

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ ДО НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

АТОУЗ 300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д23
спеціальності 275 / 275.02 «Транспортні
технології» (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)
Михайло НИКИТИНСЬКИЙ

Керівник: доктор техн. наук, професор
Олександр ЛАВРУХІН

Рецензент: доктор техн. наук, професор
Андрій ПРОХОРЧЕНКО

2025

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доцент, канд. техн. наук

_____ А.О. Ковальов

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Михайла НИКИТИНСЬКОГО

1. Тема «Адаптація технології оперативного управління залізничною станцією до невизначених умов» керівник Лаврухін Олександр Валерійович, д. т. н., професор затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень від 24 лютого 2023 року № 04/25
2. Строк подання студентом закінченої роботи 16 червня 2025 року.
3. Вихідні дані; план формування вантажних поїздів, графік руху поїздів, статистичні данні щодо виконання основних експлуатаційних показників та показників аварійності на залізничному транспорті, їх аналіз.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно дослідити). 1. Техніко-технологічна характеристика досліджуваного об'єкта. 2 Технічна характеристика лінійного залізничного підрозділу. 3 Характеристика експлуатаційної роботи станції. 4 Оперативне планування поїзної і вантажної роботи лінійного об'єкту. 5 Оперативне планування поїзної та вантажної роботи станції. 6 Аналіз статистичних даних виконання експлуатаційних показників. 7 Удосконалення технології роботи технічної станції в нечітко-визначених умовах. 8 Економічне обґрунтування удосконаленої технології роботи залізничної станції в нечітко-визначених умовах. 9 Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу. 1 Мета та задачі дослідження. 2 Основні наукові добутки. 3 Динамічний аналіз простою вагона із переробкою на технічній станції по роках. 4 Модель визначення оптимального варіанту плану поїзної роботи технічної станції. 5 Формалізація процедури визначення

впевненості у прибутті одного поїзду. 6 Моделювання нечіткої ситуації прибуття поїзда. 7 Формалізація процедури визначення впевненості у відправленні поїзда зі станції формування в планову добу. 8 Визначення економічного ефекту від економії вагоно-годин при удосконаленні автоматизованої системи оперативного планування. 9 Висновки.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розрахунок економічної ефективності від впровадження запропонованих заходів	Гриценко Н.В. доц., к.е.н.		

7 Дата видачі завдання 24 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1. Техніко-технологічний аналіз досліджуваного об'єкта	14.03.2025	виконано
2. Удосконалення технологічних процесів роботи технічної станції в умовах нечіткої визначеності	16.03.2025	виконано
3. Формалізація процедури розрахунку кількості поїздів, що приймаються станцією з кожного напрямку	11.04.2025	виконано
4. Верифікація моделі для визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції	18.04.2025	виконано
5. Економічне обґрунтування вдосконаленої технології функціонування залізничної станції в умовах нечіткої визначеності	11.06.2025	виконано
6. Висновки	14.06.2025	виконано

Студент _____ М.А. Никитинський

Науковий керівник _____ О.В. Лаврухін

Зміст

Вступ	6
1. Техніко-технологічний аналіз досліджуваного об'єкта	9
1.1 Технічні характеристики лінійного залізничного підрозділу	9
1.2 Особливості експлуатаційної діяльності станції	14
1.3 Організація оперативного планування поїзної та вантажної роботи лінійного об'єкта	15
1.4 Оперативне планування поїзної та вантажної роботи станції	16
1.5 Диспетчерське керівництво розформуванням-формуванням поїздів	19
1.6 Аналіз статистичних даних виконання експлуатаційних показників	21
2 Удосконалення технологічних процесів роботи технічної станції в умовах нечіткої визначеності	25
2.1 Удосконалення технології розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції	25
2.2 Формалізація процедури визначення кількості поїздів, що підлягають прийманню станцією з кожного напрямку	28
2.3 Формалізація процедури визначення кількості поїздів, які підлягають відправленню з технічної та вантажної станції	43
2.4 Формалізація процесу оцінювання доцільності формування маршрутних поїздів з пунктів навантаження	53

					АТОУЗ .300.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Никитинський			Адаптація технологій оперативного управління залізничною станцією до невизначених умов				Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевір.		Лаврухін							i			4	78
Т. Контр.									4				
Н. Контр.		Лаврухін							УкрДУЗТ				
Затверд.		Ковальов											

2.5 Перевірка моделі визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції на адекватність	65
3. Економічна оцінка ефективності удосконаленої технології роботи залізничної станції в умовах невизначеності	66
Висновки	75
Список використаних джерел	76

Вступ

Залізнична станція є ключовим елементом у процесі формування та погашення масових вагонопотоків, а її ефективна робота становить основу для стабільного функціонування всієї залізничної галузі. Тому розвиток і впровадження інноваційних рішень у лінійні підрозділи Акціонерного товариства «Українська залізниця» (АТ «УЗ») мають пріоритетне значення для забезпечення раціональної роботи галузі в цілому.

Результативність функціонування залізничної інфраструктури безпосередньо залежить від ефективного використання як технічних засобів, так і трудових ресурсів. Досягти цього можна шляхом реалізації інноваційних проєктів і вдосконалення чинних технологій організації перевізного процесу.

Практика засвідчує, що сучасні тенденції розвитку ринку транспортних послуг вимагають переорієнтації масового перевезення у напрямку покращення якості обслуговування клієнтів із одночасним зростанням рентабельності галузі. Водночас сьогодні спостерігаються дестабілізаційні процеси, які суттєво впливають на ефективність роботи Укрзалізниці. Основною причиною цього є недосконалість чинної системи оперативного планування та управління перевізним процесом в умовах невизначеності.

Актуальність теми. За даними Укрзалізниці, у порівнянні з попередніми роками, відбулося значне погіршення основних кількісних та якісних показників діяльності. Зокрема, час простою вагонів на одній технічній станції зріс з 2016 року на 10,96 години, що становить близько 48%. Це може свідчити як про зменшення інтенсивності вагонопотоку, так і про збільшення часу, необхідного для формування вантажних поїздів різних категорій. Така ситуація вказує на невідповідність чинних технологій роботи лінійних підрозділів вимогам реального часу, особливо в умовах нестабільності.

Для вирішення цієї проблеми необхідно удосконалити підходи до формалізації процесів оперативного управління формуванням вантажних поїздів на технічних станціях, зокрема уточнити методику визначення основних

параметрів оперативного планування поїзної роботи в межах залізничного полігону.

Отже, розв'язання завдання, що розглядається в даній кваліфікаційній роботі, а саме – вдосконалення роботи технічної станції в умовах невизначеності – є своєчасним і надзвичайно актуальним.

Мета і завдання роботи. Метою цієї кваліфікаційної роботи є адаптація технології оперативного управління залізничною станцією до невизначених умов. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі ключові завдання:

1. Провести аналіз технологічного процесу роботи конкретного лінійного підрозділу з метою виявлення вузьких місць, що обмежують його ефективність.

2. Здійснити статистичне дослідження основних показників техніко-експлуатаційної діяльності лінійних підрозділів у межах полігону Укрзалізниці, що дозволить виявити недоліки чинних технологічних рішень в умовах оперативного планування та формування вагонопотоків.

3. Удосконалити наявну технологію оперативного управління роботою технічної станції у процесі формування вагонопотоків за умов нестабільності та невизначеності.

4. Провести оцінку економічної ефективності впровадження розробленої вдосконаленої технології управління лінійним об'єктом.

Об'єктом дослідження виступає процес управління технічною станцією в умовах нестабільного вагонопотоку

Предмет дослідження – технологія формування поїздопотоків на технічній станції.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці адаптованої технології оперативного управління залізничною станцією до невизначених умов, з метою підвищення ефективності використання рухомого складу в умовах нестабільності вагонопотоку та невизначеності.

У межах реалізації мети дослідження було:

– модернізовано підхід до вибору варіанту оперативного плану роботи, що пов’язаний з формуванням вантажних поїздів, на основі використання автоматизованих засобів обробки інформації, що забезпечує більш ефективне та раціональне використання ресурсів.

Публікації

1. Лаврухін О.В., Никитинський М.А., Кузьо Н.Я. Використання штучного інтелекту для прогнозування та управління залізничними перевезеннями. 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 25–27 листопада 2024 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 70.

2. Никитинський М.А., Кузьо Н.Я. Модернізація інфраструктури залізничних станцій для покращення логістичних процесів. Студентська науково-технічна конференція (11-12 грудня 2024 р.). Тези доповідей 84 студентської конференції. Харків, 2024. С. 241.

1 Техніко-технологічний аналіз досліджуваного об'єкта

1.1 Технічні характеристики лінійного залізничного підрозділу

Станція Основа за характером виконуваних операцій та рівнем технічного оснащення класифікується як сортувальна, а за обсягами виконуваної роботи – як позакласна. До станції примикають сім перегонів, серед яких:

- Основа – Жихор (двоколійний),
- Основа – Тернове (двоколійний),
- Основа – Новожаново (триколійний),
- Основа – Х.Пасажирський (двоколійний),
- Основа – пост 6 км (одноколійний),
- Основа – Х.Червонозаводський (двоколійний),
- Основа – роз'їзд 8 км (одноколійний).

Усі перегони обладнані автоматичним блокуванням. Робота станції здійснюється у дев'яти напрямках: Лиман, Куп'янськ, Полтава, Ворожба, Одноробівка, Х-Сортувальний, Індустріальна, Х.-Червонозаводський, Х.-Балашовський.

Станція має дві сортувальні системи: південну і північну. Обидві оснащені механізованими гірками з трьома гальмовими позиціями.

Південна сортувальна система включає північний приймальний парк, південну гірку, південний сортувальний парк і південний парк відправлення. Всі парки розташовані послідовно.

Північний приймальний парк налічує 8 електрифікованих колій, призначених для прийому поїздів, що підлягають розформуванню, відправлення парних вантажних поїздів, а також для виставлення составів кутового потоку з північної системи та пропуску транзитних поїздів у південний парк відправлення.

Південна механізована гірка має одну колію насування, дві спускні колії та три гальмові позиції з вагонними сповільнювачами. Перша позиція оснащена сповільнювачами типу КНП-5, друга – комбінацією КНП-5 та Т-50, третя –

сповільнювачами типу РРНЗ-2. На третій позиції додатково встановлено башмакоскидачі на коліях № 13, 16, 18, 26, 32, 33, 41, 42, 44, де гальмові башмаки розміщені вздовж робочої нитки колій. Південний сортувальний парк складається з 25 колій, призначених для накопичення вагонів згідно з планом формування поїздів.

Південний парк відправлення включає 11 колій, з яких п'ять (№ 2, 3, 14, 15, 16) повністю електрифіковані, решта мають електрифікацію лише головної частини. Колії № 2–4 та 6 використовуються для відправлення непарних вантажних поїздів і прийому транзитних поїздів до південної системи. Решта колій обслуговують відправлення непарних вантажних поїздів.

Північний приймальний парк з'єднаний із південним парком відправлення за допомогою з'єднувальної колії № 84, що проходить паралельно південному сортувальному парку в обхід гірки.

Північна сортувальна система складається із Зміївського парку, північної гірки, північного сортувального і північного парку відправлення, а також додаткових парків: станційного, південного транзитного, ранжирного та Безлюдівського.

Зміївський парк має 9 електрифікованих колій, що використовуються для прийому та відправлення вантажних поїздів. Колія № 79 виконує функцію ходової – через неї проходять локомотиви та состави з південного парку відправлення до північного приймального і станційного парків та у зворотному напрямку.

Північна гірка механізована, обладнана автоматичною централізацією, має одну колію насування, одну спускную колію та три гальмові позиції з вагонними сповільнювачами. Перша і друга позиції оснащені сповільнювачами типу KB3-72М, а третя – сповільнювачами типу РНЗ-2.

Північний сортувальний парк включає 20 колій, з яких 8 (№11–18) не електрифіковані, а інші (№21–34) мають електрифіковану головну частину. Усі ці колії використовуються для формування та відправлення поїздів. Станційний парк складається із семи електрифікованих колій: колії №1–4 використовуються для приймання та відправлення пасажирських і приміських

поїздів, а також для пропуску вантажних поїздів, тоді як колії №5–7 призначені для прийому, відправлення та пропуску вантажних поїздів і локомотивів. Південний транзитний парк налічує 10 електрифікованих колій, які забезпечують приймання та відправлення парних і непарних транзитних поїздів. Маневровими витяжками служать тупикові колії №19 і 20, причому тільки 19-та є електрифікованою.

Ранжирний парк містить 8 колій, з яких 13, 14, 15 і 17 використовуються як виставочні – для відстоювання, формування, подачі та розвезення груп місцевих вагонів на під'їзні колії. Колія №18 – ходова, колії №19 і 20 призначені для відстоювання приміських составів, а колія №21 – для стоянки пожежного поїзда. Колії №15, 17, 18 і 19 електрифіковані. Безлюдівський парк має 9 електрифікованих колій; лише запобіжний тупик не має електрифікації. Колія №12 використовується для подачі та прибирання вагонів на під'їзні колії.

На станції розташовано 423 централізованих стрілочних переводи. У спускних горловинах південної та північної гірок стрілки обладнані пневмообдужкою. Керування централізованими стрілками та сигналами здійснюється черговими по станції з центрального поста централізації ЕЦ-1 (ДСП-1,2), маневровими диспетчерами поста №18, черговими північної та південної гірок, а також черговими ЕЦ-2 (ДСП-4, 24). Передбачено три маневрові колонки, що дозволяють переводити стрілки на місцеве керування.

Манєврова робота забезпечується вісьмома локомотивами серії ЧМЕ-3, оснащеними саморозчіпними пристроями та радіозв'язком, що обслуговуються машиністами одноосібно. У південній гірці задіяно два маневрові локомотиви, ще один працює у південному сортувальному парку. У північній системі – два локомотиви на гірці та один у сортувально-відправному парку. У південному транзитному парку для обробки транзитних поїздів та розвозу місцевих вантажів використовується один маневровий локомотив у денний час (з 8:00 до 20:00) і один підмінний локомотив у той самий період.

Манєврові локомотиви південної сортувальної системи, що працюють у парній горловині парку, обладнані двома радіостанціями 72РУМ. Зв'язок

забезпечується на двох частотах: перша (153,900 МГц) охоплює маневрового диспетчера півдня, чергового по південній гірці, операторів гірки, складачів, чергового по станції ЕЦ-1 та сигналіста поста №22; друга (154,000 МГц) – чергових по станції ЕЦ-2 (ДСП-4,24), чергового по парку, складача 24-го маневрового району, маневрового диспетчера південної системи, операторів гірки та третьої гальмової позиції. У приміщенні чергового по гірці встановлені радіостанції обох частот, а також у маневрового диспетчера та операторів постів – радіостанції з кнопкою перемикання частоти.

У північній системі локомотиви гірки та 9-го маневрового району оснащені радіостанціями 72РУМ з частотою 155,550 МГц, що забезпечує зв'язок із черговим по гірці, ДСП-1,2 ЕЦ-1, складачами, черговим по парку, складачем 9-го району та сигналістом Зміївського парку. Локомотиви південного транзитного парку мають радіостанції з частотою 155,450 МГц, що дозволяє їм підтримувати зв'язок з ДСП-2 ЕЦ-1 та маневровими диспетчерами поста №18. Маневрові локомотиви можуть перемикатися між частотами відповідно до району роботи.

Усі сигналісти та складачі поїздів забезпечені переносними радіостанціями типу «Транспорт», які постійно увімкнені. Локомотиви гірок, а також 9-го, 24-го маневрових районів і південного транзитного парку мають зв'язок зі складачами через ці радіостанції. У парках станції розміщено перемовні колонки й гучномовці. Всі парки обладнані освітленням, у якому застосовуються галогенні, ксенонові світильники та лампи розжарювання.

Станційний технологічний центр (СТЦ), що забезпечує обробку поїзної інформації та перевізних документів, функціонує в системі КСЕОД. У СТЦ встановлено персональні ЕОМ для операторів прибуття та відправлення, які використовуються для отримання довідкової інформації та коригування повідомлень маневровими диспетчерами північної і південної систем. Для контролю составів, які прибувають на розформування, у горловинах парків встановлені пости списування, обладнані телетайпними апаратами Т-63 та Ф-1213, що підключені до СТЦ.

На станції функціонують чотири пости списування составів на ходу, які забезпечують оперативну обробку поїздів при їх прибутті та перестановці між парками.

Пост №21 розміщений у північній горловині північного приймального парку. Він використовується для списування непарних поїздів, які надходять по Харківській та Новожанівській коліях, а також для обробки кутових передач, що переставляються з північної системи до південної.

Пост №10 знаходиться в районі північної гірки, між станційним та сортувальним парками. Його основне призначення — списування составів, які прибувають у Зміївський парк із північного напрямку.

Пост №14 розташований у південній горловині Зміївського парку. Він забезпечує списування поїздів, що прибувають до парку з південного напрямку.

Пост №31 встановлений у 24-му маневровому районі. Його завдання — списування составів при перестановці в південний парк відправлення, а також обробка кутових потоків.

У вхідних горловинах усіх парків станції встановлені бункери для прийому перевізних документів від машиністів вантажних поїздів. Передача цих документів до Станційного технологічного центру (СТЦ) та в зворотному напрямку здійснюється за допомогою пневмопошти великого діаметра (155 мм). Для пересилання документів між конторами прибуття та відправлення північної та південної систем використовується електропідйомник.

На станції також функціонує локомотивне депо, яке забезпечує роботу на дільницях Основа–Полтава, Основа–Ворожба та Основа–Смородино. У депо базуються локомотиви серій ТЕП-70 та два тепловози ТЕ-116. Депо та пункт технічного огляду (ПТО-2) розташовані безпосередньо біля південного транзитного парку.

Крім того, для відстою електровозів, що прибувають із Лиману та Куп'янська, у районі 24-го поста функціонує ще один пункт технічного огляду — ПТО-1.

У центральній частині станції, між північною та південною системами, розташоване вагонне депо. Воно виконує як деповський, так і поточний ремонт рухомого складу.

