
(підпис)

Керівник: ст. викл. Водолазський О.О.



(підпис)

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



(підпис)

Рецензент: Шелест О.М.

.....
(підпис)

2.2 Особливості використання методу системної оптимізації для організації перевезень вантажів у залізничному вузлі

Починаючи з середини 2011 року Укрзалізниця перевела в активну фазу впровадження інноваційних технологій у перевізний процес вантажоперевезень. Активне впровадження електронного документообігу у внутрішньодержавному сполученні хоча і виявило окремі недоліки (недостатню кількість та якість каналів зв'язку, недоопрацьованість програмного забезпечення та ін.), проте має переконливий позитив в плані переходу на використання прогресивних технологій.

На сьогодні через нестачу вантажних вагонів (в першу чергу найбільш використовуваного - піввагонів) практично вичерпано технічні можливості залізниць у збільшенні перевезень. Виходячи з цього на сучасному етапі одним з пріоритетних напрямків технічного реформування повинна стати зміна технологій та системи взаємодії з клієнтами-вантажовласниками. В умовах дефіциту піввагонів в 2011 році структурними підрозділами залізниць проводилась цільова робота щодо переключення по мережі Укрзалізниці 10 млн. т вантажів (лісні, метал, залізорудна сировина, глина, будівельні та ін.) на перевезення на платформах. Посилилась також робота щодо збільшення обсягів перевезень великовартісних вантажів, що перевозяться в критих та переобладнаних рефрижераторних вагонах. З початку 2012 року проведені конкретні кроки в цьому напрямі. З метою поліпшення стану та більш ефективної експлуатації вагонного парку на залізничному транспорті України створенні державні вагонні компанії (вагонні оператори) на базі спеціалізованих вагоноремонтних підприємств. Більше 50 тис. вагонів інвентарного парку передані у власність цих компаній (піввагони - ДП «Дарницький вагоноремонтний завод» і ДП «Український державний центр по експлуатації спеціалізованих вагонів», платформи – ДП «Український Державний центр транспортного сервісу Ліски», криті – «Український

державний центр залізничних рефрижераторних перевезень», спеціалізований рухомий склад – ДП «Стрийський вагоноремонтний завод»). Вагони поетапно передані з балансу регіональних залізниць на баланси вагонних операторів, які повинні будуть стежити за станом вагонів, виконувати капітальний ремонт, інвестувати у відновлення парку. На початок 2012 року фізичний знос парку вантажних вагонів становить 86 %, 50 % всіх піввагонів уже вичерпали нормативний термін служби – 22 роки. Ще гірший стан піввагонів, які повний час знаходились в експлуатації за межами України (на початок 2012 року таких було понад 7 тисяч одиниць).

Організація перевезень вантажів у вагонах власників – державних вагонних операторів та порожніх вагонів цих компаній здійснюється новоствореним державним підприємством «Український транспортно-логістичний центр» (ДП УТЛЦ) на підставі договорів між ДП УТЛЦ, залізницями, державними вагонними компаніями та замовниками перевезень (клієнтами-вантажовласниками).

Задачею логістичного центру є залучення нових вантажопотоків і збільшення обсягів перевезень вантажів залізницями України. ДП УТЛЦ організовує перевезення у вагонах державних вагонних компаній, займається питаннями прискорення повернення вагонів власності України з-за кордону, більш ефективною експлуатацією вагонного парку в першу чергу за рахунок всебічного скорочення порожнього пробігу завдяки централізованому регулюванню переміщення порожніх вагонів. Практично вагони державних вагонних операторів знаходяться в оперативному управлінні ДП УТЛЦ.

Відомо, що діюча структура тарифу на перевезення вантажів у власних вагонах (тобто вагонах не інвентарного парку) включає виділену окремим рядком вагонну складову. Це чітко позначена частина тарифу, яку з кожного перевезення ДП УТЛЦ, що оперує переданим парком рухомого складу, в обов'язковому порядку перераховує його власникам – державним вагонним операторам. Тобто, це гарантована інвестиція в оновлення вагонного парку для вантажних перевезень.

Виходячи з вище наведеного, зрозуміло, що такі значні зміни в досить короткі строки безсумнівно суттєво відобразились на взаємодії створених структур та перевізника з клієнтами-вантажовласниками. З набуттям статусу «власний» вантажний вагон став для клієнта-вантажовласника дорожче інвентарного вагона, тобто витрати на перевезення вантажів у вантажовласників зросли. Зрозуміло, що український вагон повинен конкурувати з рухомим складом інших учасників ринку на рівних умовах (порівняно з тарифними умовами, які діють щодо вагонів російських компаній ПГК, ВГК вартість перевезення вантажів буде значно нижчою). На цих умовах виконувати ремонт та утримувати парк у технічно-справному стані стало набагато легше. Однак основне фінансове навантаження покладається (перекладається) на клієнта-вантажовласника. При цьому логістичний центр бере на себе інформаційну підтримку клієнта та координує роботу з порожнім вагоном.

Взаємовідносини ДП УТЛЦ і клієнта-вантажовласника повинні носити взаємовигідний характер, від чого буде залежити величина системного ефекту. Вантажовідправник сплачує за порожній пробіг власного вагону, логістичний центр працює над ефективним використанням наявного рухомого складу (в першу чергу над максимальним зменшенням порожнього пробігу). При досягненні позитивних результатів логістичним центром знизиться і фінансове навантаження на клієнта-вантажовласника за рахунок зменшення оплати порожнього пробігу вагона.

Для залізниць головною метою є підвищення конкурентноспроможності перевезень, для чого необхідно використовувати нові підходи в управлінні доставкою вантажу та взаємодії з клієнтами. Із створенням ДП УТЛЦ для здійснення перевезень по всій території України клієнту достатньо укласти угоду з логістичним центром. Від процесу заявки до завершення перевезення повинна бути мінімальна кількість операцій і спілкування клієнта із залізницею. Проводиться подальша робота із зміни алгоритму взаємодії з клієнтами, яка передбачає спрощення внутрішніх перевізних технологій.

В цьому сенсі досить важливими виступають залізничні вузли, в яких концентруються клієнти-вантажовласники, інфраструктура залізниць і де певний час знаходиться рухомий склад та мають місце його значні затримки із-за різних причин.

Дослідження часу знаходження вантажних вагонів на основних опорних станціях Вузла Х. у 2014-2017 роках виявило [11]: «що основними причинами затримок рухомого складу є неузгодженість в організації робіт підприємств по вивантаженню вагонів, перевищення технологічного часу знаходження вагонів під митними операціями та тривале очікування переадресування, причому загальна, або основна частка цих затримок у загальному простою становить більше 90%, тому основна увага у зменшенні часу знаходження рухомого складу на станціях і у вузлі в цілому повинна бути спрямована на вдосконалення технології роботи станції, взаємодії її із суміжними структурами (митними органами) та під'їзних колій і станції примикання».

На сьогодні на перший план виступає розробка заходів: «Які спрямовані на зменшення можливих затримок вагонів на всьому шляху прямування від вантажовідправника до вантажоодержувача, виходячи з різкого дефіциту вантажних вагонів (насамперед напіввагонів), та гнучкої тарифної політики, а ефективна робота усіх ланок перевізного процесу можлива в першу чергу на базі логістичного управління за рахунок системної оптимізації, яка і розглядається у роботі, що дасть можливість узгодити взаємодію усіх учасників перевізного процесу різних форм власності» [12, 13].

До системи вантажних перевезень Укрзалізниці входять вантажовідправник, перевізник (залізниця), транспортно-логістичний центр та оператори вантажних вагонів.

Для вирішення задачі узгодження потреб і можливостей для забезпечення заданного обсягу перевезення у конкретних типах вантажних вагонів введемо деякий простір H , який будемо називати простором цільового призначення системи [18], який визначає потрібну кількість

вагонів різних типів у залізничному вузлі. У цьому просторі розглядаємо певний вектор $u \in H$, який буде називатись вектором заявок на перевезення вантажів конкретними типами вагонів, які повинна виконати залізниця.

Вихідні можливості вагонних операторів можливо описати за допомогою області $D_6^o \in H$ цільового простору системи. Можливості перевізника по обробці заданого обсягу вагонів задаються областю $D_n^o \in H$. Метою системи є задоволення потреб вантажовідправників (виконання заданого обсягу перевезень у вагонах), які можуть бути задані областю $D_3^o \in H$. Критеріями функціонування системи є $F_0 = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5\}$, де F_1 - мінімізація витрат на ремонт, грн.; F_2 - мінімізація витрат на пробіг вагонів, грн.; F_3 - мінімізація витрат на утримання інфраструктури, грн.; F_4 - підвищення якості виробничих потужностей (в тому числі і інформаційних), грн.; F_5 - підвищення якості виконання заявок на перевезення.

Графічна інтерпретація цільового простору для випадку використання двох типів вагонів зображена у системі координат (рис. 2.15).