Розташування пунктів технічного огляду, службово-технічних будівель і об'єктів станційної інфраструктури наведено на відповідній схемі станції.

1.2 Характеристика експлуатаційної роботи станції.

Північна сортувальна система станції здійснює переробку вагонопотоку, що надходить із напрямків Лимана, Куп'янська, Люботина, а також зі станцій Харківського залізничного вузла, зокрема Харків-Сортувальний, Одноробівка, Люботин.

Південна сортувальна система обробляє вагонопотоки, сформовані для відправлення у зворотному напрямку — на Лиман, Куп'янськ, Харків-Сортувальний.

Вагони, що надходять із південного напрямку для подальшої переробки на північ, спочатку прибувають у Зміївський парк. Після проведення технічного (ПТО) та комерційного (ПКО) огляду, вони направляються на північну гірку, де виконується розформування. Слідом за цим вагони надходять у північний сортувально-відправний парк, де здійснюється накопичення та формування нових составів, призначених для північного напрямку.

У свою чергу, вагонопотік, що прямує з півночі, надходить у північний приймальний парк. Після обробки ПТО і ПКО вагони скеровуються на південну гірку, звідки розформовані состави переміщуються у південний сортувальний парк для накопичення та формування поїздів у південному напрямку. Готові поїзди виставляються у південний парк відправлення, де проходять заключний огляд працівниками ПКО та ПТО, після чого відправляються за призначенням.

1.3 Оперативне планування поїзної і вантажної роботи лінійного об'єкту

Загальне керівництво виробничою та господарською діяльністю сортувальної станції здійснює начальник станції. До його функціональних обов'язків належать організація та контроль виконання технічних норм експлуатаційної роботи, реалізація добових планів і змінних завдань, а також забезпечення обробки поїздів і вагонів відповідно до затвердженого технологічного процесу, графіка руху поїздів і плану формування составів.

У межах розподілу обов'язків начальнику допомагають головний інженер і заступник начальника станції.

Для оперативного управління роботою станції використовується персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ), встановлена в кабінеті начальника станції та в диспетчерській студії. На ПЕОМ розміщене програмне забезпечення інтелектуального терміналу АРМ ДС, за допомогою якого керівник станції може отримувати оперативні довідки про стан роботи за зміну або добу: стан роботи гірок, порушення плану формування, відправлення великовагових і довгоскладових поїздів. Також забезпечено доступ до систем АСУСС і АСОУП для отримання довідкової інформації.

Інженерно-технічне забезпечення

Розробку та впровадження технологічного процесу, а також заходів щодо ефективного використання технічних засобів, забезпечення безпеки руху і охорони праці здійснюють інженерно-технічні працівники під керівництвом головного інженера. Всі ІТП мають у посадових інструкціях обов'язки з охорони праці.

Комерційно-вантажна діяльність

Заступник начальника станції з вантажної та комерційної роботи відповідає за організацію роботи вантажного цеху, контролює виконання інструкцій з охорони праці та техніки безпеки у вантажному господарстві.

Оперативне управління

На станції функціонує центральний гірковий пункт управління, який забезпечує концентрацію керівництва всіма процесами. У ньому розташовані робочі місця станційного та маневрового диспетчерів, чергових по станції (ДСП-1, ДСП-2), гіркового чергового, а також фахівців станційного технологічного центру, які обробляють поїзну інформацію та перевізні документи.

- Станційний диспетчер керує маневровою роботою з місцевими вагонами.
- Черговий по станції відповідає за прийом, відправлення та пропуск поїздів, маневрову роботу у визначеному районі, а також за рух поїзних локомотивів між станцією і депо.
- Черговий по гірці забезпечує ефективне розформування та формування составів, контролює роботу гіркових локомотивів, слідкує за справністю пристроїв гірки та безпечністю процесу розпуску.
- Маневровий диспетчер веде облік виконаної роботи згідно з графіком під час чергування.

1.4 Оперативне планування поїзної та вантажної роботи станції

Мета оперативного планування полягає в забезпеченні ефективної роботи станції відповідно до поточних умов, зокрема:

- виконання заданих розмірів руху поїздів;
- здійснення розпуску составів на гірках;
- реалізація регулювальних завдань;
- виконання планів навантаження та вивантаження;
- дотримання графіка руху поїздів та плану формування;
- досягнення основних якісних показників роботи станції.

Види та періодичність планування

Оперативне планування здійснюється:

- на добу — загальний план роботи станції;
- на зміну — деталізований план для чергової зміни;

- по 4-годинних періодах — коригування плану в ході зміни відповідно до поточної ситуації.

Основні джерела інформації для планування

При складанні змінних і поточних планів враховується:

- інформація про підхід поїздів, вагонів і локомотивів;
- розрахунок очікуваної наявності рухомого складу на початок планованого періоду.

Добовий план-завдання роботи станції

Розробляється регіональним представництвом та передається заступнику начальника станції з оперативної роботи не пізніше ніж за 3 години до початку планової доби.

Містить:

- загальну кількість поїздів, які мають бути прийняті з кожного напрямку, з поділом на транзитні та розбірні;
- кількість поїздів, що мають бути відправлені, із зазначенням составів власного формування, у тому числі довгоскладових і великовагових;
- завдання з відправлення порожніх вагонів у регулювання (напрямок, тип вагонів);
- обсяги навантаження та вивантаження, з виділенням пріоритетних вантажів;
- додаткові завдання, передбачені місцевими умовами.

План вантажної роботи

На основі добового плану-завдання начальник або заступник начальника станції:

- складає план вантажної роботи по кожному вантажовідправнику та вантажоодержувачу;
- визначає обсяги подавання вагонів під навантаження.

Вихідні дані для складання плану:

- місячний план навантаження;
- заявки вантажовідправників;

- інформація про наявні та очікувані порожні вагони;
- кількість вагонів, що звільняються після вивантаження;
- нормативи часу на вантажні операції;
- спеціальні вказівки регіонального представництва.

Планування формування поїздів

Формування поїздів здійснюється:

- за призначеннями;
- відповідно до ниток графіка руху;
- із зазначенням: номера поїзда, часу відправлення, станції призначення, номера локомотива.

У разі нестачі ниток графіка — допускається відправлення додаткових поїздів за диспетчерським розкладом.

Інформаційне забезпечення

Інформація про підхід поїздів надходить у вигляді **телеграм-натурних листів (ТГНЛ)** від дорожнього обчислювального центру (ДОЦ) до станційного обчислювального центру (СОЦ).

ТГНЛ містять:

- номер і індекс поїзда;
- вагу, умовну довжину, кількість вагонів;
- призначення вагонів згідно з планом формування;
- для вагонів під вивантаження — рід вантажу та одержувач.

Передаються не пізніше ніж через 10 хвилин після відправлення поїзда.

Додаткові дані:

- по транзитних поїздах зі зміною маси — кількість та вага вагонів, що відчіпляються, їх розміщення в составі;
- по негабаритних або небезпечних вантажах — відповідні позначки;
- по змінах у складі поїзда в дорозі — новий номер, зміни в составе, технічні чи комерційні несправності, місце їхнього розташування.

Уся ця інформація дозволяє оперативно коригувати плани роботи станції у режимі реального часу.

1.5. Диспетчерське керівництво розформуванням-формуванням поїздів.

Технологія управління роботою станції

В основу технології роботи сортувальної станції покладено метод диспетчерського керівництва процесами розформування–формування поїздів і місцевої роботи, що забезпечує:

- раціональне використання технічних засобів;
- мінімізацію часу перебування вагонів на станції.

Метод поїздоутворення та його планування

Для виконання плану приймання і відправлення поїздів за північною та південною системами застосовується метод поїздоутворення, який дозволяє:

- здійснювати планування по 4-годинних періодах;
- ефективно використовувати пропускну та переробну здатність станції.

Планування поїздоутворення виконують:

- станційний диспетчер;
- маневровий диспетчер південної системи.

Це здійснюється за допомогою комплексної системи електронного документообігу (КСЕОД).

Змінна спеціалізація колій

У разі нерівномірного надходження або вивезення вагонів окремих призначень, при нестачі місця на спеціалізованих коліях, диспетчери застосовують змінну спеціалізацію колій сортувального парку. Це забезпечує:

- рівномірність розпуску составів;
- уникнення затримок через нестачу місткості.

Завдання до кінця зміни

Станційний і маневровий диспетчери південної системи мають створити умови для безперебійної роботи наступної зміни, а саме:

- забезпечити наявність вільних приймальних колій;
- підготувати состави до розпуску;
- забезпечити готовність колій до наступного розпуску;
- сформувати состави для відправлення згідно з оперативним планом і графіком руху.

Інформаційне забезпечення диспетчерів

На робочих місцях диспетчерів встановлено автоматизовані робочі місця (АРМ), які надають доступ до:

- довідок про стан колій парків;
- інформації про підхід поїздів;
- розмічених ТГНЛ;
- сортувальних листків;
- змін у спеціалізації колій;
- списків вагонів на коліях;
- довідок про вагони робочого парку;
- інформації про порушення плану формування;
- довідок про повноваговість і повносоставність поїздів;
- відомостей про роботу сортувальних гірок.

Функції та відповідальність СТЦ

Працівники станційного технологічного центру (СТЦ) відповідають за:

- дотримання плану формування поїздів;
- схоронність перевізних документів;
- правильність складання натурних листів та їх відповідність реальному складу поїзда;
- виконання норм часу на обробку поїздів і документації;
- дотримання конфіденційності перевізної інформації;
- достовірність обліку вагонів, поїздів і контейнерів на стиках (напр., «Безлюдівка», «Люботин»);
- точність звітності з використання вагонного парку.

У випадках ущільненого підходу або відправлення поїздів в одній системі, оператори СТЦ іншої системи надають допомогу в обробці інформації та перевізних документів.

Інформаційні джерела для СТЦ

При виконанні своїх обов'язків працівники СТЦ керуються:

- схемами і атласами залізниць;
- алфавітним списком станцій з єдиною сітьовою розміткою;
- планом формування та розкладом відправлення поїздів;
- допоміжними таблицями до плану формування;
- таблицями ЄМР (єдина маршрутна розмітка);
- таблицями для розрахунку тари і умовної довжини вагонів;
- інструкцією зі складання натурального листа;
- технологічними графіками обробки;
- Правилами технічної експлуатації (ПТЕ) та Правилами перевезення вантажів;
- інструкційно-технологічними картами операторів.

Організація роботи СТЦ

Начальник СТЦ очолює роботу підрозділу, в який входять:

- старші оператори;
- оператори;
- оператори ЕОМ;
- старші сведеністі та сведеністі.

Послідовність обробки прибулих поїздів

1. Попередня інформація про состав поїзда надходить у вигляді П.02 ТГНЛ з АСОУП у КСЕОД.
2. При підході поїзда до вхідного сигналу чергові ДСПЦ-1 і ДСП-4 повідомляють операторів СТЦ для звірки інформації.
3. Після комерційного та технічного огляду, оператор СТЦ:
 - складає достовірну ТГНЛ;
 - формує сортувальний листок;

- передає документи маневровому диспетчеру для подальшого планування маневрової роботи.

1.6 Аналіз даних статистичних виконання експлуатаційних показників

Для подальшого обґрунтування мети і завдань магістерської кваліфікаційної роботи доцільно проаналізувати статистичні показники виконання експлуатаційної роботи, зокрема:

- середній час знаходження транзитних вагонів на технічній станції;
- кількість відправлених вагонів зі станції, що є технічною основою Харківської дирекції залізничних перевезень АТ «Укрзалізниця».

Аналіз цих показників дозволяє виявити тенденції ефективності функціонування станції, а також вузькі місця, які впливають на швидкість та ритмічність перевізного процесу.

На рисунку 1.1 наведено динаміку зміни середнього простою транзитного вагона на технічній станції у розрізі останніх років [22].

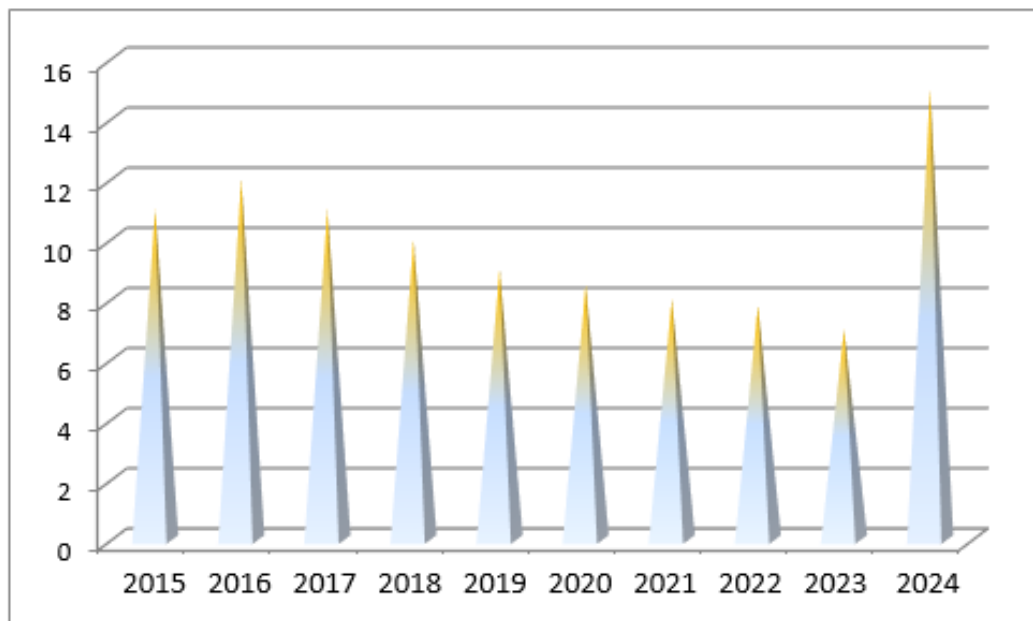


Рисунок 1.1 – Середній час простою транзитного вагона на технічній станції.

З рисунку 1.1 видно, що цей показник має коливне середнє значення за роками і порівняно з 2021 роком зріс майже на 3,74 години. Як було зазначено раніше, це може бути пов'язано з нестабільним характером вагонопотоку, який різко знизився. Тому наступним логічним кроком є дослідження середньомісячної кількості відправлених вагонів (рис. 1.2).

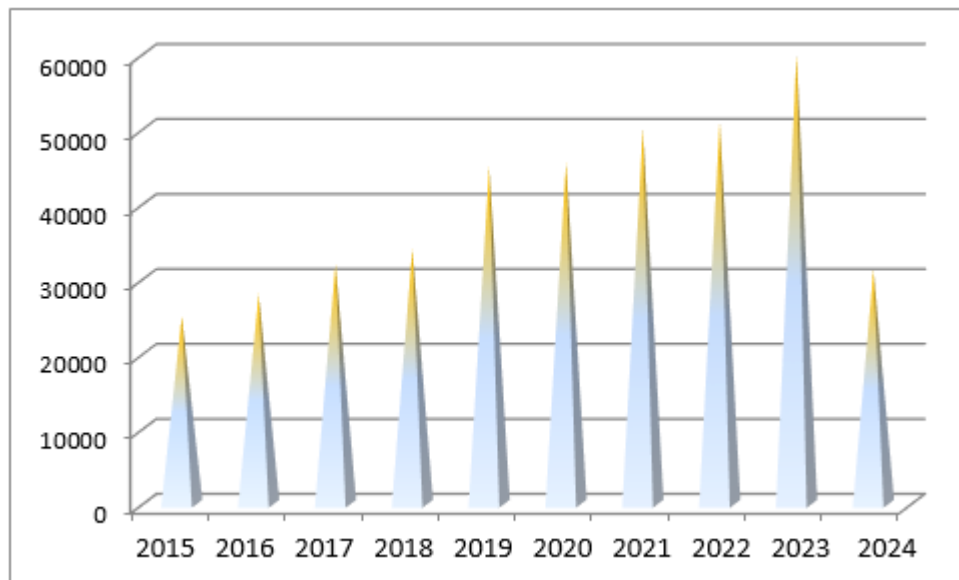


Рисунок 1.2 – Середня кількість вагонів, відправлених за місяць.

Отже, рисунок 1.2 підтверджує наявність негативної тенденції у зміні вагонопотоку.

Для більш детального аналітичного дослідження доцільно розглянути показники за останній офіційно опублікований рік. На рисунках 1.3 та 1.4 наведені дані про середній простій транзитного вагону по місяцях 2020 року та відповідно кількість відправлених вагонів за цей же період.

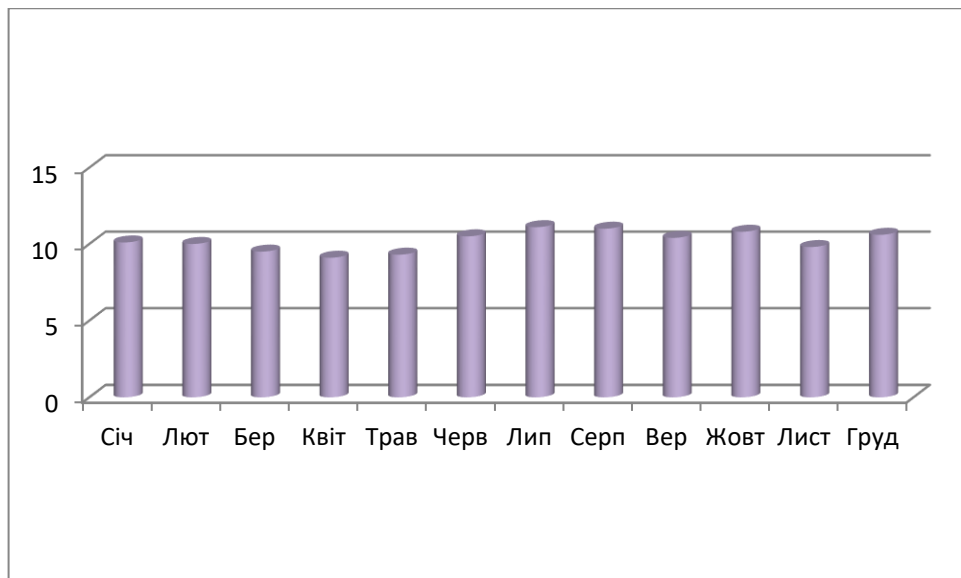


Рисунок 1.3 – Середній час простою транзитного вагона за місяцями 2024 року

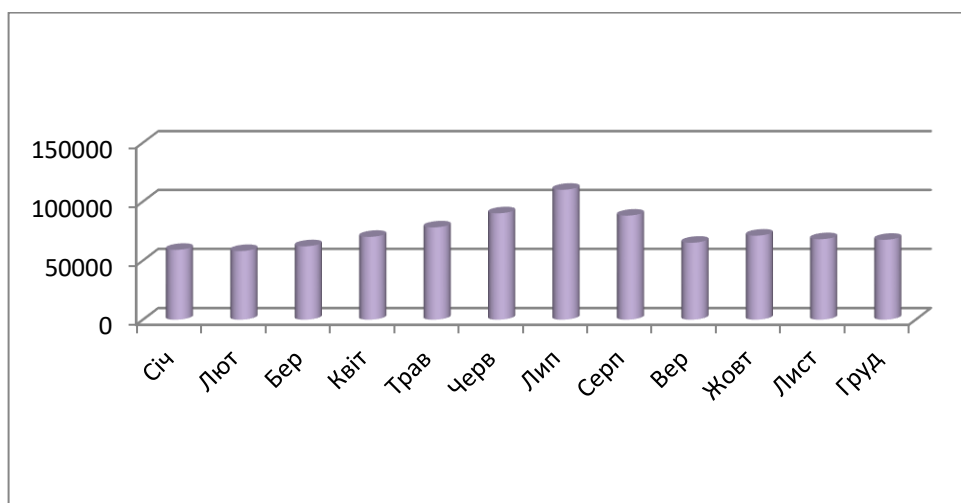


Рисунок 1.4 – Обсяг відправлених вагонів за 2024 рік

Отже, на основі проведеного аналізу можна констатувати, що на сьогодні існують певні недоліки у виконанні технологічного процесу формування та просування вагонопотоків, що обумовлено здебільшого об'єктивними факторами. Водночас, це не означає безвихідь для залізничників — навпаки, ситуація вимагає пошуку ефективних рішень і вдосконалення існуючих методів оперативного планування та формування поїздів у умовах нечіткої та нестабільної обстановки.

2. Удосконалення технологічних процесів роботи технічної станції в умовах нечіткої визначеності

2.1 Удосконалення технології розрахунку плану поїзної роботи залізничної станції

Як було зазначено у розділі 1 цієї кваліфікаційної роботи, оперативне планування роботи станції здійснюється з метою виконання таких основних завдань: прийом і відправлення поїздів та вагонів (у тому числі порожніх вагонів у регулювання), навантаження і вивантаження, перевалка і сортування вагонів і вантажів, а також забезпечення дотримання графіку руху і плану формування поїздів, а також основних якісних показників роботи станції [3, 15, 16].

Дирекції по залізничних перевезеннях на основі добових планів, наданих станціями, розробляють добовий план поїзної і вантажної роботи станції і передають його станції не пізніше ніж за 3 години до початку планової доби [19]. Цей план містить такі дані [19]:

- загальну кількість поїздів, які підлягають прийманню станцією з кожного напрямку з розподілом на транзитні і розбірні;
- загальну кількість поїздів, які необхідно відправити зі станції на кожен напрямок, з виділенням поїздів власного формування;
- завдання з відправлення порожніх вагонів у регулювання з визначенням напрямку руху і типу рухомого складу;
- обсяги навантаження, вивантаження, перевантаження з морського або річкового транспорту з виділенням найважливіших вантажів;
- завдання на навантаження відправницьких технічних і ступінчатих маршрутів;
- кількість порожніх вагонів, які мають прибути під навантаження;

- інші завдання, що впливають із місцевих умов роботи станції (промивка вагонів, пропарка цистерн, екіпірування рефрижераторного рухомого складу, обладнання вагонів для спеціальних вантажів тощо);
- кількість вагонів власності країн СНД і Балтії, які очікуються на станцію.

Передача цієї інформації здійснюється за допомогою телефонного зв'язку, що негативно впливає на оперативність передачі даних. Через це, фактично, після отримання плану оперативна ситуація на полігоні може суттєво змінитися [20]. Для мінімізації цієї проблеми застосовується метод 4–6-годинного аналізу і коригування оперативних планів. Проте й у цьому випадку втрачається об'єктивність даних через значний часовий інтервал між фактом події і прийняттям управлінського рішення.

Низька об'єктивність даних також пояснюється тим, що рішення приймаються виключно на основі людського досвіду, без застосування автоматизованих розрахунків, особливо з урахуванням нечітких вхідних даних.

Враховуючи вищезазначене, конкретизуємо задачу даної кваліфікаційної роботи: удосконалення технології роботи технічної станції в нечітко визначених і нестабільних умовах шляхом розробки оптимального варіанту оперативного плану поїзної роботи залізничної станції. Цей план має стати основою автоматизованої технології оперативного планування з використанням елементів штучного інтелекту.

Доцільним є розв'язання поставленої задачі через удосконалення існуючої технології [22] шляхом формування відповідної моделі.

Слід зазначити, що основою оперативного плану поїзної та вантажної роботи залізниць є дані про майбутнє прибуття та відправлення поїздів зі станцій, а також інформація про формування маршрутів з місць навантаження. Відповідно, оптимізаційну модель розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції можна подати у спрощеному вигляді, що буде розглянуто далі.

$$\Delta N = \sum_{i=1}^l \sum_{p=1}^{\kappa} (N_{ip}^{nl} - N_{ip}^{euk}) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

при обмеженні

$$\begin{cases} x_1 \leq 24 - t_{\phi} \\ x_2 \leq 24 - \left(\sum_{j=1}^h t_j + \sum_{q=1}^w t_q \right) \\ \text{при } x_1 + x_2 \leq 24 \end{cases} \quad (2.2)$$

де ΔN — параметр виконання плану;

N_{ip}^{nl} — заплановане число поїздів, які будуть перероблюватися на станції (прибуття, відправлення, формування маршрутів);

N_{ip}^{euk} — реальне виконання поїзної роботи станції;

i — кількість станцій на дільниці, які беруть участь в оперативному плануванні;

p — параметр оперативного плану поїзної роботи, що відповідає обсягу поїзної роботи (кількість відправлених, прибулих поїздів та сформованих маршрутів);

x_1 — час до відправлення поїзда зі станції формування (за умови наявності вагонів у кількості, необхідній для формування поїзда), год.;

x_2 — час слідування поїзда від станції формування до станції розформування (з урахуванням перегінних часів, часів на схрещення, обгони тощо), год.;

t_{ϕ} — час формування певного поїзда, год.;

t_j — час слідування поїздів по перегонах, де — кількість перегонів, год.;

t_q — час простою поїздів під схрещеннями, обгонами, у випадках неприймання на станцію $q = 1, 2, \dots, w$, де w — кількість розмежувальних пунктів, на яких відбувалася затримка поїзда, год.

У виразі (2.1) використання модуля означає, що як недовиконання, так і перевиконання плану негативно впливають на якість роботи інфраструктури залізничного транспорту. Це припущення базується на тому, що при недовиконанні плану перевезень залізниця втрачає прибуток, а при перевиконанні порушується прийнята технологія та ритм роботи, що також може призвести до зниження ефективності та прибутковості [11, 12].

Враховуючи основні положення оперативного планування та сформовану цільову функцію (2.1), у процесі розробки запропонованої технології виникає необхідність узагальнення великої кількості незалежних параметрів. Тому цю задачу доцільно віднести до категорії слабо структурованих, для розв'язання яких найбільш підходить математичний апарат нечіткої логіки.

Для мінімізації значень цільової функції (2.1) під час складання оперативного плану необхідно оцінити впевненість у прибутті або відправленні кожного конкретного поїзда. З цією метою потрібно формалізувати такі процеси:

- визначення кількості поїздів, які підлягають прийманню станцією з кожного напрямку;
- визначення кількості транзитних та дільничних поїздів, що підлягають відправленню з технічної та вантажної станції;
- оцінка доцільності формування маршрутів з місць навантаження.

2.2 Формалізація процедури визначення кількості поїздів, що підлягають прийманню станцією з кожного напрямку

Вирішення поставленої задачі формалізації процесів розрахунку параметрів оперативного плану поїзної роботи доцільно розпочати з формалізації процедури визначення кількості поїздів, які підлягають прийманню станцією з кожного напрямку [22].

Враховуючи умови експлуатації, основою для розрахунку є такі ключові параметри:

- час до відправлення поїзду зі станції формування (x_1) за умови наявності необхідної кількості вагонів для формування поїзда);
- час слідування поїзду від станції формування до станції розформування (x_2);
- час, що залишився до завершення планової доби (x_3).

Ці параметри в сукупності визначають ймовірність прибуття поїзда на станцію. Таким чином, задача полягає у знаходженні такої комбінації вхідних параметрів, що сприятиме прибуттю поїзда.

Необхідність врахування вказаних параметрів дозволяє віднести поставлену задачу до класу слабкоструктурованих [120-122, 133]. Як було зазначено раніше, для розв'язання задач такого типу найбільш ефективним є застосування методів нечітких множин та нечіткої логіки. Ці методи дозволяють одночасно узагальнити велику кількість вхідних параметрів, включно з такими, x_1, x_2, x_3 формалізація яких є ускладненою, і надати обґрунтовані рішення як у вигляді конкретного числового значення, так і з відображенням ступеня впевненості у виникненні тієї чи іншої події [22, 14].

Згідно з основними поняттями нечіткої логіки, представимо вхідні параметри у вигляді лінгвістичних змінних [22, 16]. Для моделювання процесу визначення кількості поїздів, які підлягають прийманню станцією з кожного напрямку, задаємо трійку лінгвістичних змінних у вигляді:

$\langle x_1, T_1, A \rangle, \langle x_2, T_2, B \rangle, \langle x_3, T_3, C \rangle$. Безпосередньо переходячи до формалізації, лінгвістичну змінну можна представити у вигляді $\langle x_1, T_1, A \rangle$:

$$\langle x_1, T_1, A \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до відправлення"}, T_1, [a_{\min}, a_{\max}] \rangle, \quad (2.3)$$

де $T_1 = \{ \text{"в межах доби"}, \text{"можливо в межах доби"}, \text{"за межами доби"} \}$

$a_{\min}, a_{\max}$ - область визначення $A = \{a\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до відправлення поїзду свого формування.

Нечітку підмножину множини H_2 можна описати у такому вигляді

$$\tilde{\alpha}_i = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_i}(a) / a \right\rangle \right\} \quad (a \in A), \quad (2.4)$$

де $\mu_{\alpha_i}(a)$ - функція приналежності, що представляє нечітку змінну $\tilde{\alpha}_i$.

У цьому випадку значення лінгвістичної змінної "Час до відправлення" з терм-множиною T_1 характеризується функціями належності, що мають відповідні назви та обмеження на допустимі значення. Відповідно, параметри нечітких змінних $\tilde{\alpha}_i$ можуть бути подані в аналітичній формі наступним чином:

$$\begin{aligned} \langle \text{"в межах доби"}, [a_{\min}, a_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"в межах доби"}, [0, 10], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо в межах доби"}, [a_{\min}, a_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо в межах доби"}, [0, 24], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"за межами доби"}, [a_{\min}, a_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"за межами доби"}, [10, 24], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Лінгвістичну змінну $\langle x_2, T_2, B \rangle$ представити можна в такому вигляді

$$\langle x_2, T_2, B \rangle \rightarrow \langle \text{"Час слідування"}, T_2, [b_{\min}, b_{\max}] \rangle \quad (2.6)$$

де $T_2 = \{ \text{"в межах доби"}, \text{"можливо в межах доби"}, \text{"за межами доби"} \}$

$b_{\min}, b_{\max}$ - область визначення $B = \{b\}$ відповідної до нечіткої змінної, якщо характеризує величину часу с прямування поїзду до станції призначення.

Нечітку підмножину множини B можна описати у такому вигляді

$$\tilde{\alpha}_n = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_n}(b)/b \right\rangle \right\} \quad (b \in B). \quad (2.7)$$

де $\mu_{\alpha_n}(b)$ - функція приналежності, що представляє нечітку змінну $\tilde{\alpha}_n$.

В такому вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_n$ можна описати наступним чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"в межах доби"}, [b_{\min}, b_{\max}] \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"в межах доби"}, [0, 12] \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо в межах доби"}, [b_{\min}, b_{\max}] \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо в межах доби"}, [0, 24] \tilde{\alpha}_2 \rangle, \quad (2.8) \\ \langle \text{"за межами доби"}, [b_{\min}, b_{\max}] \tilde{\alpha}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"за межами доби"}, [12, 24] \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned}$$

Лінгвістичну зміну $\langle x_3, T_3, C \rangle$ можливо описати наступним чином

$$\langle x_3, T_3, C \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до закінчення доби"}, T_3, [c_{\min}, c_{\max}] \rangle \quad (2.9)$$

де $T_3 = \{ \text{"не встигне"}, \text{"можливо встигне"}, \text{"встигне"} \}$

$c_{\min}, c_{\max}$ - область визначення $C = \{c\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до закінчення звітної доби.

Нечітку підмножину множини C можна описати наступним чином

$$\tilde{\alpha}_k = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_k}(c)/c \right\rangle \right\} \quad (c \in C). \quad (2.10)$$

де $\mu_{\alpha_k}(c)$ - функція приналежності, що представляє нечітку змінну $\tilde{\alpha}_k$.

У такому вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_k$ можна описати у такому вигляді

$$\begin{aligned} \langle \text{"не встигне"}, [c_{\min}, c_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"не встигне"}, [0, 12], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо встигне"}, [c_{\min}, c_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо встигне"}, [0, 24], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"встигне"}, [c_{\min}, c_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle. & \quad \langle \text{"встигне"}, [12, 24], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Після того як визначено всі параметри нечітких вхідних змінних потрібно сформулювати вихідну лінгвістичну змінну у наступному вигляді $\langle d, T_4, E \rangle$

$$\langle d, T_4, E \rangle \rightarrow \langle \text{"Прибуття"}, T_4, [e_{\min}, e_{\max}] \rangle \quad (2.12)$$

де $T_4 = \{\text{"не прибуде"}, \text{"можливо прибуде"}, \text{"прибуде"}\}$

$e_{\min}, e_{\max}$ - область визначення $E = \{e\}$ вихідної нечіткої змінної, що відбиває ступінь впевненості в прибутті поїзда на станцію призначення.

Нечітку підмножину множини E можна описати наступним чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"не прибуде"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"не прибуде"}, [0, 0.5], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо прибуде"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо прибуде"}, (0.5, 0.9), \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"прибуде"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle. & \quad \langle \text{"прибуде"}, [0.9, 1], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.13)$$

При характеристиці нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_r$ вважається, що у випадку отримання вихідного значення в певному діапазоні можна зробити такі висновки $[0, 0.5)$:

- $[0.9,1]$ поїзд, ймовірно, не прибуде на станцію призначення у змінно-добовий період;
- $(0.5,0.9)$ за сприятливих умов є ймовірність, що поїзд прибуде на станцію призначення у змінно-добовий період;
- поїзд, швидше за все, прибуде на станцію призначення у змінно-добовий період.

Головна відмінність між системами типу Mamdani та Sugeno полягає у способах задання вихідного значення у правилах, що формують базу знань. У системах Mamdani вихідні змінні задаються у вигляді нечітких термів [23], тоді як у системах Sugeno — у вигляді лінійної комбінації вхідних змінних [4]. Оскільки основною метою моделі є визначення конкретного числового значення на основі комбінації вхідних параметрів, у цьому випадку доцільніше застосовувати алгоритм Sugeno [23].

Нечіткий логічний висновок за алгоритмом Sugeno в цьому випадку реалізується на основі відповідної нечіткої бази знань [23].

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ з вагою } w_{jp} \right) \rightarrow z = a_j \cdot x_1 + b_j \cdot x_2 + c_j \cdot x_3, j = \overline{1, m}, \quad (2.14)$$

де a_j, b_j, c_j - значення нечітких змінних x_1, x_2, x_3 .

Під час реалізації логічного висновку за алгоритмом Sugeno правила, що містяться в базі знань, фактично виконують функцію перемикачів між різними лінійними залежностями. Оскільки межі підобластей є розмитими, у певних випадках до однієї й тієї самої області можуть одночасно застосовуватись кілька лінійних функцій, але з різними рівнями приналежності [23].