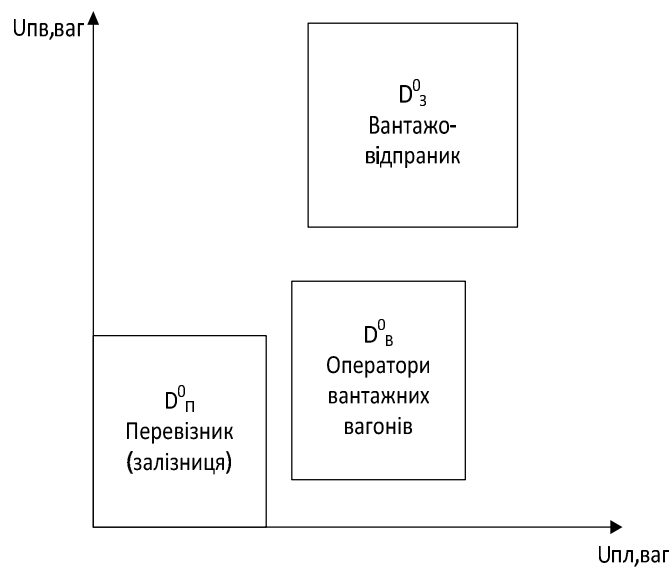


Рис. 2.15 Графічна інтерпретація цільового простору

В тому випадку, коли перетин трьох областей $D_6^o \cap D_n^o \cap D_3^o = 0$ є пустою множиною, виникає задача коригування цих областей. З цією метою

виконується розширення простору U і введення додаткового простору $U \times \Sigma$, де Σ – простір нових змінних, які визначаються вектором $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - змінні, які пов'язані з варіюванням параметрів. σ_1 - з варіюванням параметрів області D_6^0 , σ_2 - D_n^0 , σ_3 - D_3^0 . В результаті формуються розширені області D_6^1, D_n^1, D_3^1 .

Коригування області D_6^0 виконується на основі векторного критерію $F = \{F_1, F_2, F_3\}$. До них відносять F_1 - інвестиції у новий рухомий склад, грн.; F_2 - інвестиції у ремонт вагонів, грн.; F_3 - інвестиції у поліпшення організації експлуатаційної роботи, грн. Коригування D_n^0 виконується на основі критерію $V = \{V_1, V_2\}$, де V_1 - інвестиції у збільшення пропускної спроможності, грн.; V_2 - інвестиції у залізничну інфраструктуру (локомотиви, сортувальні пристрої тощо), грн. Щодо корекції D_3^0 , то вона виконується на основі векторного критерію $W = \{W_1, W_2\}$, де W_1 - інвестиції у власний рухомий склад, грн.; W_2 - втрати від зміни потреб, грн. Дані критерії визначають ступінь відхилення від мети, яка стоїть перед системою.

На вектор σ накладається ряд обмежень: $\sigma_1 \in D_{\Sigma_1}$, $\sigma_2 \in D_{\Sigma_2}$, $\sigma_3 \in D_{\Sigma_3}$, де в свою чергу: $D_{\Sigma_1} \in \Sigma_1$, $D_{\Sigma_2} \in \Sigma_2$, $D_{\Sigma_3} \in \Sigma_3$, $\Sigma = \Sigma_1 \times \Sigma_2 \times \Sigma_3$ (декартове множення).

У результаті формується наступна задача: знайти множину ефективних альтернатив $(u, \sigma) \subset U \times \Sigma$, які оптимізують множину критеріїв $F = \{F_1, F_2, F_3\}$, $V = \{V_1, V_2\}$, $W = \{W_1, W_2\}$ за умови, що $(u, \sigma_1) \in \tilde{D}_6$, $(u, \sigma_2) \in \tilde{D}_n$, $(u, \sigma_3) \in \tilde{D}_3$, де $\tilde{D}_6, \tilde{D}_n, \tilde{D}_3$ - області, які по суті є розширеними областями по відношенню до D_6^0, D_n^0, D_3^0 за рахунок введення нових змінних $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Графічна інтерпретація цільового простору коригування початкових областей наведена на рис. 2.16.

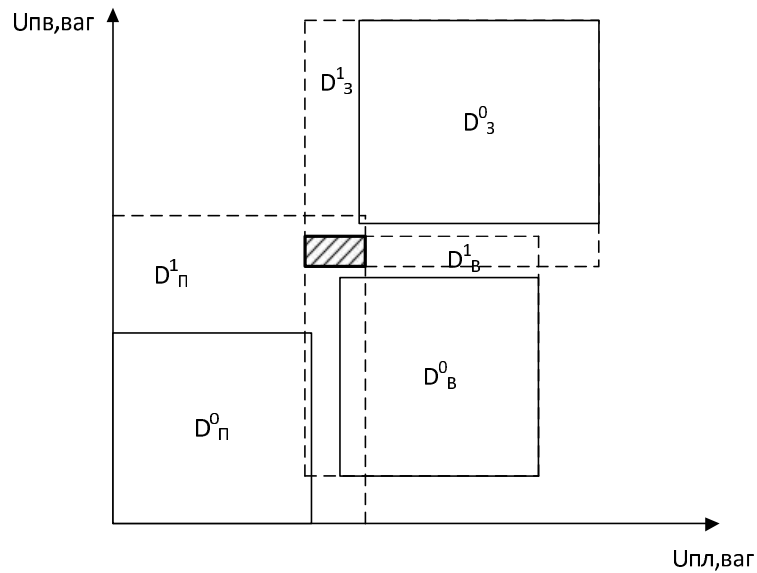


Рис. 2.16 Графічна інтерпретація цільового простору коригування початкових областей D_n^0, D_n^1, D_3^0 критеріями F, W, V

Критерії задачі векторної оптимізації об'єднуємо у три групи (коаліції):

1. Критерії F_r ;
2. Критерії V_h ;
3. Критерії W_g .

У подальшому будемо вважати, що критерії третьої групи (цільові) мають більш високий пріоритет по відношенню до критеріїв першої та другої групи.

На базі критеріїв кожної коаліції формуються критерії

$$F = \sum_{r \in R} \rho_r \omega_r(F_r), \quad (2.2)$$

$$V = \sum_{h \in H} \rho_h \omega_h(V_h), \quad (2.3)$$

$$W = \sum_{g \in G} \rho_g \omega_g(W_g), \quad (2.4)$$

де ρ_r, ρ_h, ρ_g - відповідні вагові коефіцієнти критеріїв F, W, V ;

$\omega_r, \omega_h, \omega_g$ - перетворення критеріїв до безрозмірного виду.

Запропонований метод формування ефективних рішень управління розвитком системи полягає у тому, що до критеріїв F, W, V застосовується метод поступок, а по відношенню до кожної коаліції критеріїв – метод обмежень, що дозволяє отримати сприятливі узгоджені рішення усіх учасників перевізного процесу на базі неузгодженої моделі [20].

Таким чином, ефективна робота усіх учасників перевізного процесу можлива в першу чергу на базі логістичного управління, що дасть можливість бути рівноправними учасниками у сфері організації та функціонування вантажних перевезень на ринку транспортних послуг.

Використання підходу системної оптимізації в організації вантажних перевезень дозволить: «Здійснити узгодження учасників перевізного процесу різних форм власності, а це вплине на зменшення обороту вантажного вагона (в частині зменшення порожнього пробігу) та на скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних зі значними простоями рухомого складу на станціях вузла, додатково дозволить залучити нові обсяги перевезень, покращити взаємодію залізниці (УТЛЦ) з вантажовідправниками в інформаційному просторі (дистаційне спілкування, прощення процедури прийняття вантажу до перевезення через укладання договору з УТЛЦ тощо)» [10-12].

2.3 Оцінка технології роботи залізничного вузла

Для визначення раціонального рівня витрат, пов'язаних з часом перебування вагонів у залізничному вузлі, пропонується визначати загальні вагоно-години на певних технологічних ланцюгах. Раціоналізація матеріального потоку можлива в межах однієї станції або примикаючої до неї під'їзної колії. Однак максимальний ефект (синергетичний ефект) можливо досягти лише оптимізуючи технологічну обробку вагонопотоків на всьому шляху перебування у вузлі або окремі його ділянки. При цьому всі ланки

технологічного переміщення вантажного вагона у вузлі повинні працювати як єдиний злагоджених механізм, за єдиною технологією вузла. Для вирішення цієї задачі необхідно з системних позицій підійти до виявлення розбіжностей у технології роботи підсистем вузла, організації передавального руху між ними, узгодження суперечливих інтересів та інших питань.

Як відомо, залізничний вузол є складною системою, яка розділена на підсистеми [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Керуючись принципом емерджентності залізничного вузла, як логістичної системи, введемо критерій оцінки ефективності роботи елементів вузла, як відношення мінімально можливих витрат вагоно-годин до фактичних, що в сукупності зі системою обмежень (пропускної спроможності, достатніх виробничих потужностей тощо) характеризують здатність підсистеми ефективно керувати вагонопотоками. Кожна складова на певних станціях матиме свої відмінності. Складові витрат вагоно-годин на різних елементах залізничного вузла представлені на рис. 2.18.

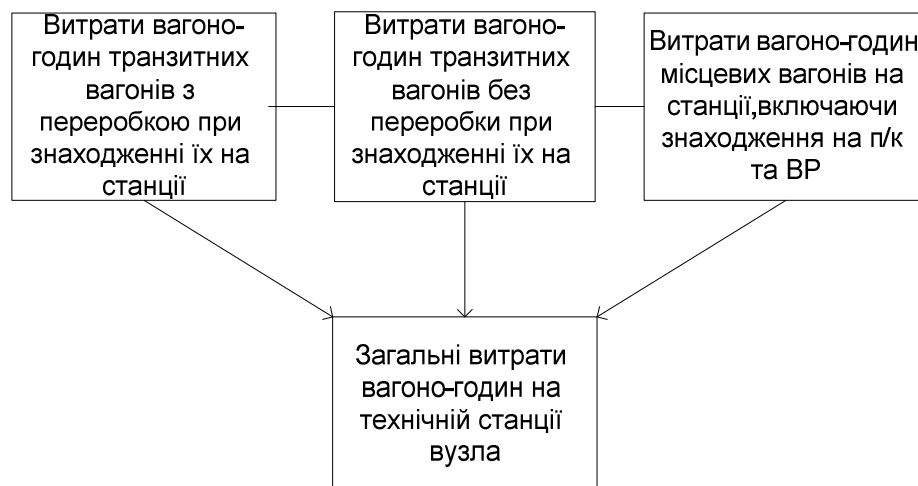


Рис. 2.18 Складові фактичних витрат вагоно-годин на елементах залізничного вузла

На вантажних станціях ці складові будуть дещо відрізнятись. По-перше це залежатиме від типу вантажної станції. Так, на станції тупикового типу ведеться обробка тільки місцевих вагонів. На скрізних вантажних станціях транзитні вагони з переробки знаходяться на станції значно більше часу ніж на технічних, пов'язано це в першу чергу з вищими потужностями сортувальних пристроїв на технічних станція. Загалом складові фактичних витрат вагоно-годин ті ж самі, що і на технічних станціях, але з різними числовими значеннями.