Для практичної реалізації цього алгоритму необхідно сформулювати набір правил у такому вигляді [22, 23]:

$$\text{П}_1: \text{якщо } x_1 \in \mu_{\alpha_1}(a) \text{ та } x_2 \in \mu_{\alpha_1}(b) \text{ та } x_3 \in \mu_{\alpha_1}(c) \text{ тоді } d_1 = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3, \quad (2.15)$$

$$\text{П}_2: \text{якщо } x_1 \in \mu_{\alpha_2}(a) \text{ та } x_2 \in \mu_{\alpha_2}(b) \text{ та } x_3 \in \mu_{\alpha_2}(c) \text{ тоді, } d_2 = a_2x_1 + b_2x_2 + c_2x_3, \quad (2.16)$$

$$\text{П}_3: \text{якщо } x_1 \in \mu_{\alpha_3}(a) \text{ та } x_2 \in \mu_{\alpha_3}(b) \text{ та } x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c) \text{ тоді, } d_3 = a_3x_1 + b_3x_2 + c_3x_3. \quad (2.17)$$

де x_1, x_2, x_3 – імена вхідних змінних, терміном раніше;

d_1, d_2, d_3 – імена вихідних змінних (впевненість у прибутті поїзда на станцію призначення);

Після визначення основних параметрів нечітких змінних слід обчислити ступені істинності (міру приналежності) для передумов кожного з правил.

$$\mu_{\alpha_1}(x_1^0), \mu_{\alpha_2}(x_1^0), \mu_{\alpha_3}(x_1^0), \mu_{\alpha_1}(x_2^0), \mu_{\alpha_2}(x_2^0), \mu_{\alpha_3}(x_2^0), \mu_{\alpha_1}(x_3^0), \mu_{\alpha_2}(x_3^0), \mu_{\alpha_3}(x_3^0).$$

На наступному етапі розраховуються знайдені значення:

$$\alpha(x_1^{0,1}, x_2^{0,1}, x_3^{0,1}) = \mu_{\alpha_1}(x_1^0) \wedge \mu_{\alpha_1}(x_2^0) \wedge \mu_{\alpha_1}(x_3^0), \quad (2.18)$$

$$\alpha(x_1^{0,2}, x_2^{0,2}, x_3^{0,2}) = \mu_{\alpha_2}(x_1^0) \wedge \mu_{\alpha_2}(x_2^0) \wedge \mu_{\alpha_2}(x_3^0), \quad (2.19)$$

$$\alpha(x_1^{0,3}, x_2^{0,3}, x_3^{0,3}) = \mu_{\alpha_3}(x_1^0) \wedge \mu_{\alpha_3}(x_2^0) \wedge \mu_{\alpha_3}(x_3^0), \quad (2.20)$$

після чого обчислюються індивідуальні виходи правил:

$$d_1 = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3, \quad (2.21)$$

$$d_2 = a_2x_1 + b_2x_2 + c_2x_3, \quad (2.22)$$

$$d_3 = a_3x_1 + b_3x_2 + c_3x_3. \quad (2.23)$$

На фінальному етапі обчислюється чітке значення змінної виводу, яке відображає рівень впевненості в тому, що поїзд прибуде на станцію призначення.

$$z = \frac{\alpha(x_1^{0,1}, x_2^{0,1}, x_3^{0,1})d_1 + \alpha(x_1^{0,2}, x_2^{0,2}, x_3^{0,2})d_2 + \alpha(x_1^{0,3}, x_2^{0,3}, x_3^{0,3})d_3}{\alpha(x_1^{0,1}, x_2^{0,1}, x_3^{0,1}) + \alpha(x_1^{0,2}, x_2^{0,2}, x_3^{0,2}) + \alpha(x_1^{0,3}, x_2^{0,3}, x_3^{0,3})}. \quad (2.24)$$

Таким чином, у аналітичному вигляді було описано процедуру, яка дозволяє не лише визначити факт прибуття або неприбуття вантажного поїзда на станцію призначення, а й оцінити рівень упевненості у цій події. Це, у свою чергу, відкриває широкі можливості для оперативного планування [15].

Детальний аналіз формалізованої процедури, а також отримання кількісних оцінок упевненості щодо прибуття поїзда буде здійснено з використанням прикладного програмного середовища **Matlab**. З цією метою необхідно побудувати функції належності, що відповідають значенням визначених нечітких змінних x_1, x_2, x_3 .

Побудова функцій належності $\mu_{\alpha_1}(a), \mu_{\alpha_2}(a), \mu_{\alpha_3}(a), \mu_{\alpha_1}(b), \mu_{\alpha_2}(b), \mu_{\alpha_3}(b), \mu_{\alpha_1}(c), \mu_{\alpha_2}(c), \mu_{\alpha_3}(c)$ для визначення ймовірності прибуття поїзда на станцію призначення у межах планової доби базується на дотриманні таких умов [23]:

$$\begin{cases} \sup_{a \in A} \mu_{\alpha_1}(a), \mu_{\alpha_2}(a), \mu_{\alpha_3}(a) = 1, \\ \sup_{b \in B} \mu_{\alpha_1}(b), \mu_{\alpha_2}(b), \mu_{\alpha_3}(b) = 1, \\ \sup_{c \in C} \mu_{\alpha_1}(c), \mu_{\alpha_2}(c), \mu_{\alpha_3}(c) = 1. \end{cases} \quad (2.25)$$

Дотримання вищезазначених умов дає підстави вважати побудовані функції належності нормальними. Після визначення всіх необхідних параметрів функцій приналежності, а також способу отримання вихідних даних, доцільно перейти безпосередньо до етапу їх побудови.

У цьому випадку найраціональнішим підходом є побудова функцій належності на основі нормального розподілу (розподілу Гауса) [17], оскільки він дозволяє ефективно моделювати широкий спектр природних процесів, характерних для життєдіяльності людини, особливо за наявності великого обсягу статистичних даних.

$$\mu_{a_1}(a) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} e^{-\frac{[a_1 - \bar{a}_1]^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.26)$$

де c - коефіцієнт зміщення;

σ - коефіцієнт масштабу;

$\bar{a}_1$ - математичне сподівання часу, що відповідає нечіткій змінній - "в межах доби" визначається на основі наявної інформації про момент відправлення поїзда зі станції формування. У цьому випадку воно приймається рівним годин.

Як випливає з виразу (2.26), розподіл Гауса визначається двома параметрами — зміщенням і масштабом, тобто з математичної точки зору є не окремим розподілом, а цілим сімейством розподілів. Значення цих параметрів відповідають математичному сподіванню (середньому значенню) та стандартному відхиленню (розкиду) відповідно [13].

З урахуванням наявних статистичних даних і змістового навантаження, яке закладено в основу побудови функцій належності $\mu_{a_2}(a)$ та $\mu_{a_3}(a)$, параметри математичного сподівання для відповідних нечітких змінних "можливо в межах доби" і "за межами доби" приймаються рівними годині для $\bar{a}_2 = 12$ годин та $\bar{a}_3 = 24$ години.

Для функцій належності $\mu_{a_1}(b)$, $\mu_{a_2}(b)$, $\mu_{a_3}(b)$, $\mu_{a_1}(c)$, $\mu_{a_2}(c)$, $\mu_{a_3}(c)$, математичне сподівання параметрів t_{0t_0} та σ приймається рівним

значенням, раніше визначеним для змінної $\mu_{1\mu_1}$, оскільки вони описують подібну часову залежність.

На основі визначених параметрів можна побудувати графічне представлення функцій належності для відповідних нечітких змінних, що відображають лінгвістичні змінні:

- "Час до відправлення" — рисунок 2.2
- "Час слідування" — рисунок 2.3
- "Час до закінчення доби" — рисунок 2.4

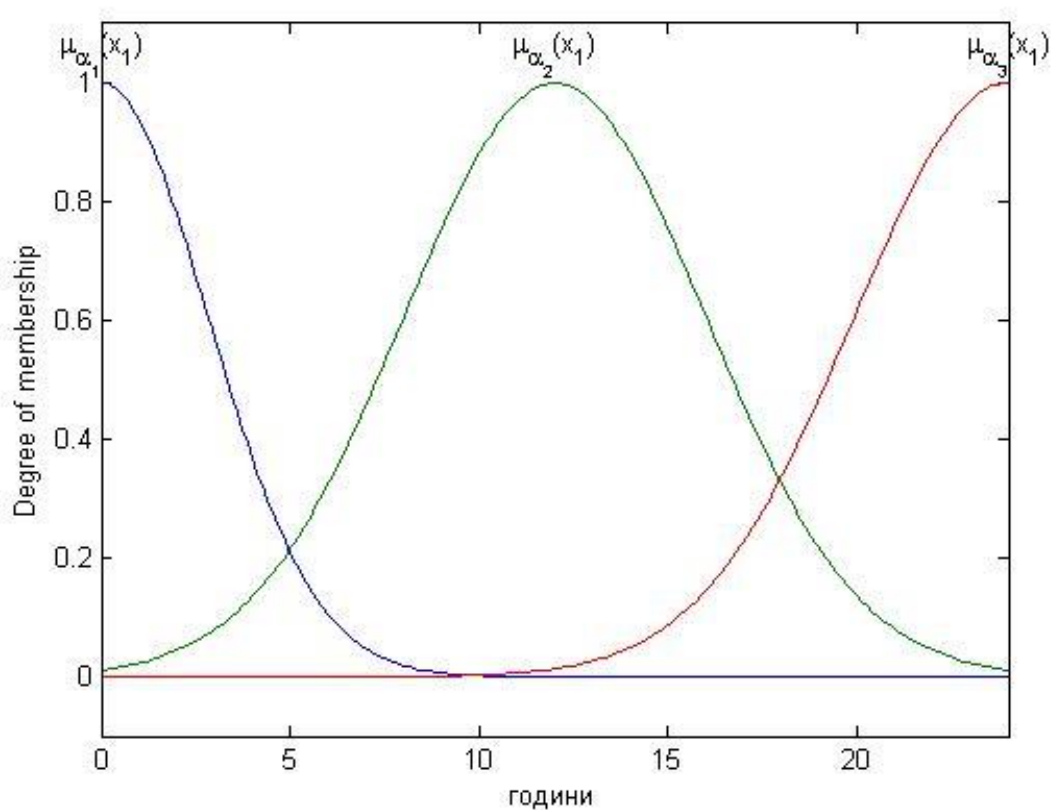


Рисунок 2.2 - Функції належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_i$

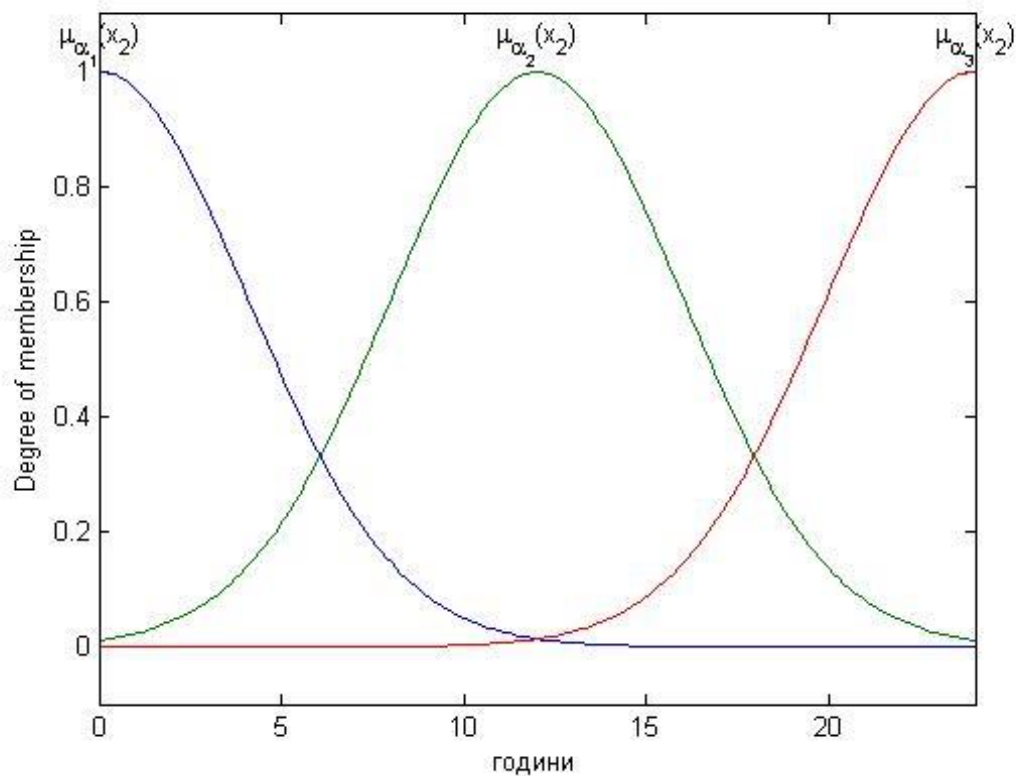


Рисунок 2.3 - Функції належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_n$

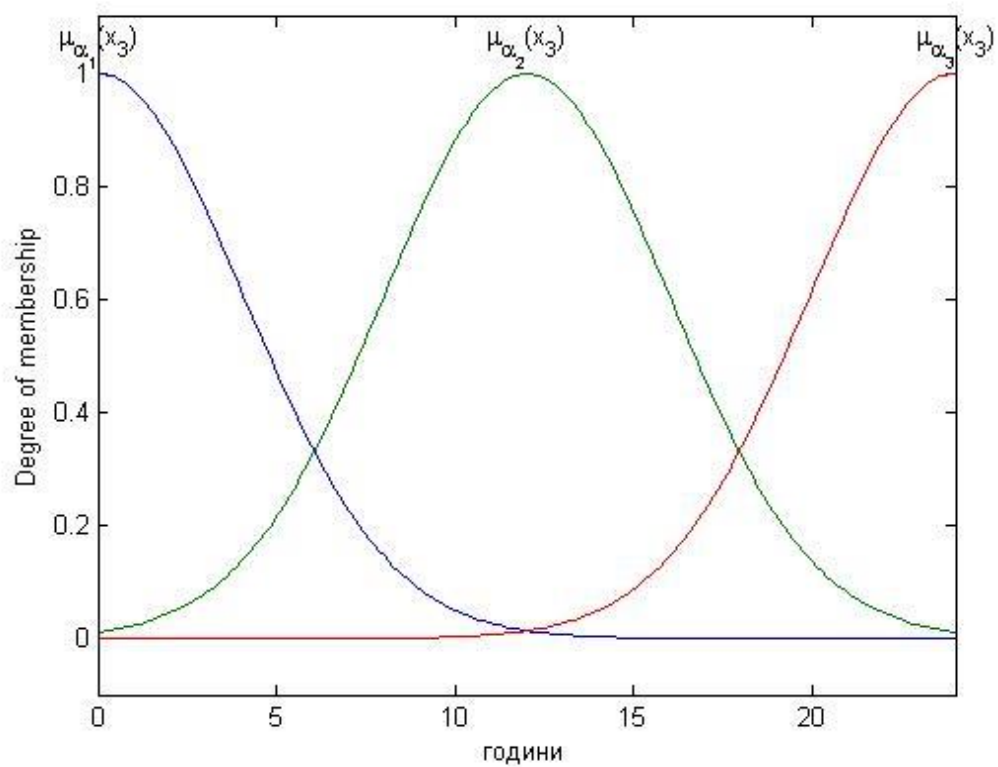


Рисунок 2.4 - Функції належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_k$

Перед початком проведення експерименту необхідно визначити межі впевненості щодо настання події. Зокрема, інтервал $[0; 0,5)$ означає, що поїзд не прибуде на станцію у запланований день, інтервал $[0,9; 1]$ — що поїзд прибуде саме у заплановану добу. Значення в діапазоні $[0,5; 0,9)$ вказують на можливий прибуток поїзда на станцію протягом днів 5 або 6.

Для перевірки цього припущення та одночасної оцінки коректності роботи формалізованої моделі необхідно завантажити вектор отриманих даних у середовище Matlab (див. рисунок 2.5)

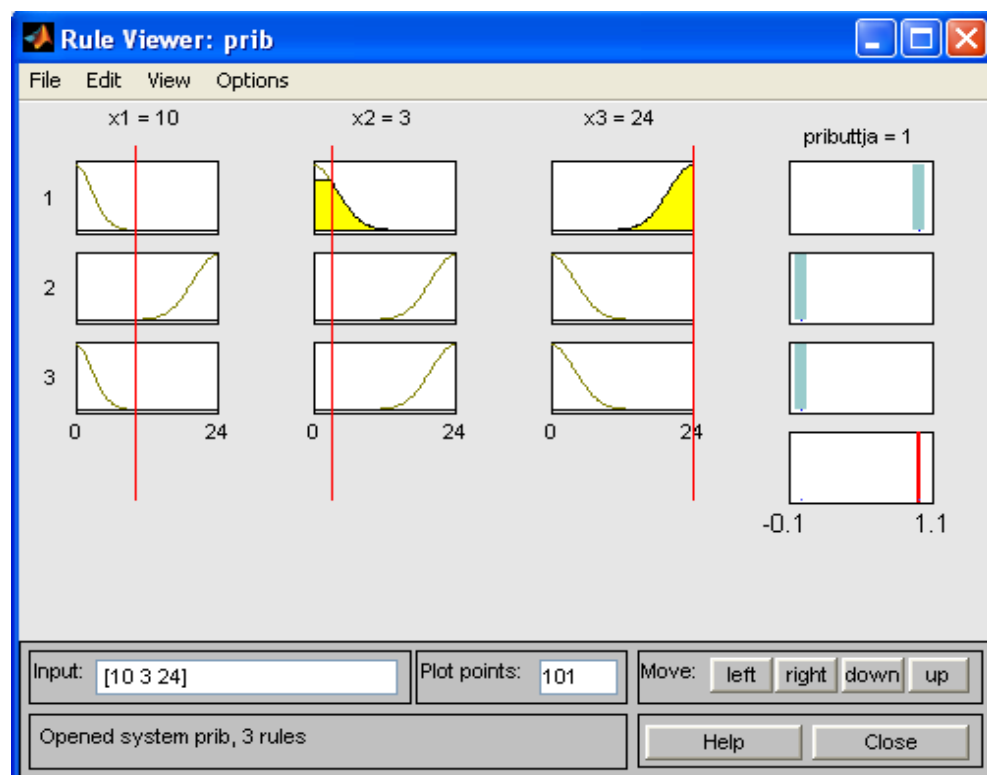


Рисунок 2.5 - Моделювання нечіткої ситуації прибуття поїзда

З рисунка 2.5 видно, що логічне припущення про те, що поїзд прибуде на станцію призначення з впевненістю 1, повністю відповідає умовам роботи формалізованого процесу.