Негативним явищем у залізничному вузлі є досить велика кількість понаднормативних витрат вагоно-годин, які повинні враховуватися при розрахунках загальних витрат. До них відносять: очікування відправлення поїздів на технічну та вантажну станцію, очікування переставлення составів, очікування подавань-забирань, очікування прийняття на станцію та інше.

Інший час вантажний вагон перебуває у русі між станціями вузла та, у деяких випадках, на проміжних та пасажирських станціях, включаючи понаднормативні витрати, в основному, які виникають при незапланованих у графіку руху поїздів зупинках на прилеглих дільницях. Добуток витрат вагоно-годин на цих елементах вузла зображені на рис. 2.19.

Усі ці три доданки об'єднаємо у єдину складову, яка буде мати назву витрати вагоно-годин, пов'язаних з внутрішньовузловим переміщенням.



Рис. 2.19 Складові фактичних витрат вагоно-годин у передавальному русі та на проміжних і пасажирських станціях вузла, включаючи понаднормативні витрати

Ефективність роботи вузла, як єдиної системи, метою якої є отримання синергетичного ефекту, пропонується визначати за допомогою критерію якості функціонування системи, за яким можна судити про рівень організації роботи вузла [12]

$$\psi = \frac{C_{\epsilon}^{\min}}{C_{\epsilon}^{\text{факт}}}, \quad \psi \in [0,1], \quad (2.5)$$

де C_{ϵ}^{\min} - мінімально можливі витрати при раціональній технології роботи вузла, ваг-год;

$C_{\epsilon}^{\text{факт}}$ - фактичні витрати існуючої технології роботи вузла, ваг-год.

З урахуванням маршруту переміщення вагона у вузлі, середніх значень вхідних та вихідних потоків вантажної і технічної станції, значень знаходження вагонів на цих станціях за певний проміжок часу (доба, тиждень, місяць), можливо зробити розрахунок витрат вагоно-годин при детермінованому режимі роботи вузла

$$C_{\epsilon}^{\text{факт}} = (U_{\text{м}}^{\epsilon} \cdot t_{\text{м}}^{\epsilon} + U_{\text{мп.б/н}}^{\epsilon} \cdot t_{\text{мп.б/н}}^{\epsilon} + U_{\text{мп.н}}^{\epsilon} \cdot t_{\text{мп.н}}^{\epsilon}) + U_{\text{неп}} \cdot t_{\text{неп}} + \\ + (U_{\text{м}}^{\text{м}} \cdot t_{\text{м}}^{\text{м}} + U_{\text{мп.б/н}}^{\text{м}} \cdot t_{\text{мп.б/н}}^{\text{м}} + U_{\text{мп.н}}^{\text{м}} \cdot t_{\text{мп.н}}^{\text{м}}), \quad (2.6)$$

де $U_{\text{м}}^{\epsilon}, U_{\text{м}}^{\text{м}}$ - кількість місцевих вагонів відповідно на вантажній на технічній станціях вузла, ваг;

$U_{\text{мп.б/н}}^{\epsilon}, U_{\text{мп.б/н}}^{\text{м}}$ - кількість транзитних вагонів без переробки на вантажній та технічній станціях вузла, ваг;

$U_{\text{мп.н}}^{\epsilon}, U_{\text{мп.н}}^{\text{м}}$ - кількість транзитних вагонів з переробкою на вантажній та технічній станціях вузла, ваг;

$t_{м}^6, t_{mp.б/n}^6, t_{mp.n}^6$ - час знаходження місцевого вагона, транзитного без переробки та транзитного з переробкою на вантажній станції вузла, год;

$t_{м}^m, t_{mp.б/n}^m, t_{mp.n}^m$ - час знаходження місцевого вагона, транзитного без переробки та транзитного з переробкою на технічній станції вузла, год.

U_{nep} - кількість вагонів, що переміщуються у вузлі, ваг;

t_{nep} - час на внутрішньо вузлові переміщення, год.

При стохастичному режимі роботи вузла формула (2.6) буде мати вигляд

$$C_{\epsilon}^{факт} = \int_0^{U_{max}} f_{11}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{21}(t)dt + \int_0^{U_{max}} f_{12}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{22}(t)dt + \int_0^{U_{max}} f_{13}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{23}(t)dt + \\ + U_{nep} * t_{nep} + \int_0^{U_{max}} f_{14}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{24}(t)dt + \int_0^{U_{max}} f_{15}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{25}(t)dt + \int_0^{U_{max}} f_{16}(U)dU \int_0^{t_{max}} f_{26}(t)dt, \quad (2.7)$$

де $f_{1n}(U)dn$ - щільності розподілу вхідних та вихідних потоків відповідно на вантажній та технічній станціях;

$f_{2n}(t)dt$ - щільності розподілу часу знаходження рухомого складу відповідно на вантажній та технічній станціях.

Наприклад, ті вагони, які прибувають до станції та відправляються зі станції Х.-Черв., потрапляють з(на) технічної(у) станції(ю) О.. Фактичні сумарні середньомісячні вагоно-години на цьому технологічному ланцюгу згідно формули (2.4) дорівнюють

$$C_{\epsilon}^{факт} = 832 \cdot 51,44 + 832 \cdot 0,08 + 832 \cdot 2,19 = 44687 \text{ ваг-год}$$

Формула (2.2) та (2.3) може приймати більш розгорнутий вигляд у випадку, коли вантажні вагони прямують до пункту призначення через інші вантажні та (або) технічні станції вузла (рис. 2.20). В цьому випадку до

формули додаються складові по станціях та ділянках, на яких перебував рухомий склад на шляху прямування.

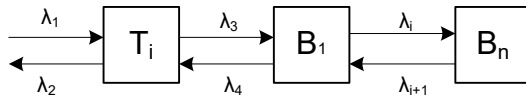


Рис. 2.20 Граф можливих станів вантажного вагона у технологічному ланцюгу залізничного вузла

Побудований граф станів вантажного вагона у Вузлі Х. (рис. 2.21).

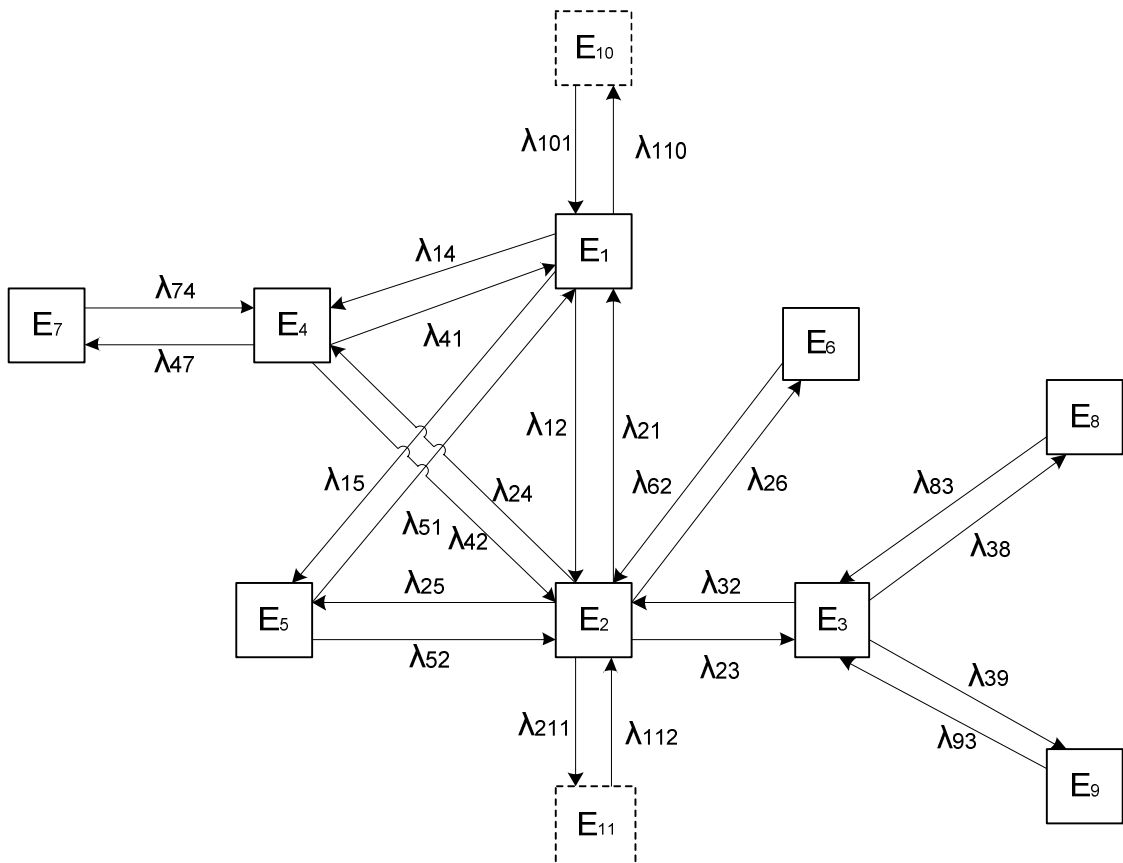


Рис. 2.21 Граф станів вантажного вагона у Вузлі Х.

E_i – знаходження вантажного вагона на i -й технічній станції (E_1 – Х. – С.; E_2 – О.) та i -й вантажній станції (E_3 – Х. Бал.; E_4 – К.; E_5 – Н. Б.; E_6 – Х. Черв.; E_7 – З.; E_8 – І.; E_9 – Р.; E_{10}, E_{11} – передвузлові технічні станції), год;

λ_i – інтенсивності переходів вантажного вагону із стану в стан, ваг/год.

Згідно (2.7) усі змінні є випадковими величинами і тому задача відтворення технології роботи залізничного вузла є задачею стохастичного моделювання.

За допомогою критерію ψ можливо оцінити роботу усіх технологічних ланцюгів системи. У разі виявлення неефективної роботи системи (її елементів) необхідне реагування оперативних працівників через СППР у складі АРМ ДНЦ. Це дозволить вчасно усунути існуючі недоліки у роботі, як певних елементів так і вузла в цілому.

Велика кількість затримок рухомого складу виникає на станціях вузла внаслідок неузгодженості їх технологій. Так, основні затримки на станціях відбуваються із-за недостатньо чіткої взаємодії станції та під'їзних колій підприємств, які належать різним власникам (до 50 % у загальних затримках). Значні затримки також спричиняються знаходженням вагонів під митними операціями (до 45,9 %) та очікуванням переадресування (до 26,7 %). Зокрема перший елемент неузгодженості технології роботи вузла (взаємодія станції та під'їзної колії підприємств) можна мінімізувати на основі системної оптимізації, методи якої дозволяють врахувати інтереси різних учасників транспортного процесу [10] (у даному випадку станцій та під'їзних колій підприємств).

Мінімальна кількість витрачених вагоно-годин при обробці вагонопотоків не завжди є виправданою. Виникає суттєва завантаженість устаткування та задіяння значної кількості трудових витрат. Крім того, використання цих ресурсів тягне за собою великі фінансові витрати. Виходячи з цього, пропонується використання двох критеріїв (мінімум

вагоно-годин та мінімум фінансових витрат) одночасно, що дасть можливість у кожний конкретний момент вибрати раціональну технологію роботи залізничного вузла.

Рішення по вибору технології роботи вузла приймається виходячи з того, що технологія повинна забезпечувати мінімальні витрати вагоно-годин та мати мінімальні фінансові витрати у системі. Складові цього критерію є суперечливими і у загальному випадку неможливо однозначно вибрати альтернативу. Запропоновано використовувати комплексний адитивний згорнутий критерій (θ) для вибору кращої альтернативи [1]. Пропонується найкращою технологією (T) вважати таку, яка забезпечує мінімум наступного критерію на множині \tilde{T}

$$\theta = \inf_{T \in \tilde{T}} \left(\beta_1 \cdot \frac{C_\epsilon - C_\epsilon^{\min}}{C_\epsilon^{\max} - C_\epsilon^{\min}} + \beta_2 \cdot \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \right), \quad (2.8)$$

де $C_\epsilon^{\max} = \max_{T \in \tilde{T}} C_\epsilon^T, C_\epsilon^{\min} = \min_{T \in \tilde{T}} C_\epsilon^T$ - максимальні та мінімальні

витрати, що пов'язано з вагоно-годинами за технологіями із множини \tilde{T} ;

$P_{\max} = \max_{T \in \tilde{T}} P_T, P_{\min} = \min_{T \in \tilde{T}} P_T$, максимальні та мінімальні фінансові витрати

за технологіями із множини \tilde{T} ;

β_1 – важливість першого критерію (витрат вагоно-годин) при прийнятті рішення;

β_2 – важливість другого критерію (фінансових витрат) при прийнятті рішення.

У подальшому комплексний критерій використовується для визначення раціональної технології роботи залізничного вузла на обраний період.

Висновки з 2 розділу

Проведені дослідження дозволили виявити неузгодженості у технології роботи станцій Вузла Х. і у процесі взаємодії залізниці із суміжними структурами. Комплексний підхід у вирішенні задачі зменшення часу знаходження рухомого складу у вузлі дозволить суттєво покращити показники простою вагонів (можливий резерв для Вузла Х. складає до 17,86 год) на залізничних станціях вузлів та вдосконалити взаємодію усіх учасників перевізного процесу, що можливо за рахунок зменшення, в першу чергу, таких складових, як час очікування вантажних операцій, час очікування митних операцій та час на переадресування.

Дослідження залізничного вузла, як логістичної системи, дозволило окреслити сучасні підходи по вдосконаленню роботи вузла в цілому. Оцінка ефективності його роботи дасть можливість оперативно реагувати на конкретні недоліки у технології роботи на рівні підсистем. На основі логістичного управління можливо сформувати єдину технологію роботи залізничного вузла, основною задачею якого повинно стати ефективне управління матеріальними потоками в межах вузла.

Використання підходу системної оптимізації в організації вантажних перевезень у залізничному вузлі дозволить узгодити взаємодію усіх учасників перевізного процесу. За рахунок цього скорочується небажані затримки вантажних вагонів на таких технологічних ланках залізничного вузла, як взаємодія вантажної станції і під'їзної колії (до 50 % затримок), митні, санітарні, фітосанітарні та інші операції (більше 46 % затримок) тощо.

Розроблено модель обігу вантажного вагона при стохастичному режимі роботи залізничного вузла, з урахуванням якої можуть бути виявлені імовірності знаходження рухомого складу на певній станції вузла. В подальшому результати моделювання використовуються при розрахунках загальних витрат вагоно-годин усіх типів вагонів на відповідних елементах системи.

Запропоновано комплексний критерій для вибору раціональної технології роботи, що враховує мінімальні витрати вагоно-годин та мінімальні фінансові витрати. Складові цього критерію є суперечливими, тому при виборі технології роботи залізничного вузла враховується важливість тієї чи іншої складової критерію у кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень.

3. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Особливості визначення оптимальної кількості місцевих вагонів на підсистемах залізничного вузла

На вагонопотік дуже важко впливати. Для залізничного вузла це зовнішній вхідний потік, який потрапляє в систему. На ефективність функціонування такої складної логістичної системи, як залізничний вузол, можна впливати зміною часу знаходження рухомого складу на підсистемах (станціях) вузла при змінному вагонопотоці. Тобто вплив на роботу підсистем вузла можливий шляхом удосконалення технології роботи даних підсистем. Пристосування до заданого вагонопотоку вимагає оптимального використання наявних маневрових та вантажно-розвантажувальних засобів, задіяння необхідної кількості бригад ПКО та ПТО та ін.

Зростаюча конкуренція на ринку транспортних послуг та з боку інших видів транспорту вимагає від залізниці нових логістичних підходів до організації перевізного процесу. Зважаючи на те, що вантажний вагон до 80% часу свого обороту (включаючи вантажні операції) перебуває на станціях залізничних вузлів, виникає необхідність дослідження вузла, як структурної цілісної одиниці транспортної системи. Вантажовласник оцінює якість роботи залізничного транспорту за критеріями часу та мінімальних витрат. Існуючі стохастичні моделі не в повній мірі враховують інтереси учасників перевізного процесу. Постає задача розробки оптимальних моделей відтворення технології роботи залізничних вузлів різних типів. Застосування нового вдосконаленого критерію мінімуму сумарних вагоно-годин при оцінці роботи залізничного вузла дозволить як прискорити час доставки вантажу одержувачу, так і покращити експлуатаційні показники (в першу чергу оборот вантажного вагона).

Для динамічної оцінки станів вагонів усіх типів у залізничному вузлі з визначенням витрат вагоно-годин застосовано метод динаміки середніх [17], який є зручним математичним апаратом, що дозволяє дослідити середні характеристики випадкових процесів та розв'язати систему диференціальних рівнянь Колмогорова для визначення кількісних характеристик станів.

З метою розв'язання задачі визначення фактичних витрат вагоно-годин на елементах вузла розглянуто всі можливі стани вагонів у базовому залізничному вузлі (рис. 3.1).

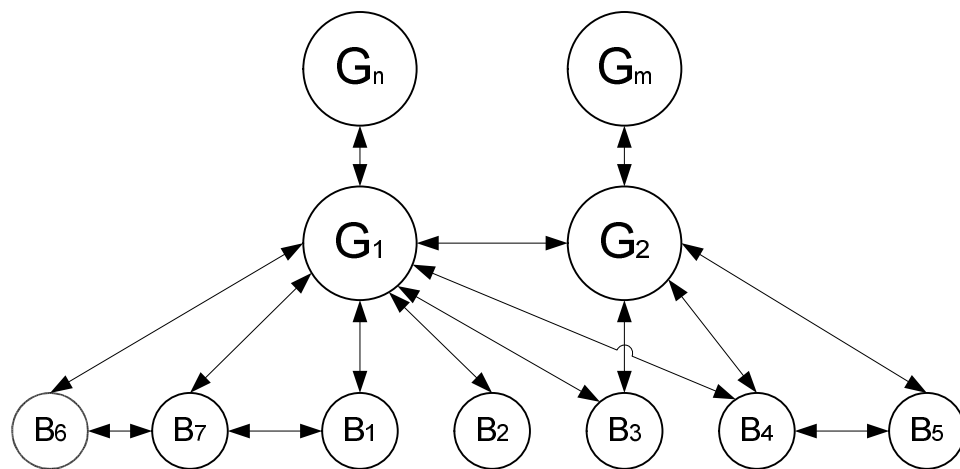


Рис. 3.1 Граф станів вантажного вагона у залізничному вузлі

Імовірність станів згідно рисунка 3.1:

G_n, G_m – передвузлові технічні станції;

G_1, G_2 – сортувальні (технічні) станції вузла – О. і Х.-Сорт. відповідно;

$B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$ - відповідно вантажні станції вузла (Х.-Бал., Х.-Черв., Н.Б., З., К. включаючи станцію Ш., І., Р.).