Як другий приклад доцільно розглянути ситуацію, коли поїзд не прибуде на станцію призначення у заплановану добу. Логічно припустити, що така ситуація матиме наступні характерні ознаки:

$$\left. \begin{aligned} \langle \text{"Час до відправлення", 17 години} \rangle &\rightarrow \text{"за межами доби"} \\ \langle \text{"Час слідування", 10 години} \rangle &\rightarrow \text{"в межах доби"} \\ \langle \text{"Час до закінчення доби", 24} \rangle &\rightarrow \text{"встигне"} \end{aligned} \right\}$$

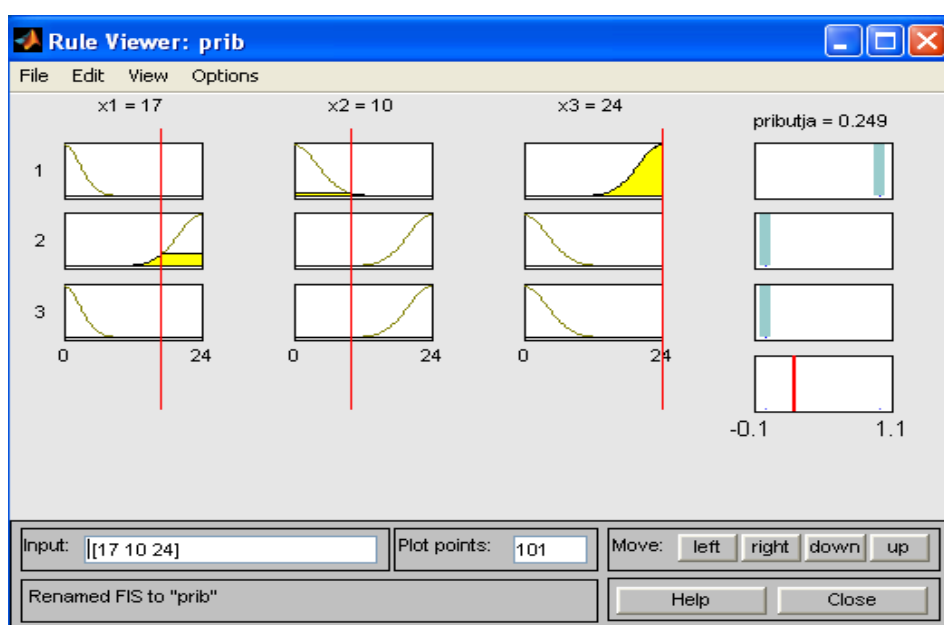


Рисунок 2.6 - Моделювання нечіткої ситуації пов'язану з не прибуттям поїзда в планову добу

З рисунка 2.6 видно, що логічне припущення про те, що поїзд не прибуде на станцію призначення у заплановану добу, відповідає рівню впевненості в прибутті 0,25. Це співпадає з раніше визначеним інтервалом $[0; 0,5)$, який характеризує неприбуття поїзда в запланований термін.

На рисунку 2.7 представлена поверхня відгуку нечітких змінних «Час до відправлення» та «Час слідування», яка ілюструє їх взаємозв'язок і вплив на формування нечіткого висновку — «Впевненість у прибутті поїзда на станцію призначення».

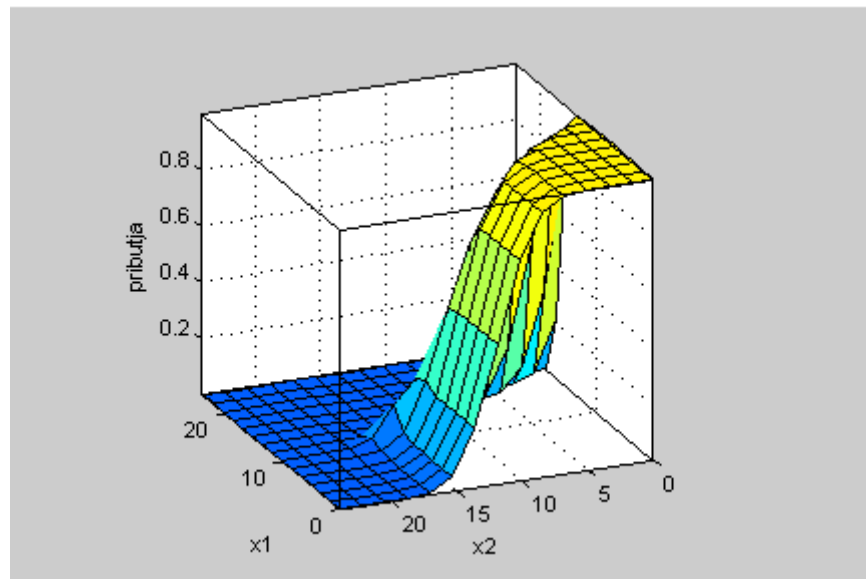


Рисунок 2.7 - Побудова поверхні відгуку нечітких змінних x_1 - "Час до відправлення" і x_2 - "Час слідування".

На рисунку 2.8 зображена поверхня відгуку нечітких змінних «Час до закінчення доби» та «Час слідування», яка, подібно до першого випадку, демонструє взаємозв'язок між цими змінними та їхній вплив на формування нечіткого висновку — «Впевненість у прибутті поїзда на станцію призначення».

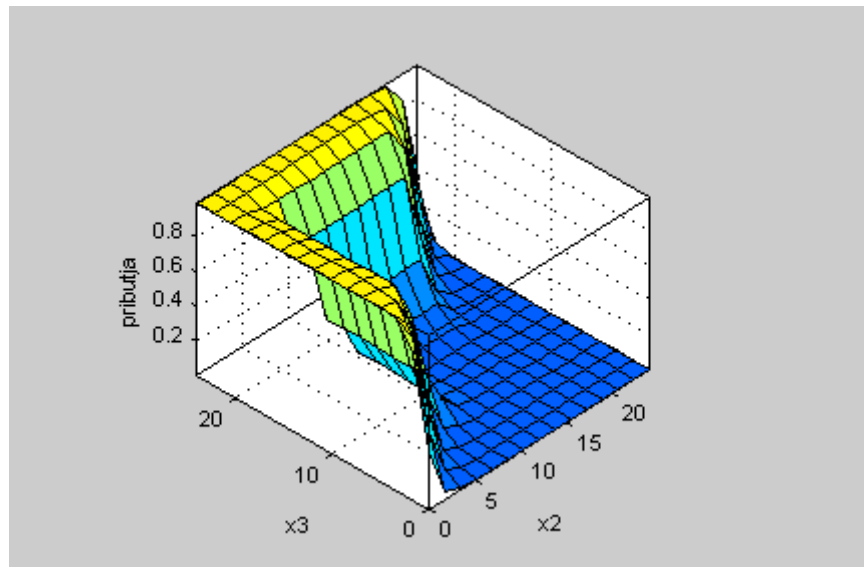


Рисунок 2.8 - Побудова поверхні відгуку нечітких змінних x_2 - "Час слідування" і x_3 - „Час до закінчення доби” "Час до закінчення доби"

Однією з переваг формалізованої процедури є можливість для оператора вводити дані як у цифровій, так і в лінгвістичній формі. Це особливо корисно у випадках, коли на процес завершення формування поїзда впливає безліч факторів, і через відсутність точних нормативів неможливо однозначно визначити час завершення цього процесу. В такій ситуації оператор може використовувати лінгвістичні терміни для опису стану поїзда. Серед факторів можуть бути, наприклад: закриття колії для руху поїздів, екіпіровка маневрових локомотивів, додаткова переробка вагонів відповідно до ПТЕ п.15.32 [9, 13], поломки вагонів або локомотивів тощо.

Ще однією перевагою запропонованого підходу є те, що при його впровадженні у виробництво з'явиться можливість в оперативному режимі автоматично або за запитом відстежувати стан кожного поїзда на залізничній мережі України. Це дозволить надавати обґрунтовані дані на основі процесів, які супроводжують формування та рух поїздів по ділянках, а також враховувати час їх проходження.

2.3 Формалізація процедури, кількості поїздів, що підлягають відправленню з технічної та вантажної станції

Оскільки в підрозділі 2.2 значення лінгвістичної змінної x_1 - "Час до відправлення" не було визначено, це слід зробити при розв'язанні даної задачі. Отже, рішення задачі полягатиме не лише у визначенні впевненості в відправленні поїзда зі станції, а й у визначенні часу до його відправлення.

Час відправлення поїзда та ступінь впевненості у його відправленні у планову добу зі станції залежать від певних параметрів, які потрібно закласти в основу моделі. До них належать: загальна кількість вагонів одного призначення, що знаходяться на станції (зокрема вагони на коліях сортувального парку, вагони в поїздах, які перебувають у парку прибуття, а також вагони, що перебувають під вантажними операціями) m_e^n ; час до завершення операцій з формування поїзда f (включно з часом на розформування поїздів, у яких містяться вагони певного призначення ($t_{p-\phi} \cdot n$), а також часом завершення вантажних операцій та операцій подачі і прибирання (t_{eo}^{nn})).

Вказані параметри обираються відповідно до технологічного процесу роботи станції.

$$f = \begin{cases} t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \Delta = t_{eo}^{nn} - t_{p-\phi} \cdot n \\ \text{якщо } \Delta > 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \text{якщо } \Delta < 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + 0 \end{cases} . \quad (2.27)$$

Значення f відповідають випадку, коли на станції формування або на підходах до неї знаходиться необхідна кількість вагонів для формування поїзда відповідно до плану формування вантажних поїздів (ПФП). До цієї кількості також входять вагони, що рухаються у збірних, вивізних поїздах та з

диспетчерським локомотивом. В іншому випадку впевненість у прибутті поїзда на станцію призначення буде низькою.

Відповідно до цього, вираз (2.27) інтерпретується наступним чином [22]:

$$x_1 = f = \left\{ \begin{array}{l} t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \Delta = t_{\text{во}}^{\text{III}} - t_{p-\phi} \cdot n \\ \text{якщо } \Delta > 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \text{якщо } \Delta < 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + 0 \end{array} \right\} \text{ при } m_{\text{скл}}^n \geq m_{\text{скл}}, \quad (2.28)$$

де $m_{\text{скл}}$ - кількість вагонів у складі поїзду відповідно норм, що встановлені і плану формування вантажних поїздів, ваг.

Для розв'язання задачі визначення впевненості у відправленні поїзда зі станції формування у заплановану добу необхідно задати такі лінгвістичні змінні: $\langle m, T_5, V \rangle$, $\langle f, T_6, H \rangle$.

Безпосередньо, переходячи до формалізації лінгвістичної змінної $\langle m, T_5, V \rangle$ отримуємо:

$$\langle m, T_5, V \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, T_5, [v_{\min}, v_{\max}] \rangle \quad (2.29)$$

де $T_5 = \{\text{"група вагонів"}, \text{"неповний склад"}, \text{"поїзд"}\}$

$v_{\min}, v_{\max}$ - область визначення $V = \{v\}$ заданої нечіткої змінної, що характеризує кількість вагонів, які можуть бути включеними до одного складу поїзда.

Нечітку підмножину множини V можна інтерпретуватися наступним чином

$$\tilde{\alpha}_q = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_q}(v)/v \right\rangle \right\} \quad (v \in V). \quad (2.30)$$

де $\mu_{\alpha_q}(v)$ - функція приналежності, яка описує нечітку змінну $\tilde{\alpha}_q$.

В явному вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_q$ можна згрупувати таким виглядом

$$\begin{aligned} \langle \text{"група вагонів"}, [v_{\min}, v_{\max}] \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"група вагонів"}, [0, 25] \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"неповний склад"}, [v_{\min}, v_{\max}] \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"неповний склад"}, [0, 50] \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"поїзд"}, [v_{\min}, v_{\max}] \tilde{\alpha}_3 \rangle. & \quad \langle \text{"поїзд"}, [25, 50] \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Лінгвістичну змінну $\langle f, T_6, H \rangle$ можливо представити таким чином

$$\langle f, T_6, H \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до закінчення формування"}, T_5, [h_{\min}, h_{\max}] \rangle \quad (2.32)$$

де $T_6 = \{ \text{"початок доби"}, \text{"середина доби"}, \text{"кінець доби"} \}$

$h_{\min}, h_{\max}$ - область визначення $H = \{h\}$ відповідно до нечіткої змінної, що характеризує час, котрий залишився до кінця доби.

Нечітку підмножину множини H можна представити у такому вигляді

$$\tilde{\alpha}_w = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_w}(h)/h \right\rangle \right\} (h \in H). \quad (2.33)$$

де $\mu_{\alpha_w}(h)$ - функція приналежності, що описує нечітку змінну $\tilde{\alpha}_w$.

У наведеному вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_w$ можна представити

$$\begin{aligned} \langle \text{"початок доби"}, [h_{\min}, h_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"початок доби"}, [0, 12], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"середина доби"}, [h_{\min}, h_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"середина доби"}, [0, 24], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"кінець доби"}, [h_{\min}, h_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"кінець доби"}, [12, 24], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (3.34)$$

Після визначення всіх параметрів нечітких вхідних змінних, слід перейти до формування вихідної лінгвістичної змінної у такому вигляді $\langle y, T_7, P \rangle$:

$$\langle y, T_7, P \rangle \rightarrow \langle \text{"Відправлення"}, T_7, [p_{\min}, p_{\max}] \rangle \quad (2.35)$$

де $T_4 = \{ \text{"не відправиться"}, \text{"можливо відправиться"}, \text{"відправиться"} \}$

$p_{\min}, p_{\max}$ - область визначення $O = \{o\}$ вихідної нечіткої змінної, що відбиває ступінь впевненості у відправленні поїзда зі станції формування.

Нечітку підмножину множини O можна представити таким чином

$$\begin{aligned}
&\langle \text{"не відправиться"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \langle \text{"не відправиться"}, [0, 0.5], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\
&\langle \text{"можливо відправиться"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \Rightarrow \langle \text{"можливо відправиться"}, (0.5, 0.9), \tilde{\alpha}_2 \rangle, & (2.36) \\
&\langle \text{"відправиться"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle. & \langle \text{"відправиться"}, [0.9, 1], \tilde{\alpha}_3 \rangle.
\end{aligned}$$

Таким чином, при характеристиці нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_t$ було прийнято такі умовні інтерпретації вихідного значення:

- $[0, 0.5)$ якщо значення потрапляє в діапазон — вважається, що поїзд, ймовірно, не відправиться зі станції формування в змінно-добовий період;
- $(0.5, 0.9)$ якщо значення належить до інтервалу — припускається, що за сприятливих умов поїзд може бути відправлений у межах змінно-добового періоду;
- $[0.9, 1]$ якщо значення потрапляє в межі — вважається, що поїзд відправиться зі станції формування в плановий період [20].

Процес формування правил та формалізація отримання чітких значень лінгвістичних змінних здійснюється аналогічно до (2.15) – (2.24), у результаті чого сформовано набір правил для побудови нечіткої бази знань:

$$\text{П}_1: \text{якщо } t \in \mu_{\alpha_3}(v) \text{ та } f \in \mu_{\alpha_1}(h) \text{ тоді } y_1 = v_3 m + h_1 f,$$

$$\text{П}_2: \text{якщо } t \in \mu_{\alpha_3}(v) \text{ та } f \in \mu_{\alpha_2}(h) \text{ тоді, } y_1 = v_3 m + h_2 f,$$

$$\text{П}_3: \text{якщо } t \in \mu_{\alpha_1}(v) \text{ та } f \in \mu_{\alpha_2}(h) \text{ тоді, } y_1 = v_1 m + h_2 f,$$

$$\text{П}_4: \text{якщо } t \in \mu_{\alpha_2}(v) \text{ та } f \in \mu_{\alpha_1}(h) \text{ тоді, } y_1 = v_2 m + h_1 f.$$

Слід зазначити, що під час побудови функції належності $\mu_{\alpha_q}(v)$ необхідно враховувати можливість формування поїздів підвищеної довжини. Відповідно до цього, найдоцільніше та найадекватніше представити її у такій формі [22]:

$$\mu_{\alpha_1}(v) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} e^{-\frac{[v-\bar{v}]^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.37)$$

де v - значення лінгвістичної змінної "*Кількість вагонів*", що відповідають нормативному складу поїзда на полігоні Південної залізниці, ваг.;

$\bar{v}$ - математичне очікування, що відповідає нечіткій змінній $\tilde{\alpha}_q$.

Слід зауважити, що параметр $\bar{v}$ обирається відповідно до змісту, який вкладається в поняття, що характеризуються певною нечіткою змінною, а саме для: $\tilde{\alpha}_1 \quad \bar{v}=0$, $\tilde{\alpha}_2 \quad \bar{v}=25$, $\tilde{\alpha}_3 \quad \bar{v}=50$. З урахуванням цього, на рисунку 2.12 представлено графічне зображення функцій належності, які описують нечітку змінну $\tilde{\alpha}_q$.

Після визначення основних параметрів лінгвістичних змінних можливо виконати графічну інтерпретацію функцій належності відповідних нечітких змінних. Так, на рисунку 2.9 зображено графічну інтерпретацію побудови функцій належності для $\mu_{\alpha_q}(v)$ лінгвістичної змінної "*Кількість вагонів*" з областю визначення $[0;50]$. У цьому випадку максимальне значення було прийнято рівним 50 вагонам. Варто зазначити, що на практиці довжина составу обирається індивідуально для кожного варіанта плану формування поїздів.

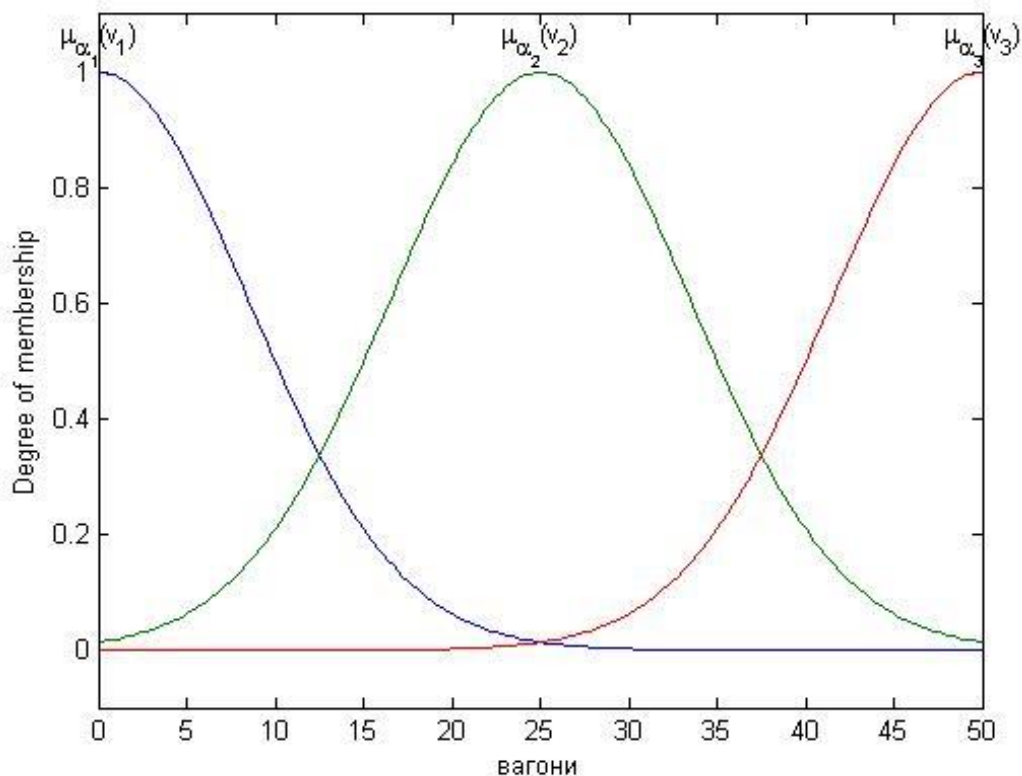


Рисунок 2.9 - Побудова функцій належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_q$

На рисунку 2.10 наведено графічну інтерпретацію побудови функцій належності $\mu_{\alpha_w}(h)$ для лінгвістичної змінної "Час до закінчення формування" з областю визначення $[0;24]$. У цьому випадку максимальне значення прийнято рівним 24 годинам, що відповідає параметрам добового плану. Інші параметри функцій належності обираються аналогічно до нечіткої змінної "Час до закінчення доби", визначеної раніше.

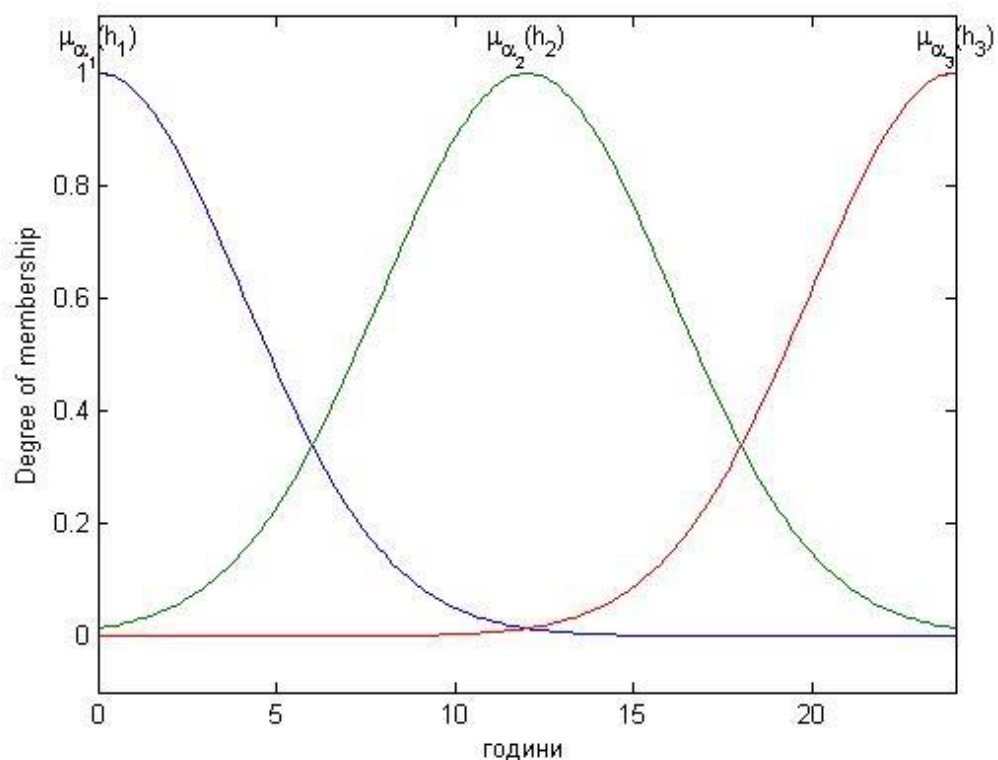


Рисунок 2.10 - Побудова функцій належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_w$

Перевірку формалізованого процесу доцільно проводити шляхом аналізу різних експлуатаційних ситуацій. Розглянемо приклад ситуації, яка характеризується такими ознаками:

$$\left. \begin{array}{l} \langle \text{"Кількість вагонів"}, 48 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"поїзд"} \\ \langle \text{"Час до закінчення формування"}, 3 \text{ години} \rangle \rightarrow \text{"початок доби"} \end{array} \right\}$$

Логічно припустити, що в цьому випадку поїзд відправиться зі станції призначення з впевненістю, близькою до 1, тобто в інтервалі $[0,9; 1]$.

$$\left. \begin{array}{l} \langle \text{"Кількість вагонів"}, 48 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"поїзд"} \\ \langle \text{"Час до закінчення формування"}, 3 \text{ години} \rangle \rightarrow \text{"початок доби"} \end{array} \right\} \rightarrow \text{"відправиться"}$$

Для підтвердження цього припущення та одночасної оцінки коректності роботи формалізованого процесу слід ввести вектор отриманих даних у середовище Matlab (рисунок 2.11).

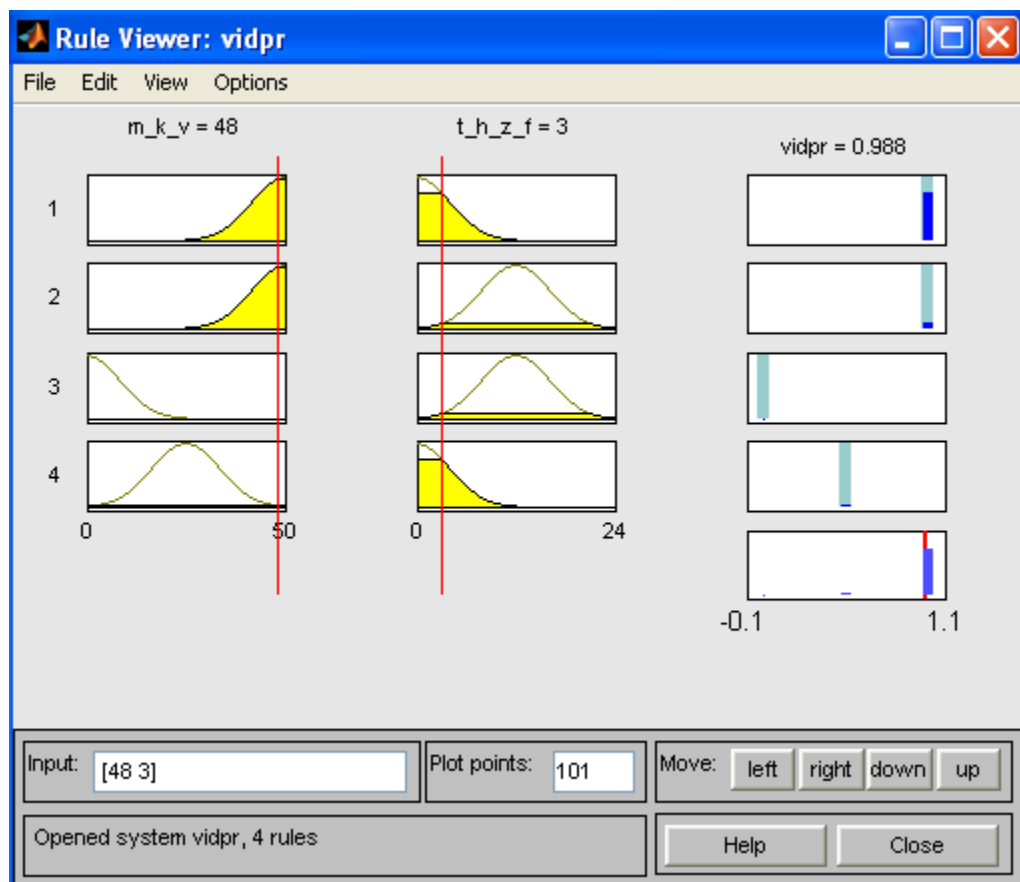


Рисунок 2.11 - Одержання висновку про відправлення поїзду

Як видно з рисунку 2.11, за заданих параметрів впевненість у відправленні поїзда зі станції практично дорівнює одиниці, а саме 0,988, що відповідає умові включення $[0,9;1]$ зі значенням вихідної нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_t$, що відправляється.

Далі доцільно розглянути приклад із параметрами, які логічно свідчать про ситуацію, коли поїзд не відправиться зі станції у планову добу, а саме:

$\left. \begin{array}{l} \langle \text{"Кількість вагонів"}, 5 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"група"} \\ \langle \text{"Час до закінчення формування"}, 1 \text{ година} \rangle \rightarrow \text{"початок доби"} \end{array} \right\} \rightarrow \text{"не відправиться"}$

Як і в попередньому випадку, для підтвердження цього припущення та оцінки коректності роботи формалізованого процесу необхідно ввести відповідний вектор даних у середовище Matlab (рисунок 2.12).

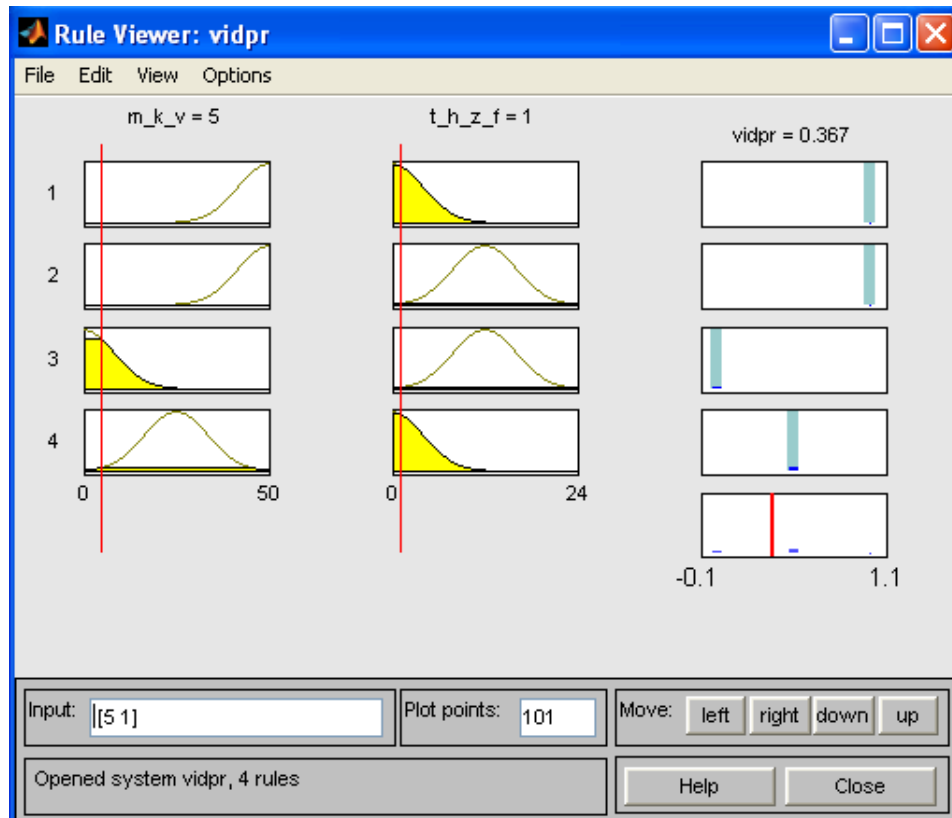


Рисунок 2.12 - Одержання висновку про не відправлення поїзду

Отже, з рисунку 2.12 видно, що при заданих параметрах, які свідчать про неможливість відправлення поїзда в планову добу, вихід моделі становить 0,367 і відповідає межах умови $[0,0.5)$ не відправиться.

На рисунку 2.13 представлено поверхню відгуку нечітких змінних $\tilde{\alpha}_q$ та $\tilde{\alpha}_w$, яка демонструє взаємозв'язок цих змінних та їхній вплив на формування нечіткого виводу. Ця поверхня свідчить про домінуючий вплив кількості вагонів, що перебувають на станції та на підходах до неї, $y = \text{"Відправлення"}$ у

порівнянні з часом виконання операцій з розформування та формування поїздів, що відповідає фактичним умовам [9].

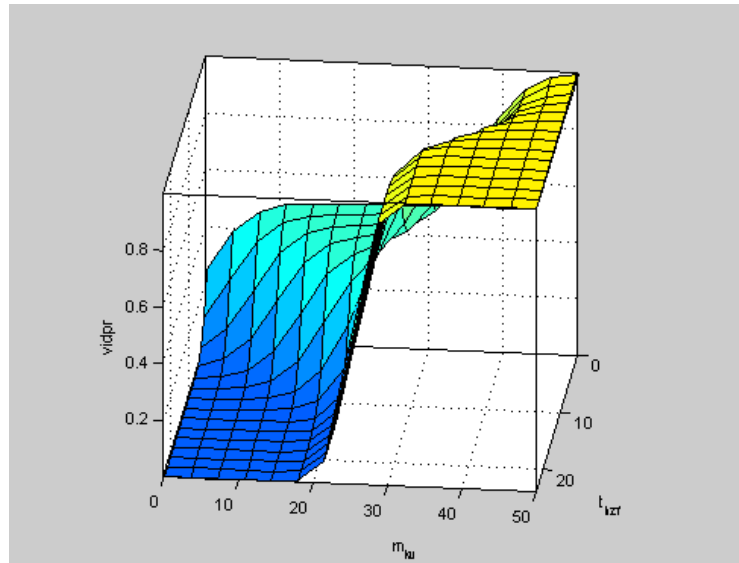


Рисунок 2.13 - Поверхня відгуку нечітких змінних $\tilde{\alpha}_q$ та $\tilde{\alpha}_w$

В результаті впровадження запропонованого підходу з'явилась можливість заздалегідь, ще до початку планової доби, визначати, чи відправиться певний поїзд зі станції, а також оцінювати ступінь впевненості у цій події. У подальшому для формування оперативного плану ці дані будуть акумулюватися та відображатися у вигляді загальної кількості поїздів, які необхідно відправити протягом планової доби.

2.4 Формалізація процесу оцінювання доцільності формування маршрутних поїздів з пунктів навантаження

Розробка моделі маршрутизації має базуватися на класичному визначенні доцільності формування маршрутів з місць навантаження [24], яке ґрунтується на необхідних та достатніх умовах. У цій роботі передбачається, що визначення доцільності формування маршрутів базується на чинному плані формування вантажних поїздів (ПФП). Відповідно, надалі враховуватимуться лише

необхідні умови формування маршрутних поїздів, оскільки достатні умови вже закладені при складанні ПФП.

До необхідних умов належать [20]:

- сумарний добовий обсяг навантаження N за всіма вантажами усіх відправників, що беруть участь в організації маршруту даного призначення, має бути не меншим за норму довжини складу маршруту (раніше визначену як L);
- сумарна вивантажувальна здатність за добу у всіх вантажоодержувачів за вантажами, включеними до даного маршруту, повинна бути не меншою за N (позначимо як C);
- між станцією навантаження маршруту та станцією призначення має бути принаймні одна технічна станція, на якій за планом формування поїздів передбачена переробка вагонопотоку цього призначення (позначена як ТТТ).

Таким чином, для розв'язання задачі розробки математичної моделі визначення доцільності формування маршрутів з місць навантаження необхідно ввести наступні лінгвістичні змінні: $\langle u_1, T_8, S \rangle$, $\langle u_2, T_9, G \rangle$, $\langle u_3, T_{10}, J \rangle$, $\langle x_3, T_3, C \rangle$. Лінгвістична змінна $\langle u_1, T_8, S \rangle$ була визначена раніше. Безпосередньо переходячи до формалізації, лінгвістичну змінну $\langle u_1, T_8, S \rangle$ можна представити у наступному вигляді:

$$\langle u_1, T_8, S \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, T_8, [s_{\min}, s_{\max}] \rangle, \quad (2.38)$$

де $T_8 = \{\text{"група вагонів"}, \text{"можливий маршрут"}, \text{"маршрут"}\}$

$s_{\min}, s_{\max}$ - область визначення $S = \{s\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до відправлення поїзду свого формування.

Нечітку підмножину множини S можна представити таким чином

$$\tilde{\alpha}_c = \left\{ \left\langle \mu_{\alpha_c}(s) / s \right\rangle \right\} (s \in S). \quad (2.39)$$

де $\mu_{\alpha_c}(s)$ - функція приналежності, що описує нечітку змінну $\tilde{\alpha}_c$.

Параметри нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_c$ можуть бути відтвореними в аналітичному вигляді представлено:

$$\begin{aligned} \langle \text{"група вагонів"}, [s_{\min}, s_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"група вагонів"}, [0, 25], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливий маршрут"}, [s_{\min}, s_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливий маршрут"}, [0, 50], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"маршрут"}, [s_{\min}, s_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle. & \quad \langle \text{"маршрут"}, [25, 50], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.40)$$

Лінгвістичну змінну $\langle u_2, T_9, G \rangle$ можливо представити таким чином

$$\langle u_2, T_9, G \rangle \rightarrow \langle \text{"Вивантажувальна спроможність"}, T_3, [g_{\min}, g_{\max}] \rangle, \quad (2.41)$$

де $T_9 = \{ \text{"не відправиться"}, \text{"можливо відправиться"}, \text{"відправиться"} \}$

$g_{\min}, g_{\max}$ - область визначення $G = \{g\}$ відповідної нечіткої змінної, що характеризується можливістю вивантажувальної станції щодо переробки вагонів.

Нечітку підмножину множини G можна представити таким чином

$$\tilde{\alpha}_d = \left\langle \mu_{\alpha_d}(g) / g \right\rangle, (g \in G). \quad (2.42)$$

де $\mu_{\alpha_d}(g)$ - функція приналежності, що описує нечітку змінну $\tilde{\alpha}_k$.