На основі графічної моделі базового залізничного вузла [4, 9] побудовано систему диференціальних рівнянь, які мають вигляд

$$\left. \begin{aligned}
\frac{dp_1}{dt} &= \lambda_{31}p_3 + \lambda_{61}p_6 + \lambda_{21}p_2 + \lambda_{41}p_4 + \lambda_{51}p_5 - (\lambda_{13} + \lambda_{16} + \lambda_{12} + \lambda_{14} + \lambda_{15})p_1; \\
\frac{dp_2}{dt} &= \lambda_{12}p_1 + \lambda_{52}p_5 + \lambda_{42}p_4 - (\lambda_{21} + \lambda_{25} + \lambda_{24})p_2; \\
\frac{dp_3}{dt} &= \lambda_{13}p_1 + \lambda_{83}p_8 + \lambda_{93}p_9 - (\lambda_{31} + \lambda_{38} + \lambda_{39})p_3; \\
\frac{dp_4}{dt} &= \lambda_{14}p_1 + \lambda_{24}p_2 + \lambda_{74}p_7 - (\lambda_{41} + \lambda_{42} + \lambda_{47})p_4; \\
\frac{dp_5}{dt} &= \lambda_{15}p_1 + \lambda_{25}p_2 - (\lambda_{51} + \lambda_{52})p_5; \\
\frac{dp_6}{dt} &= \lambda_{16}p_1 - \lambda_{61}p_6; \\
\frac{dp_7}{dt} &= \lambda_{47}p_4 - \lambda_{74}p_7; \\
\frac{dp_8}{dt} &= \lambda_{38}p_3 - \lambda_{83}p_8; \\
\frac{dp_9}{dt} &= \lambda_{39}p_3 - \lambda_{93}p_9;
\end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

Рішення цієї системи рівнянь задовольняє нормувальній умові

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 = 1, \quad (3.2)$$

де p_i - відповідна ймовірності знаходження вантажного вагона у E_i стані.

Для дослідження фінальних ймовірностей станів вантажного вагона на станціях вузла отримана матриця інтенсивностей Λ , яка має вигляд

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -\lambda_{12} - \lambda_{16} & \lambda_{21} & \lambda_{31} & \lambda_{41} & \lambda_{51} & \lambda_{61} & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{12} & -\lambda_{21,25,24} & 0 & \lambda_{42} & \lambda_{52} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{13} & 0 & -\lambda_{31,38,39} & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{83} & \lambda_{93} \\ \lambda_{14} & \lambda_{24} & 0 & -\lambda_{41,42,47} & 0 & 0 & \lambda_{74} & 0 & 0 \\ \lambda_{15} & \lambda_{25} & 0 & 0 & -\lambda_{51,52} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{16} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{61} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{47} & 0 & 0 & -\lambda_{47} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{38} & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{38} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{39} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{93} \end{bmatrix}, \quad (3.3)$$

для графу $\lambda_{61} = \lambda_{16}$; $\lambda_{38} = \lambda_{83}$; $\lambda_{31} = \lambda_{31}$.

Отримавши результати моделювання (рис. 3.2) і керуючись теоремою складання математичних сподівань (3.4), визначаємо витрати вагоно-годин на окремих елементах та у вузлі в цілому за певний проміжок часу при стохастичному режимі роботи системи.

$$C_{\epsilon k}(t) = \sum_{i=1}^U M[X_k^{(i)}(t)], \quad (3.4)$$

де $X_k^{(i)}(t)$ – чисельність (кількість витрат вагоно-годин) стану E_i в момент t .

$$C_{\epsilon k}(t) = U p_k(t) M(t_i), \quad (3.5)$$

де U – кількість вагонів у стані E_i , ваг;

$C_{\epsilon k}(t)$ – витрати вагоно-годин на елементах вузла за час t , ваг-год;

$M(t_i)$ – середнє значення часу знаходження вантажного вагона на i -й станції вузла, год.

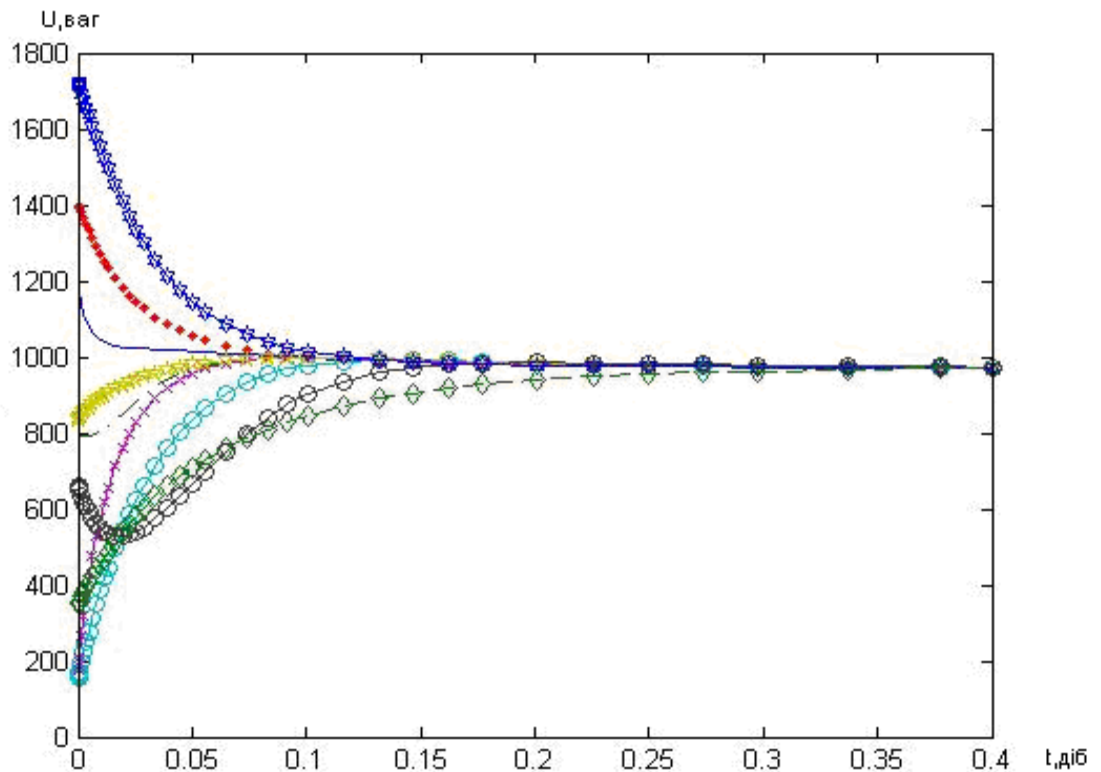


Рис. 3.2 Результати моделювання станів місцевих вагонів на усіх елементах базового залізничного вузла

Для кожного t середні чисельності кількості вагоно-годин повинно задовольняти нормувальній умові

$$C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} + \dots + C_{e9} = C_e^{zag}, \quad (3.6)$$

де C_e^{zag} - загальні витрати вагоно-годин у вузлі.

До моделі функціонування залізничного вузла закладається вагонопотік у певний проміжок часу, відповідні зв'язки між підсистеми та обмеження по кожній станції, такі як мінімальні та максимально можливі значення часу перебування рухомого складу та кількість вагонів. За рахунок відкорегування технології роботи підсистем вузла, враховуючи обмеження, досягається стаціонарний режим роботи всієї системи (залізничного вузла) [5].

Перші 3-5 годин початкового періоду система знаходиться у нестационарному для себе режимі, відбуваються перехідні процеси, але на технологію роботи вузла перехідні процеси особливо не впливають. Таким чином, вирішується задача поведінки залізничного вузла при зміні часу знаходження вагонів на станціях вузла, що в кінцевому випадку відбивається на витратах вагоно-годин у вузлі.

Дана модель має універсальних характер і може бути використана для типових залізничних вузлів і для різних типів вагонів (місцевих та транзитних).

Для інтерпретації залежності витрат вагоно-годин при змінному вагонопотоці побудована функція відгуку станції О. (рис. 3.3) на базі отриманих результатів моделювання.