В явному вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_d$ можна представити відповідно

$$\begin{aligned} \langle \text{"не відправиться"}, [g_{\min}, g_{\max}] \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"не відправиться"}, [0, 25] \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо відправиться"}, [g_{\min}, g_{\max}] \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо відправиться"}, [0, 50] \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"відправиться"}, [g_{\min}, g_{\max}] \tilde{\alpha}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"відправиться"}, [25, 50] \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Лінгвістичну змінну $\langle u_3, T_{10}, J \rangle$ можливо представити таким виглядом

$$\langle u_3, T_{10}, J \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість технічних станцій"}, T_{10}, [j_{\min}, j_{\max}] \rangle, \quad (2.44)$$

де $T_{10} = \{\text{"не раціонально"}, \text{"раціонально"}\}$;

$j_{\min}, j_{\max}$ - область визначення $J = \{j\}$ відповідної нечіткої змінної, що характеризує кількість технічних станцій, що поїзд буде проходити без переробки.

Нечітку підмножину множини G можна представити таким чином

$$\tilde{\alpha}_l = \left\langle \mu_{\alpha_l}(j) / j \right\rangle, (j \in J). \quad (2.45)$$

де $\mu_{\alpha_1}(j)$ - функція приналежності, яка описує нечітку змінну $\tilde{\alpha}_1$.

В явному вигляді нечітку змінну $\tilde{\alpha}_d$ можна представити у такому вигляді

$$\begin{aligned} \langle \text{"не раціонально"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"не раціонально"}, [0, 2], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"раціонально"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"раціонально"}, [0, 2], \tilde{\alpha}_2 \rangle, \end{aligned} \quad (2.46)$$

Після того як було визначено всі параметри нечітких вхідних змінних необхідно сформуванати вихідну лінгвістичну змінну у вигляді $\langle l, T_{11}, U \rangle$

$$\langle l, T_{11}, U \rangle \rightarrow \langle \text{"Маршрут"}, T_{11}, [u_{\min}, u_{\max}] \rangle \quad (2.47)$$

де $T_{11} = \{ \text{"не доцільно"}, \text{"можливо"}, \text{"доцільно"} \}$

$u_{\min}, u_{\max}$ - визначена область $U = \{u\}$ вихідної нечіткої змінної, що відбиває ступінь впевненості у доцільності формування маршруту.

Нечітку підмножину множини U можна представити таким чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"не доцільно"}, [u_{\min}, u_{\max}], \tilde{\alpha}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"не доцільно"}, [0, 0.5], \tilde{\alpha}_1 \rangle, \\ \langle \text{"можливо"}, [u_{\min}, u_{\max}], \tilde{\alpha}_2 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"можливо"}, (0.5, 0.9), \tilde{\alpha}_2 \rangle, \\ \langle \text{"доцільно"}, [u_{\min}, u_{\max}], \tilde{\alpha}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"доцільно"}, [0.9, 1], \tilde{\alpha}_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.48)$$

Отже, характеризуючи нечітку змінну $\tilde{\alpha}_m$, прийнято, що при отриманні вихідного значення в таких межах:

- $[0,0.5)$ у випадку низьких значень — можна вважати, що формування маршруту у змінно-добовий період недоцільне;
- $(0.5,0.9)$ при середніх значеннях — можна припустити, що за сприятливих умов маршрут може бути накопиченим і відправленим зі станції формування у змінно-добовий період;
- $[0.9,1]$ при високих значеннях — вважається, що маршрут доцільно формувати у змінно-добовий період [21].

Формування правил та формалізація визначення чітких значень лінгвістичних змінних виконується аналогічно до (2.15)–(2.24), в результаті чого отримано набір правил для побудови нечіткої бази знань:

П₁: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_3}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_3}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_2}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді $l_1 = s_3u_1 + g_3u_2 + j_2u_3 + c_3x_3$

П₂: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_3}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_1}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_1}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді $l_2 = s_3u_1 + g_1u_2 + j_1u_3 + c_3x_3$

,

П₃: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_1}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_3}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_1}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді $l_3 = s_1u_1 + g_3u_2 + j_1u_3 + c_3x_3$

,

П₄: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_3}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_1}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_1}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_1}(c)$ тоді $l_4 = s_3u_1 + g_1u_2 + j_1u_3 + c_1x_3$

,

П₅: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_1}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_3}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_1}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді $l_5 = s_1u_1 + g_3u_2 + j_1u_3 + c_3x_3$

,

П₆: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_3}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_2}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_2}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді

$$l_6 = s_3u_1 + g_2u_2 + j_2u_3 + c_3x_3$$

П₇: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_2}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_3}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_2}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_3}(c)$ тоді $l_7 = s_2u_1 + g_3u_2 + j_2u_3 + c_3x_3$

П₈: якщо $u_1 \in \mu_{\alpha_1}(s)$ та $u_2 \in \mu_{\alpha_1}(g)$ та $u_3 \in \mu_{\alpha_1}(j)$ та $x_3 \in \mu_{\alpha_1}(c)$ тоді $l_8 = s_1 u_1 + g_1 u_2 + j_1 u_3 + c_1 x_3$,

Як і при формуванні поїзда підвищеної довжини, при створенні маршрутного поїзда необхідно передбачити можливість включення вагонів понад нормативну довжину. Відповідно, форма функції належності буде мати вигляд $\mu_{\alpha_q}(v)$ що описує цю особливість, а саме:

$$\mu_{\alpha_c}(s) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} e^{-\frac{[s-\bar{s}]^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.49)$$

Математичне очікування та дисперсія відповідних функцій належності відповідають параметрам, які було визначено для функцій належності лінгвістичних змінних $\mu_{\alpha_i}(a)$ та $\mu_{\alpha_q}(v)$. обирається у відповідності для кожного варіанту плану формування поїздів.

Після визначення основних параметрів лінгвістичних змінних можна відтворити їх графічну інтерпретацію.

Так, на рисунку 2.14 наведено графік функцій належності $\mu_{\alpha_c}(s)$ для лінгвістичної змінної "Кількість вагонів" з областю визначення $[0;50]$. У цьому випадку максимальним значенням було обрано 50 вагонів. Варто зазначити, що на практиці розмір состава підбирається відповідно до конкретного варіанту плану формування поїздів.

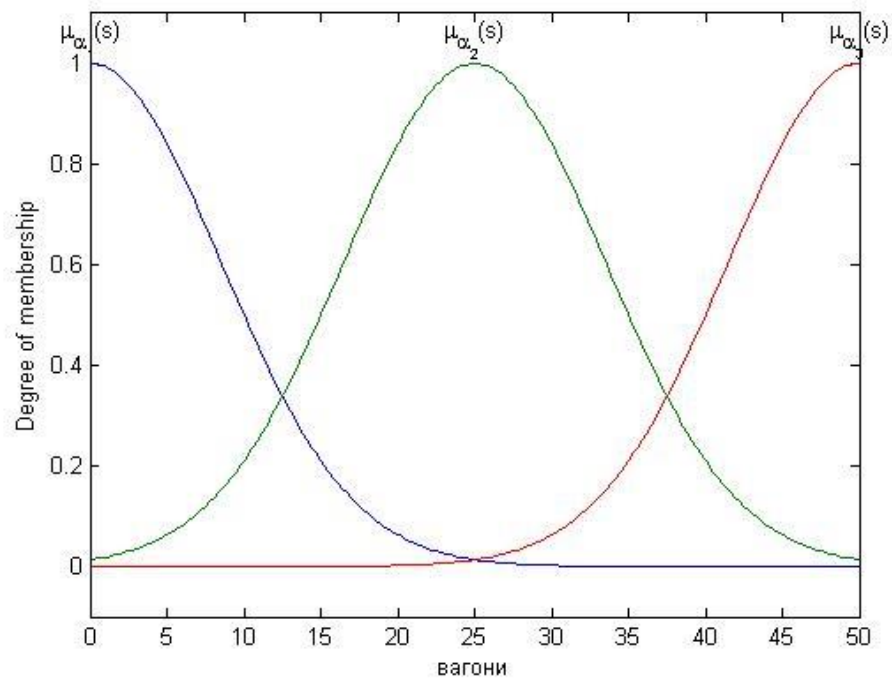


Рисунок 2.14 - Графічна інтерпретація побудови функцій належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_c$

Графічне зображення функції належності для другої необхідної умови наведено на рисунку.2.15.

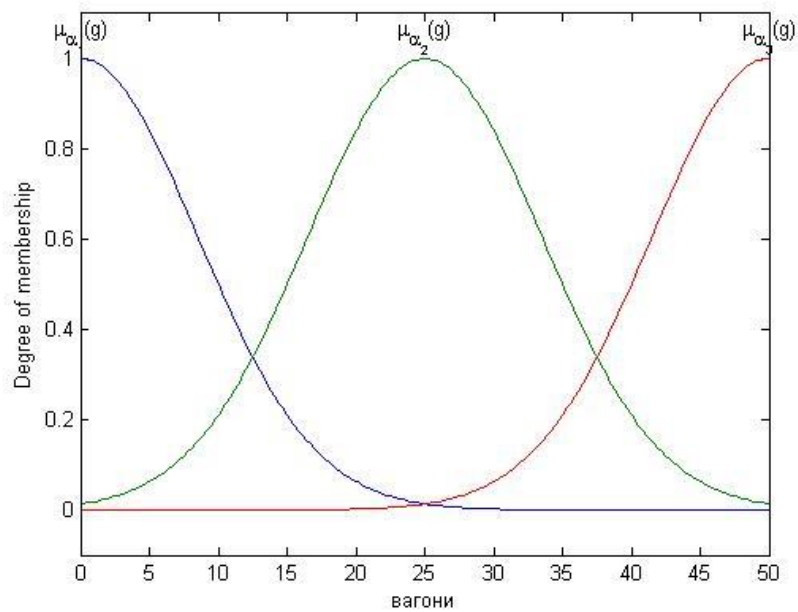


Рисунок 2.15 - Графічна інтерпретація побудови функцій належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_d$

Графічне відображення функції належності третьої необхідної умови наведено на рисунку 2.16.

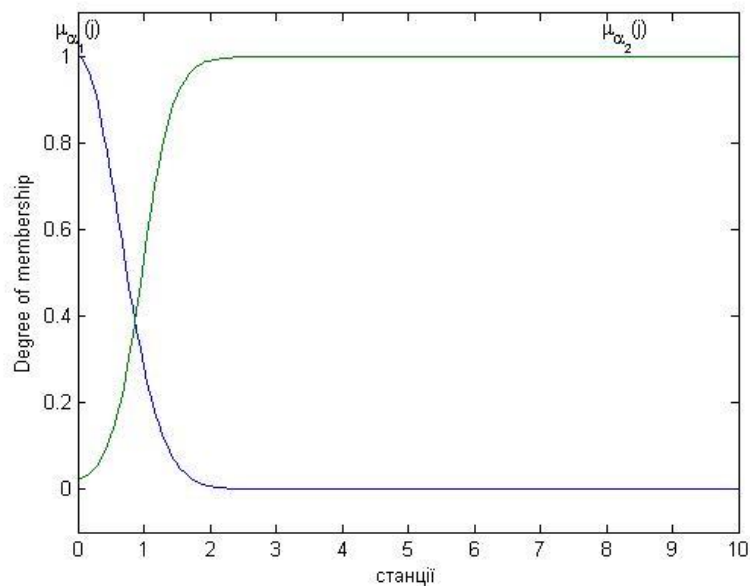


Рисунок 2.16 - Графічна інтерпретація побудови функцій належності нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_l$

Як і раніше, перевірка формалізованого процесу здійснюватиметься через аналіз конкретних експлуатаційних ситуацій. Розглянемо приклад, що має такі характеристики:

$\langle \text{"Кількість вагонів", 50 вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"}$ $\langle \text{"Вивантажувальна здатність", 50 вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"}$ $\langle \text{"Технічні станції", 2 станції} \rangle \rightarrow \text{"раціонально"}$ $\langle \text{"Час до закінчення доби", 20 годин} \rangle \rightarrow \text{"встигне"}$	}
---	---

Логічно припустити, що доцільно формувати маршрутний поїзд з впевненістю 1 або дуже близької до неї тобто в межах $[0,9;1]$, отже

$$\left. \begin{array}{l} \langle \text{"Кількість вагонів"}, 50 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"} \\ \langle \text{"Вивантажувальна здатність"}, 50 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"} \\ \langle \text{"Технічні станції"}, 2 \text{ станції} \rangle \rightarrow \text{"раціонально"} \\ \langle \text{"Час до закінчення доби"}, 20 \text{ годин} \rangle \rightarrow \text{"встигне"} \end{array} \right\} \rightarrow \text{"доцільно"}$$

Для підтвердження цього припущення та одночасної оцінки коректності роботи формалізованого процесу необхідно ввести вектор отриманих даних у середовище Matlab (рисунок 2.17).

Як видно з рисунка 2.17, при заданих параметрах доцільність формування відправницького маршруту наближається до одиниці — 0,992, що відповідає визначеному інтервалу і характеризується термом – доцільно.

Наступним кроком доцільно розглянути ситуацію, яка логічно свідчить про недоцільність формування відправницького маршруту, і має такі ознаки:

$$\left. \begin{array}{l} \langle \text{"Кількість вагонів"}, 10 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"група вагонів"} \\ \langle \text{"Вивантажувальна здатність"}, 50 \text{ вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"} \\ \langle \text{"Технічні станції"}, 1 \text{ станція} \rangle \rightarrow \text{"раціонально"} \\ \langle \text{"Час до закінчення доби"}, 1 \text{ година} \rangle \rightarrow \text{"не встигне"} \end{array} \right\}$$

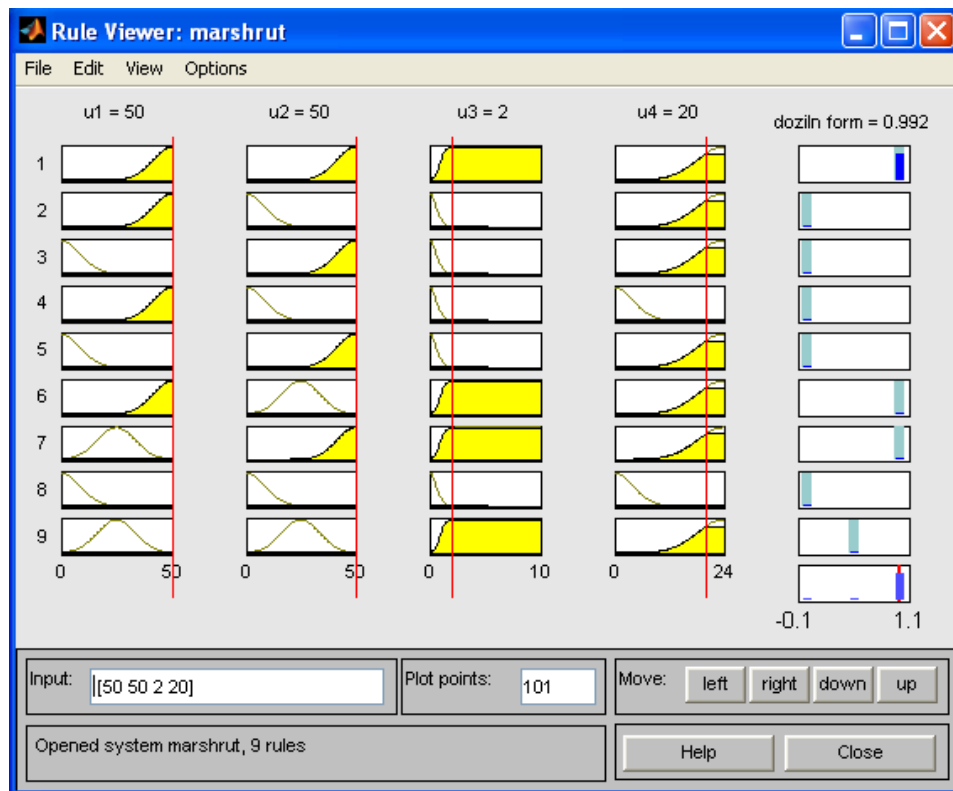


Рисунок 2.17 - Результати моделювання ситуації, яка характеризується доцільністю формування маршруту.

Логічно припустити, що формувати маршрутний поїзд недоцільно, адже обрані ознаки негативно впливають на дану подію. Таку ситуацію можливо класифікувати:

$\langle \text{"Кількість вагонів", 10 вагонів} \rangle \rightarrow \text{"група вагонів"}$ $\langle \text{"Вивантажувальна здатність", 50 вагонів} \rangle \rightarrow \text{"відправницький маршрут"}$ $\langle \text{"Технічні станції", 1 станція} \rangle \rightarrow \text{"раціонально"}$ $\langle \text{"Час до закінчення доби", 1 година} \rangle \rightarrow \text{"не встигне"}$	}	→ "недоцільно"
---	---	----------------

Результати моделювання наведеної ситуації на рисунку 2.18.