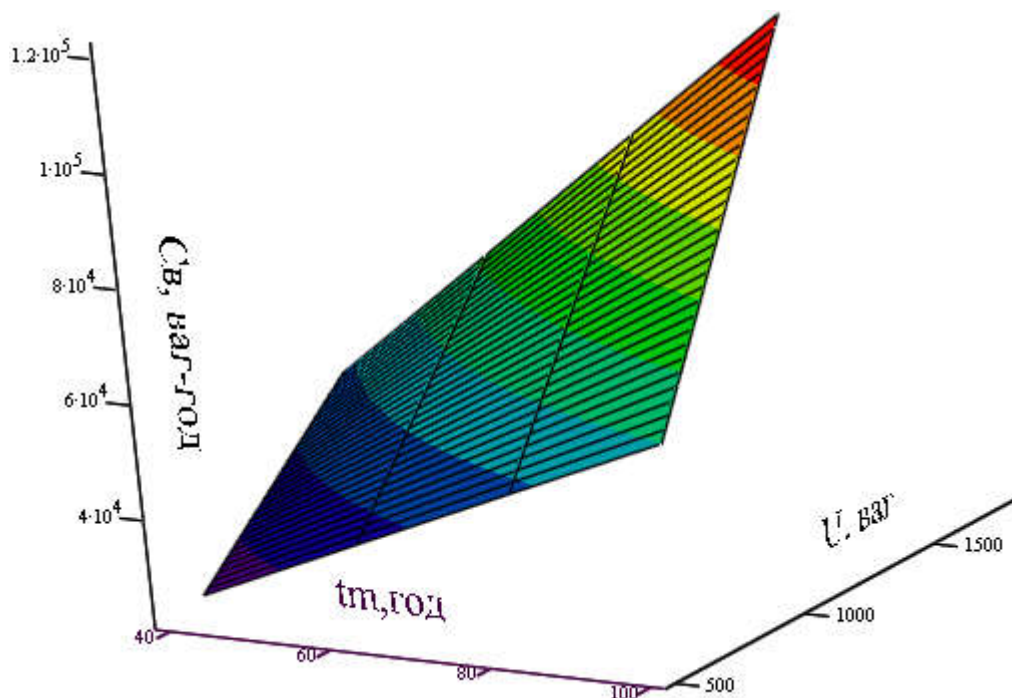


Рис. 3.3 Функція відгуку витрат вагоно-годин при змінному вагонопотоці на станції О. у 2017 році

Отримана залежність витрат вагоно-годин при змінному вагонопотоці місцевих вагонів. Шляхом моделювання доведено, що при вихідних даних

базового залізничного вузла оптимальна переробна спроможність складає близько 1000 вагонів. Ця величина характеризує сумарну кількість місцевих вагонів, які проходять переробку в даному вузлі на вантажних та технічних станціях при відповідних параметрах. Ефективною технологією функціонування вузла є стаціонарний режим роботи системи, який настає після 5 годин від початкового періоду роботи системи.

Отже, знаючи обсяги роботи станцій вузла можливо змоделювати його технологію роботи з оптимальною кількістю вагонів на певних станціях з мінімальними витрати в цілому в системі використовуючи критерій якості функціонування системи (формула 2.5). У результаті стає можливим отримання більш об'єктивної картини ефективності того чи іншого вузла для зниження невизначеності при прийнятті оперативного рішення, що може бути реалізовано при удосконаленні АРМ відповідних працівників залізниці, зокрема вузлового диспетчера.

За результатами моделювання запропоновано оптимальний розподіл місцевих вагонів по елементах вузла, який дозволить скоротити витрати вагоно-годин у вузлі до 9 %. Економія становитиме до 41000 ваг-год на місяць (без врахування внутрішньовузлових переміщень). Незважаючи на те, що на деяких підсистемах отримано збільшення витрат вагоно-годин, в цілому по системі він зменшений. Таким чином, досягнуто синергетичний ефект.

На основі отриманих результатів і даних з інформаційно-керуючих систем пропонується визначати раціональну технологію роботи залізничного вузла з множини можливих шляхом імітаційного моделювання.

У загальному вигляді сумарна кількість вагоно-годин дорівнює сумі добутків кількості вантажних вагонів, які проходять обробку, та часу перебування на підсистемах вузла (станції, під'їзні колії, передавальний рух). В свою чергу, кількість вагонів обмежується пропускною спроможністю дільниці μ_0 , пропускною спроможністю технічних $\mu_{тех}$ та вантажних $\mu_{ван}$ станцій, а також провізною спроможністю дільниці Γ .

На пропускну спроможність дільниці впливає зміна технічного оснащення та потужності локомотивних засобів, що є дуже трудоємним і потребує значних капіталовкладень (3.7). Значення провізної спроможності дільниці залежить від довжини станційних колій та статичного навантаження вантажного вагона (3.8).

$$\mu_o = f(\eta_T, T_{ep}, T_n, T_e, N_k), \quad (3.7)$$

де η_T - технічне оснащення дільниці стаціонарними пристроями;

T_{ep} - тип графіка руху;

T_n - тип локомотива;

T_e - тип вантажного вагона;

N_k - потужність локомотива, що обертається на даній дільниці, кВт.

$$\Gamma = f(\kappa_m, l_{cm}, P), \quad (3.8)$$

де κ_m - якість використання пропускну спроможності дільниці;

l_{cm} - довжина станційних колій, м;

P_{en} - вантажопідйомність вагона, т.

Час перебування вагона на елементах вузла залежить також і від обраної технології роботи. Задіяння наявних потужностей вузла та швидше просування рухомого складу на окремих елементах не завжди є результатом мінімального знаходження вагона у вузлі. Тому при виборі технології роботи оперативний працівник (у данному випадку ДНЦ) повинен обрати ту технологію роботи, з тими виробничими і трудовими ресурсами, які на даний момент є найбільш прийнятними.

3.2 Імітаційна модель технології роботи залізничного вузла

Імітаційне моделювання досить широко використовується при відображенні різних складних процесів на залізничному транспорті, зокрема при русі поїздів, на станціях, залізничних вузлах тощо [22].

Основними підходами в імітаційному моделюванні є: системна динаміка, дискретно-подійне моделювання, агентне моделювання (АМ). Перші два підходи - традиційні, а АМ - відносно новий та гнучкий підхід до моделювання складних соціально-економічних та технологічних систем. АМ може застосовуватися практично на будь-якому рівні абстракції й у будь-яких масштабах. Агенти можуть представляти, наприклад, працівників, рухомий склад, виробничі потужності на нижньому рівні, відправника або одержувача на середньому рівні або ж конкуруючі види транспорту на високому рівні.

АМ - це підхід до моделювання систем, що містять автономних і взаємодіючих агентів. АМ може знайти широке застосування в технологічних процесах для прийняття управлінських рішень. В теперішній час мультиагентні системи набули широкого застосування в таких областях як системи телекомунікації, логістики, системи керування й контролю складними процесами в промисловості тощо.

Мультиагентні системи це сукупність інтелектуальних агентів, де агенти - це автономні об'єкти, які можуть самостійно реагувати на зовнішні події й вибирати відповідні дії (наприклад, можна вважати агентами оперативних працівників станції). На сьогодні у межах мультиагентних технологій і мультиагентних систем (МАС) розроблені різні типи агентів, які характеризуються конкретною моделлю поведінки й властивостями, а також, сімейства архітектур і бібліотек компонентів, для яких властиві розподіленість та автономність.

Залежно від середовища перебування агента наділяють конкретним набором властивостей. За способом поведінки агенти можуть поділятися на

інтелектуальні (комунікативні, ресурсні) і реактивні (не володіють інформацією про навколишнє середовище) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Для реалізації деякого поводження агент повинен мати спеціальні пристрої (у тому числі й програмні): рецептори - пристрої, безпосередньо сприймаючі вплив зовнішнього середовища й ефектори - виконавчі органи, що впливають на середовище, а також процесор - блок переробки інформації й пам'ять. Під пам'яттю тут маємо на увазі здатність агента зберігати інформацію про свій стан і стан середовища.

Агенти децентралізовані, а глобальний стан системи, що моделюється, можна вивести із взаємодії агентів, знаючи індивідуальну логіку поведінки кожного з них.

Агенти різноманітні, різнорідні й динамічні. Агенти активні стосовно своїх атрибутів і правил поведінки. Правила поведінки варіюються: вони залежать від того, яку кількість інформації агент урахує у своїх міркуваннях, від розміру пам'яті для зберігання минулих подій. Всі перераховані фактори агент використовує у своїх рішеннях.

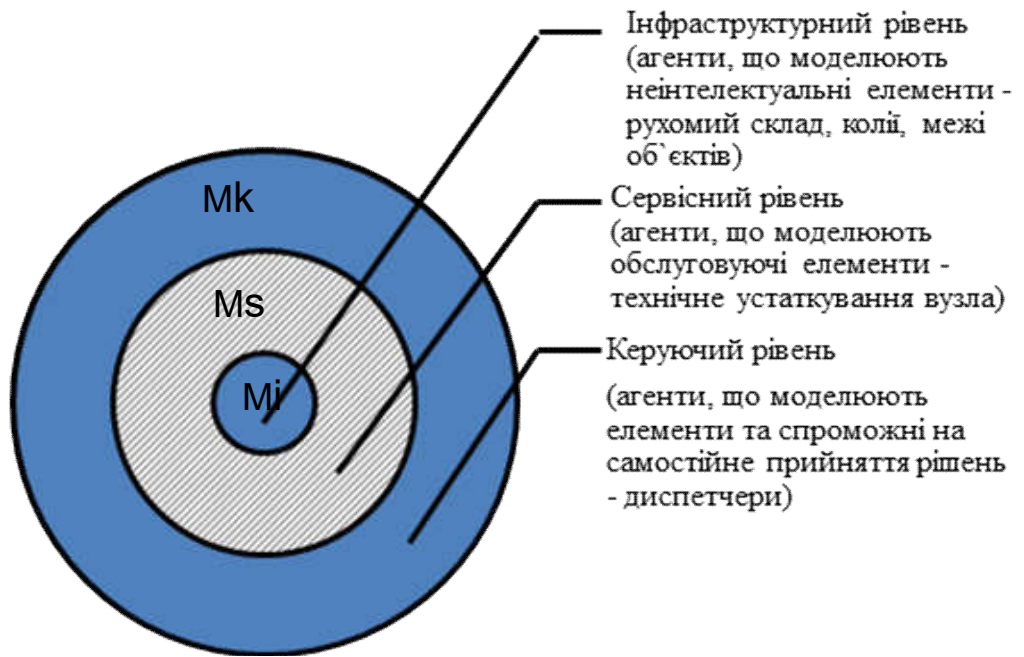
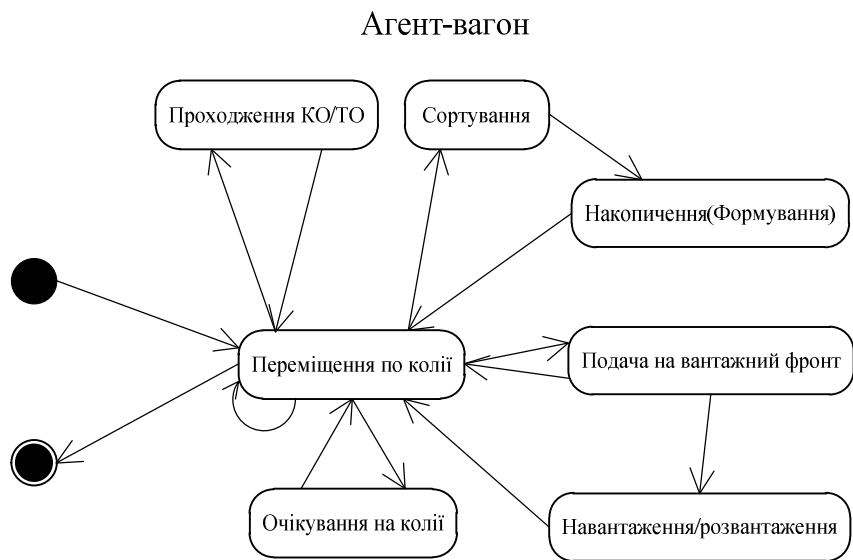


Рис. 3.4 Рівні імітаційної моделі залізничного вузла



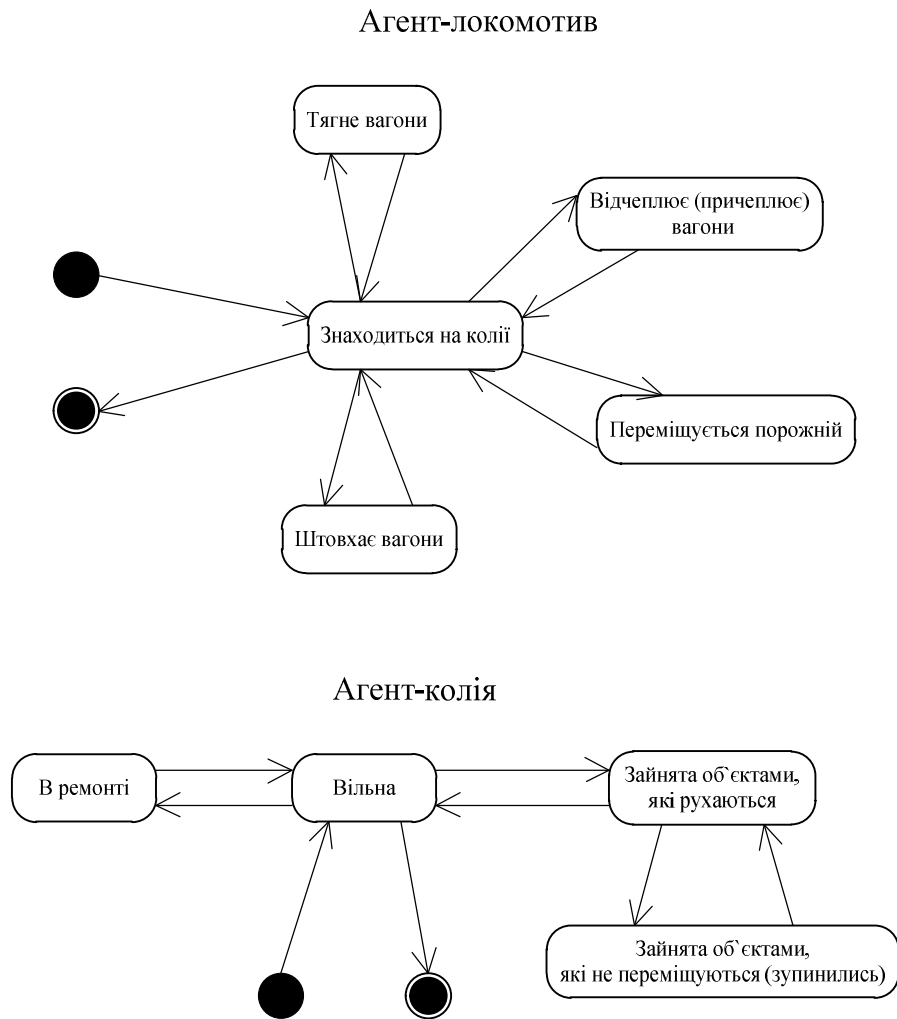


Рис. 3.5 Діаграми станів агентів інфраструктурного рівня моделі

В імітаційній моделі залізничного вузла можна виділити три основні групи агентів: диспетчери (вузловий та станційний), рухомий склад (вагони) та технічне устаткування (локомотиви, ВРМ, перегони, під'їзні колії, депо, колії станції, склади, гірки та ін.), які формують три основні категорії моделі, які виходячи з логістичних підходів, мають відповідні взаємозв'язки та взаємний вплив на роботу системи (рис. 3.4) [23].

Агентами, що відносяться до інфраструктурного рівня моделі, є ті, що моделюють залізничний вузол, залізничні станції (технічну, вантажну), колії станцій, перегони, стрілки, рухомий склад (локомотиви, вагони). Кожен з цих агентів має різні стани та поведінку. Поведінка агентів інфраструктурного рівня наведена на діаграмах станів (рис. 3.5).

Наприклад, вантажний вагон може очікувати на колії (потрапляння до вузла, виконання операцій), переміщуватися по колії (між станціями, між обладнанням чи обслуговуючими пристроями станції), оброблюватися (проходити комерційний огляд (КО) чи технічний огляд (ТО)), перебувати під операціями сортування, розформування чи формування, подаватися до вантажного фронту під навантаження чи вивантаження). Можливі переходи із одного стану в інший визначаються обмеженнями при моделюванні, що відображають технологічні та фізичні особливості об'єкту моделювання – залізничного вузла.

Агентами, що відносяться до сервісного рівня моделі, моделюються під'їзна колія, вантажний район, сортувальна гірка, маневрова витяжка, склад, засоби механізації, фронт навантаження або вивантаження та обслуговуючий персонал, що працює у вузлі. Деякі з цих агентів є інтелектуальними та можуть приймати певні рішення самостійно.

Агенти, що відносяться до керуючого рівня моделі, є агентами, що моделюють роботу ДНЦ, чергового по станції, маневрового диспетчера, керівництво станції. Всі ці агенти є інтелектуальними і адаптивними та прийняття ними рішень моделюється зі значними спрощеннями з використанням таких механізмів, як навчання з підтримкою [13]. Більш детальне моделювання агентів цього типу буде продовженням цього дослідження.

Розглянемо більш детально інфраструктурний рівень моделі, який визначає фізичні та технологічні правила поведінки агентів. Основними агентами є агенти, що моделюють вагон, локомотив та колії.

Поведінка агентів імітаційної моделі представляється за допомогою діаграми станів в нотації UML. Ця діаграма містить дані про можливі стани об'єкту, можливі переходи до інших станів та умови цих переходів. Діаграми станів для агентів, що моделюють вагон, локомотив та колію наведені вище (рис. 3.5). Переходи між станами цих агентів виконуються відповідно до фізичних обмежень, щоб зміна стану відповідала реальним об'єктам.

Наприклад, переміщення на іншу колію можливо лише з тієї, на якій знаходиться об'єкт, і цей перехід можливий, якщо швидкість об'єкта дозволяє йому дістатися до іншої колії за інтервал моделювання. Всі обмеження такого типу враховані при реалізації моделі на об'єктно-орієнтованій мові програмування.

Також необхідно звернути увагу на спосіб моделювання взаємного розташування об'єктів вузла та їх з'єднань. Фактично топологія вузла може бути представлена за допомогою графа, дугами якого є залізничні колії, а вершинами – точки з'єднання колій (стрілкові переводи або межа колій). В створеній моделі межами колій є межі інших об'єктів вузла, що фізично розташовані навколо колій (станції, зони КО та ТО, сортувальні гірки, під'їзні колії тощо).

Для ідентифікації моделі необхідно побудувати по кожному типу агентів діаграму станів та визначити параметри часу при моделюванні.

Наприклад, в загальному випадку кожний адаптивний агент може перейти в інший стан з кількості допустимих станів γ . Якщо n -й агент перейшов в момент часу t до стану k та отримав при цьому користь $R(x)$, то він змінює свою перевагу у виборі j -го переходу до іншого стану по формулі

$$S_{nj}(t+1) = (1 - \varphi)S_{nj}(t) + \begin{cases} R(x)(1 - \varepsilon), & j = k \\ S_{nj}(t) \frac{\varepsilon}{\gamma - 1}, & j \neq k \end{cases} \quad (3.15)$$

де $S_{nj}(t)$ - перевага у виборі переходу до j -го стану в момент t ;

φ, ε - параметри, що визначають ступінь оновлення переваг та ступінь різноманіття переходів, що обираються, відповідно.

Стан n -го агента у момент часу t визначається набором таких параметрів як дуга чи вершина графа, де знаходиться агент та операція, в якій він приймає участь

$$ST_i^t = \{DV_i^t, O_i^t\}, \quad (3.16)$$

де DV - дуга або вершина графа;

O - операція в якій агент приймає участь.

Перехід агента в інший стан в момент часу $t+1$ відбувається з вірогідністю

$$p_{nk}(t+1) = \frac{S_{nk}(t)}{\sum_j S_{nj}(t)}. \quad (3.17)$$

де S_{nk} - перевага n -го агента у виборі k -го стану.

Таким чином, вірогідність переходу до стану, що принесе більшу користь, збільшується.

Зручним інструментом для реалізації агентної моделі є бібліотека RePast.NET [16], що містить такі важливі компоненти, як паралельний дискретний планувальник по часу, середовище для візуалізації моделі та адаптовні засоби поведінки.

Технологією роботи залізничного вузла в цій роботі вважається послідовність технологічних операцій, що виконуються над вагоном із прив'язкою їх до технічного устаткування, на якому операції виконуються, та до часу їх виконання (регламентується технологічним процесом роботи станції). Формальний опис технології роботи залізничного вузла по обробці вагонів можна представити таким кортежем

$$T = \left\langle U_i, \left\langle Op_j, Eq_k, t_s, t_r \right\rangle_j \right\rangle_i, i \in I, j \in J, k \in K, \quad (3.18)$$

де I – множина вантажних вагонів, що потрапляють у вузол та обробляються в ньому (місцеві, транзитні з переробкою та без переробки);

J_i – множина операцій, що виконуються з i -м вагоном (навантаження, вивантаження, комерційний та технічний огляд, митні та інші операції, включаючи операції по їх очікуванню тощо);

K – множина одиниць технічного устаткування залізничного вузла (колії перегонів, станцій та під'їзних колій; склади, маневрові локомотиви тощо);

U_i – вантажний вагон, який обробляється;

$\langle Op_j, Eq_k, t_s, t_r \rangle_j$ – кортеж, що описує операцію над вагоном;

Op_j – операція, що виконується;

Eq_k – технічне устаткування, на якому виконується операція;

t_s – момент початку виконання операції;

t_r – момент закінчення виконання операції.

В основу моделі покладена задача визначення раціональної технології роботи залізничного вузла на певний період, критерієм вибору цієї технології є мінімальні витрати вагоно-годин та мінімальна собівартість робіт по організації даної технології [6, 7].

Суть моделі в наступному – до інформаційної системи АРМ ДНЦ поступає інформація про підхід вагонів до залізничного вузла на певний період та поточний стан залізничного вузла на початок періоду планування. Поточний стан вузла включає в себе дислокацію та стан вагонів у вузлі і зайнятість одиниць технічного устаткування. Після цього проводиться декілька експериментів по дослідженню роботи вузла з використанням імітаційної моделі. Результатами моделювання є множина \tilde{T} технологій роботи залізничного вузла, що забезпечують переробку запланованого обсягу вагонів. Після цього ДНЦ має прийняти остаточне рішення по вибору технології роботи вузла на наступний період з множини технологій, що були отримані під час імітаційного моделювання. Рішення приймається виходячи з того, що технологія повинна забезпечувати мінімальні витрати вагоно-годин та мати мінімальні фінансові витрати [9].

Можливі два варіанти використання моделі – для планування технології роботи на наступну добу та для уточнення чи коригування технології роботи протягом доби в наслідок позаштатних ситуацій (наприклад, виявлення браку при комерційному чи технічному огляді вагонів, вихід з ладу якогось технічного устаткування тощо).

При моделюванні використовується дискретний модельний час із інтервалом, що відповідає одній хвилині реального часу.

Для кожної з технологій із множини \tilde{T} , що отримані в результаті імітаційного моделювання, можливо обчислити витрати вагоно-годин $C_{ваг}$ та вартість робіт P , що складають цю технологію

$$C_{ваг} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} (t_{bj}^i - t_{sj}^i), \quad (3.19)$$

$$P = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K_{J_i}} C_{kj} \cdot (t_{bj}^i - t_{sj}^i), \quad (3.20)$$

де I – множина вантажних вагонів, що потрапляють у вузол та обробляються в ньому (місцеві, транзитні з переробкою та без переробки);

J_i – множина операцій, що виконуються з i -м вагоном (навантаження, вивантаження, комерційний та технічний огляд, митні та інші операції, включаючи операції по їх очікуванню тощо);

K_{J_i} – множина одиниць технічного устаткування залізничного вузла (колії перегонів, станцій та під'їзних колій; склади, маневрові локомотиви тощо), що задіяні при j -й операції над i -м вагоном;

C_{kj} – вартість використання k -ї одиниці технічного устаткування при j -й операції над вагоном;

t_{bj}^i – час початку виконання j -ї операції над i -м вагоном;

t_{sj}^i – час закінчення виконання j -ї операції над i -м вагоном.

При проведенні експериментів по формуванню множини \tilde{T} може використовуватись інтелектуальний перебір можливих технологій з використанням методів, що враховують попередній досвід у формуванні допустимих альтернатив. Це можуть бути методи з використанням нейронних мереж або генетичні алгоритми. Запропонований підхід додатково надає можливість проаналізувати завантаженість окремих елементів залізничного вузла, визначити «вузькі місця» у вузлі при певній технології та виконати інший аналіз з використанням графічного інтерфейсу користувача системи.

Рішення по вибору технології роботи вузла приймається виходячи з того, що технологія повинна забезпечувати мінімальні витрати вагоно-годин та мати мінімальні фінансові витрати (2.8).

При моделюванні технології роботи вузла на певний період (добу, тиждень, місяць або будь-який довільний проміжок часу) необхідно перш за все врахувати стан вузла на початок періоду. При послідовному моделюванні для кількох періодів, це не є проблемою, проте для першого моделювання необхідно провести збір даних про розташування і стан вагонів та обладнання вузла, що є доволі трудозатратним. Проте, можна використати дані із існуючої інформаційної системи АСК ВП УЗ-Є та результати моделювання (оптимальний розподілення вагонів на станціях вузла) на початок моделювання.

Спочатку визначаються параметри моделювання, що задаються набором параметр-значень. Вони описують способи прийняття рішень інтелектуальними агентами, вірогідності ідентифікації несправностей вагонів та інші параметри безпосередньо імітаційної моделі

$$SO = \left\{ \langle Y_j, Z_j \rangle, j = \overline{1, n_{so}} \right\}, \quad (3.21)$$

де $\langle Y_j, Z_j \rangle$ – пара параметр-значення;

n_{so} – кількість параметрів моделювання.

В свою чергу, конфігурація NC_i вузла, що містить перелік обладнання та персоналу, які можна використовувати, визначається

$$NC_i = \left\{ \langle K_p, \{t_p^s, t_p^b\} \rangle, \langle Q_h, \{t_h^s, t_h^b\} \rangle, p \in EQ^+, h \in Q^- \right\}, \quad (3.22)$$

де $\langle K_p, \{t_p^s, t_p^b\} \rangle$ – кортеж, що описує інтервали часу $\{t_p^s, t_p^b\}$, коли доступне обладнання K_p протягом періоду моделювання;

$\langle Q_h, \{t_h^s, t_h^b\} \rangle$ – кортеж, що описує інтервали часу $\{t_h^s, t_h^b\}$, коли колія Q_h недоступна протягом періоду моделювання;

EQ^+ – об'єкти, що беруть участь в роботі вузла;

Q^- – колії, використання яких неможливо при моделюванні.

Після перевірки допустимості заданої конфігурації вузла виконується моделювання (*sim*) технології роботи вузла по обробці вагонів та визначається час на технологію роботи T_i при визначених параметрах моделювання SO , що плануються для надходження в вузол (CF_o), при визначеному початковому стані вузла (IS_o) і за певної конфігурації обладнання та колій (NC_i) SO

$$\begin{aligned} T_i &= sim(SO, CF_o, IS_o, NC_i) = \\ &= \left\{ \langle U_l, \langle Op, \{Eq_p\}, t_s, t_e \rangle_l^m \rangle, l = \overline{1, U_{car}}, m = \overline{1, n_{op}^l}, p \in EQ^+ \right\}, \quad (3.23) \end{aligned}$$

де U_l – вантажний вагон;

$\langle Op, \{Eq_p\}, t_s, t_e \rangle_l^m$ – кортеж, що описує m -ту операцію над вагоном;

Op – операція, що виконується;

$\{Eq_p\}$ – об'єкти, що задіяні в операції над вагоном;

t_s – момент початку виконання операції, хв.;

t_e – момент закінчення виконання операції, хв.;

U_{car} – кількість вагонів, що оброблялося за період моделювання, ваг.;

n_{op}^l – кількість операцій над l -м вагоном;

EQ^+ – об'єкти, що беруть участь в роботі вузла.

Результатом моделювання є параметри визначеної технології TP_i , які представлені набором параметр-значень (вагоно-години по вузлу, завантаженість окремих елементів вузла та інше)

$$TP_i = \left\{ \langle TP_k^i, PR_k^i \rangle, k = \overline{1, n_{mp}} \right\}, \quad (3.24)$$

де $\langle TP_k^i, PR_k^i \rangle$ - пара параметр-значень;

n_{mp} – кількість параметрів технології.

За необхідності отримання додаткових варіантів технологій роботи проводиться зміна параметрів вузла та виконується повторне моделювання.