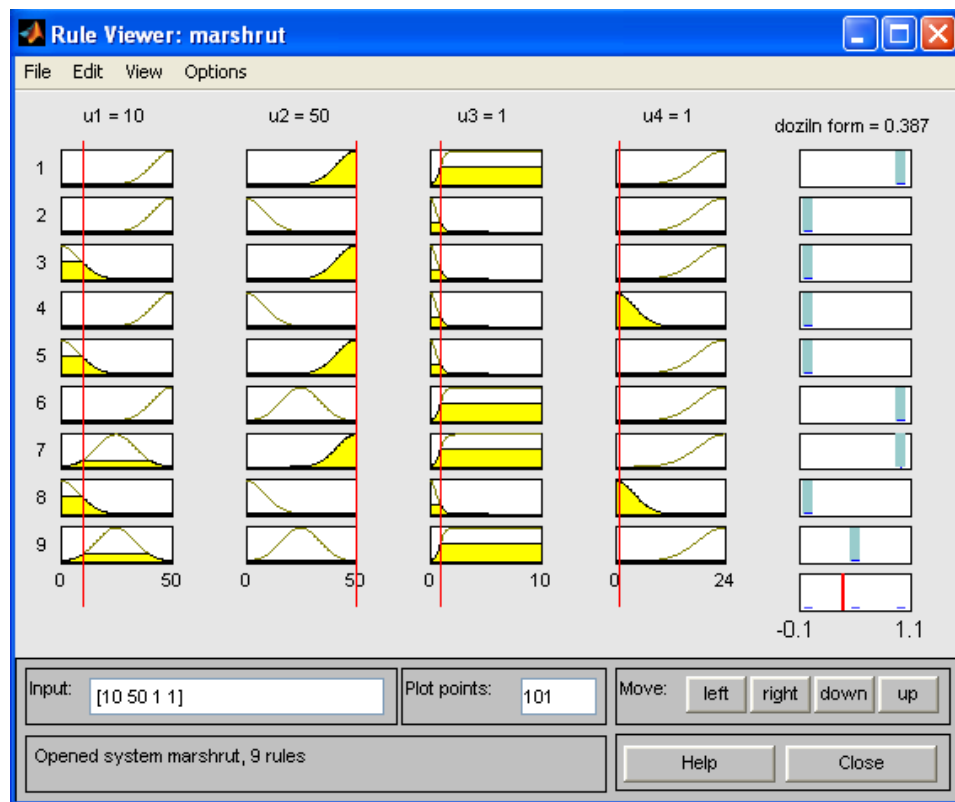


Рисунок 2.18 - Результат моделювання ситуації, що характеризується недоцільністю формування маршруту.

З рисунку 2.18 видно, що за заданих умов доцільність формування відправницького маршруту близька до нуля — 0,387, що відповідає раніше визначеному інтервалу і характеризується термом – недоцільно .

Як і у попередніх випадках, в результаті впровадження запропонованого підходу отримано можливість визначати доцільність формування маршруту ще до початку планової доби на основі вихідних значень нечіткого модуля логічного виводу. При застосуванні цієї формалізованої процедури в автоматизованому режимі передбачається, що дані будуть накопичуватися і

відображатися у вигляді загальної кількості поїздів, які потрібно відправити протягом планової доби, з урахуванням меж $[0.9,1]$.

2.5 Перевірка моделі визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції на адекватність

Як було зазначено раніше, основою розробленого комплексу моделей для визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції є нечітка модель прогнозування ключових показників. Відмінність цього підходу від традиційних полягає в тому, що він базується не на регресійному аналізі виконання оперативного плану в цілому, а на безперервному динамічному аналізі окремих елементів технологічного процесу, які безпосередньо впливають на основні показники — прибуття та відправлення поїздів і вагонів зі станцій.

Оскільки в результаті спостережень було отримано як прогнозні значення плану, так і фактичні дані їх виконання, для оцінки якості сформованого комплексу моделей доцільно перевірити їх достовірність за допомогою середньої відносної помилки (MAPE — mean absolute percent error). Суть цього методу полягає у визначенні відхилення середніх теоретичних рівнів від фактичних значень часового ряду. Таким чином, відповідно до [4]

$$\Delta = \frac{\sum \left| \frac{Y_i^* - Y_i}{Y_i} \right|}{n} \times 100, \quad (2.29)$$

де n - числовий рівень часового ряду (відповідає значенню кількості днів в місяці, що досліджується);

Y_i - рівень часового ряду який відповідає реальному (виконаному) значенню оперативного плану поїзної роботи станції;

Y_i^* - теоретичний рівень часового ряду, що відповідає плановому (прогнозованому) значенню оперативного плану поїзної роботи станції.

На основі отриманих розрахунків було отримано, що значення середньої відносної помилки Δ по виконанню поїзної роботи знаходяться в межах $[0.7; 3.08]$

Для поставлених експлуатаційних задач та отримання параметрів оперативного плану досягнута точність роботи моделі є прийнятною, що дозволяє вважати сформовану модель визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції адекватною.

Розроблена модель оперативного планування роботи лінійних підрозділів слугує базою для виконання експлуатаційних завдань на полігонах залізниць. Раціональне виконання таких планів на попередньому етапі є ключовою умовою ефективної роботи залізничних підрозділів. У подальшому, для забезпечення раціонального виконання розроблених оперативних планів, необхідно створити відповідні математичні моделі, які інтегруватимуться в автоматизовані робочі місця оперативного персоналу.

3. Економічна оцінка ефективності удосконаленої технології роботи залізничної станції в умовах невизначеності

Як показали результати моделювання та натурних спостережень, проведених у умовах РФ «Південна залізниця», впровадження розробленої системи стабілізації обігу вантажних вагонів дозволило знизити сукупні відхилення фактичних значень обігу від нормативних до 7% протягом місяця.

Виходячи з цього, економію коштів доцільно оцінювати залежно від зекономленого часу обігу та загальної кількості вагонів, що експлуатуються в межах РФ «Південна залізниця».

Економічна доцільність запропонованих організаційно-технологічних заходів з оптимізації черговості пропускання вантажних поїздів без переробки через залізничні станції визначається приростом економічного ефекту за розрахунковий період, який приймається рівним 5 рокам. Приріст економічного ефекту розраховується за формулою [11]:

$$\Delta E_{трб/л} = (\Delta \Phi - \Delta T) \alpha_t, \quad (3.1)$$

де $\Delta \Phi$ – приріст доходів РФ «Південна залізниця» від збільшення обсягу вантажних перевезень;

ΔT – приріст витрат, що зумовлений впровадженням удосконаленої технології, для організаційно – технологічних заходів приймаємо орієнтовні витрати у перший рік впровадження, пов'язані із закупівлею нових комп'ютерів, розробкою нового програмного забезпечення та навчання працівників;

α_t – коефіцієнт приведенного економічного ефекту, що отримується у різні

роки на кінець розрахункового року.

Розрахунок одноразових капітальних та експлуатаційних витрат занесемо до таблиці (3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 – Розрахунок капітальних вкладень, що є одноразові

Найменування витрат	Ціна за одиницю, грн
1) Обладнання: ПК(монітор, системний блок, клавіатура, мишка) Принтер Пристрій безперервного живлення	3000 грн x 28 шт 2000 грн x 28 шт 1000 грн x 28 шт
2) Програмне забезпечення	12000
3) Розробка АС та технічної документації, навчання працівників	20000
Разом витрат , грн	200000

Таблиця 3.2– Розрахунок експлуатаційних поточних витрат

Найменування витрат	Витрати, грн
Заробітна плата	3043374,8
Витрати на електроенергію	84711
Відрахування на соц. заходи	1144613,3
Інші витрати	330671,3
Разом експлуатаційні витрати	4 603 370,4

Приведення результатів і витрат за різні роки періоду реалізації проекту до розрахункового року здійснюється шляхом множення їх вартості за кожен рік на коефіцієнт приведення b_{tb} , який відповідає відповідному року.

Для уніфікації показників результати і витрати різних років приводяться до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаються у теперішній вартості грошей (дисконтуванні). Відповідно, коефіцієнт приведення k_{tk} розраховується за формулою [12]:

$$K_t = \frac{1}{[(1 + E)(1 + I + R)]^{t_k - t_p}}, \quad (3.2)$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), в частках одиниці;

I – ставка, яка враховує ступінь ризику здійснення проекту, у частках одиниці;

R – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту;

t_p – порядковий номер розрахункового року;

t_k – порядковий номер року.

$$K_1 = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,08 + 0,02)]^{1-1}} = 1$$

$$K_2 = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,08 + 0,02)]^{2-1}} = 0,79$$

$$K_3 = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,08 + 0,02)]^{3-1}} = 0,72$$

$$\kappa_4 = \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,08+0,02)]^{4-1}} = 0,66$$

$$\kappa_5 = \frac{1}{[(1+0,18)(1+0,08+0,02)]^{5-1}} = 0,60$$

Приріст доходів РФ «Південна залізниця» внаслідок збільшення обсягу вантажних перевезень завдяки скороченню часу обігу вантажного вагона розраховується за формулою

$$\Delta\Phi = \Phi_{сер} \cdot \Delta\epsilon_{заг}^{трб/л}, \quad (3.3)$$

де $\Phi_{сер}$ – середньостатистична величина доходів, що отримуються від одного обігу вантажного вагона;

$\Delta\epsilon_{заг}^{трб/л}$ – збільшення загальної кількості обігів вантажних вагонів у розрахунку на робочий парк вантажних вагонів (в проекті передбачено можливість зменшення обігу вантажного вагону в межах 7%).

Середня величина доходу, що отримується від одного обігу вантажного вагона, визначається на основі фактичних даних РФ «Південна залізниця» за формулою

$$\Phi_{сер} = \frac{\Phi_{річ}}{p_{роб} \cdot c}, \quad (3.4)$$

де $\Phi_{річ}$ – річна величина доходів, яка отримується філією залізниці від вантажних перевезень, де $\Phi_{річ} = 9565874$ тис. грн;

$p_{роб}$ – робочий парк вантажних вагонів по РФ «Південна залізниця», $p_{роб} = 19854$ ваг;

c – середня кількість обігів одного вантажного вагона за рік.

Середня кількість обігів одного вантажного вагона за рік розраховується за формулою

$$c = \frac{365}{O_{\text{с}}}, \quad (3.5)$$

де 365 – кількість днів у році;

$O_{\text{с}}$ – обіг вагона, $O_{\text{с}} = 10$ діб.

$$c = \frac{365}{10} = 36 \text{ об}$$

$$\Phi_{\text{сер}} = \frac{95655874 \cdot 10^3}{19854 \cdot 36} = 133,83 \text{ грн}$$

Зростання загальної кількості обігів вантажних вагонів, які пройшли через сортувальну станцію за рік, внаслідок скорочення тривалості одного обігу, розраховується за формулою

$$\Delta r_{\text{заг}}^{\text{трб/н}} = \frac{\Delta t_{\text{трб/н}} \cdot N_{\text{трб/н}} \cdot i_{\text{трб/н}} \cdot 365}{V_{\text{с трб/н}}} g_{\text{СТ}}, \quad (3.6)$$

де $\Delta t_{\text{трб/н}}$ – скорочення часу на обробку одного транзитного поїзда без переробки, год;

$N_{трб/н}$ - кількість транзитних поїздів без переробки, які оброблюються на 1 станції в середньому за добу, $N_{трб/н} = 37$ поїздів;

$i_{трб/н}$ - середній состав транзитного поїзда без переробки, $i_{трб/н} = 55$ ваг;

$g_{ст}$ - кількість станцій, на яких обробляється вантажний вагон, приймаємо за $g_{ст} = 1$, оскільки розрахунки виконуємо лише для однієї станції;

$v_{втрб/н}$ - тривалість обігу вагона при скороченні часу обробки поїздів розраховуємо за формулою

$$v_{втрб/н} = K_v - \Delta t_{трб/н} \quad (3.7)$$

Відповідно до чинної технології пропуску поїздів через станції дільниці, оцінимо скорочення часу їх проходження за запропонованою методикою, яке може становити $\Delta t_{трб} = 0,7$ доби.

$$v_{втрб/н} = 10 - 0,7 = 9,3 \text{ доб}$$

$$\Delta r_{заг}^{трб/н} = \frac{0,7 \cdot 37 \cdot 55 \cdot 365}{9,3} \cdot 1 = 55907 \text{ об.}$$

$$\Delta \Phi_{трб/л} = 4052,49 \cdot 55907 = 226588705,19 \text{ грн}$$

де $\Delta \Pi_{обг}$ - середньостатистична величина витрат, які пов'язані з організацією одного обігу вантажного вагона (відповідно до Збірника тарифів

на залізничному транспорті прийнято у якості плати за користування вагоном $\approx 1190_{\text{грн}}$);

Розрахуємо витрати, що припадають на річний обіг вантажного вагона

$$\Delta B_{\text{річ}} = \Delta \Pi_{\text{обіг}} \cdot \Delta r_{\text{заг}}^{\text{трб/п}} \quad (3.8)$$

$$\Delta B_{\text{річ}} = 1190 \cdot 55907 = 66529330_{\text{грн}}$$

Розрахунок загального приросту економічного ефекту від впровадження нової автоматизованої системи на РФ «Південна залізниця» наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Визначення економічного ефекту від економії вагоно-годин при удосконаленні автоматизованої системи оперативного планування

Показники	Роки				
	2026	2027	2028	2029	2030
Приріст доходів регіональної філії «Південна залізниця», $\Delta \Phi_{\text{трб/п}}$, грн.	226588705,19	226588705,19	226588705,19	226588705,19	226588705,19
Витрати одноразові $\Delta \Pi$, грн.	200000	-	-	-	-
Експлуатаційні витрати $\Delta B_{\text{річн}}$,	66529330	66529330	66529330	66529330	66529330

грн.					
Приріст економічного ефекту, $\Delta E_{\text{трб/п}}$, грн.	159859375,19	160059375,19	160059375,19	160059375,19	160059375,19
Коефіцієнт приведення, k_t	1	0,79	0.72	0.66	0,60
Приріст економічного ефекту з урахуванням коефіцієнта приведення, $\Delta E_{\text{трб/п}a_t}$, тис. грн.	159859,4	126573,2	115242,8	105 639,2	96035,6
Накопичений приріст економічного ефекту, тис. грн.	159859,4	286432,6	401675,4	401 675,4	497711

Сумарний приріст економічного ефекту з урахуванням приведення вартості витрат до першого року розрахункового періоду становить 497 711 тис. грн. Термін окупності одночасних капітальних витрат очікується у 2030 році. Враховуючи скорочення часу простою вагонів на 7%, для роботи з новим програмним забезпеченням необхідно залучити 4 оператори. Як видно з таблиці, впровадження нового програмного забезпечення сприятиме підвищенню ефективності діяльності регіональної філії «Південна залізниця».

Висновки

1. Проведено аналіз технології роботи лінійного підрозділу Укрзалізниці, який виявив наявність значної кількості «вузьких» місць в організації вагонопотоків за умов нестабільності та нечіткої визначеності.
2. Проаналізовано статистичні дані Укрзалізниці, що свідчать про суттєве погіршення основних кількісних і якісних показників у порівнянні з попередніми роками. Зокрема, простої вагонів на одній технічній станції з 2016 по 2024 рік збільшилися на 10,96 години, або близько 48 %. Це погіршення може свідчити про зниження вагонопотоку, що, у свою чергу, призводить до подовження часу формування вантажних поїздів різних категорій. Такий факт вказує на можливу невідповідність існуючих технологій роботи лінійних підрозділів вимогам реального часу в умовах нестабільності та нечіткої визначеності вагонопотоків.
3. Запропоновано адаптовану технології оперативного управління залізничною станцією до невизначених умов, що стане основою автоматизованої системи оперативного управління поїзною роботою лінійних підрозділів із застосуванням елементів штучного інтелекту. Запропонована модель дозволяє відтворювати план поїзної роботи лінійних об'єктів у нечітко-визначених умовах, базуючись на визначенні ключових показників нечіткого характеру з мінімальними відхиленнями між прогнозом і фактичним виконанням.
4. Проведено техніко-економічне обґрунтування впроваджених заходів, яке підтверджує їх доцільність для застосування на технічних станціях при формуванні вагонопотоків. Економічний ефект від експлуатації протягом 5 років оцінюється у 497,711 тис. грн.

Список використаних джерел

- 1 Абрамов А.П., Галабурда В.Г., Иванова Е.А. Маркетинг на транспорте. М.: Желдориздат, 2001. 329 с.
- 2 Грунтова П.С.. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте. Гомель: БелИИЖТ, 1993. 52 с.
- 3 Акулиничев, В.М. Система организации вагонопотоков на сортировочных станциях. М.: МИИТ, 1967. 328 с.
- 4 Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог. М.: Транспорт, 1981. 224 с.
- 5 Амосов Н.М. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы. Н. М. Амосов, Байдык Т.Н., Гольцев А.Д. К.: Наукова думка, 1994. 272 с.
- 6 Васильев В.И. Распознающие системы. К.: Наукова думка, 1969. 291 с.
- 7 Величко В.И., Сотников Е.А., Винокурова Т.А., Голубев Б.Л. Система фирменного транспортного обслуживания. М.: Интекст, 2001. 184 с.
- 8 Величко В.И. Основы транспортного экспедирования на железнодорожном транспорте. М.: Интекст, 2000. 96 с.
- 9 Верлока В.С. О повышении конкурентоспособности железных дорог. Залізничний транспорт України. Київ, 2000. Вип. С. 68-71.
- 10 Ветухов А.Е., Аветикян М.А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов. М.: Транспорт, 1986. 206 с.
- 11 Галабурда В.Г. Маркетинг на транспорте: учебное пособие. М.: МИИТ, 1992. 108 с.
- 12 Галабурда, В.Г., Соколов Ю.И. Комплексная оценка качества транспортного обслуживания. Железнодорожный транспорт. Київ, 1999. Вип. 5. С.60–64.
- 13 Гершвальд А.С. Автоматизация управления сортировочной работой Приборы и системы управления. К. - 1986. Вып. 12. С. 17–18.

14 Никитинський М.А., Кузьо Н.Я. Модернізація інфраструктури залізничних станцій для покращення логістичних процесів. Студентська науково-технічна конференція (11-12 грудня 2024 р.). Тези доповідей 84 студентської конференції. Харків, 2024. С. 241..

15 Грунтов П.С., Дьяков Ю.В., Макарович А.М. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте. Учебник для вузов ж.д. транспорта. М.: Транспорт, 1994. 543с.

16 Лаврухін О.В., Никитинський М.А., Кузьо Н.Я. Використання штучного інтелекту для прогнозування та управління залізничними перевезеннями. 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 25–27 листопада 2024 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 70..

17 Жуковицький І.В., Скалосуб В.В., Устинко А.Б. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2007. Вип. 17. С.28–34.

18 Жуковицький І.В., М.М. Пойманов Напрямки побудови електронного документообігу на підприємствах УЗ. Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», Днепропетровск: ДНТУЗТ, 2007. С. 11– 12.

19 Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України: ЦД 0052. Затв. Кабінетом Міністрів 15.12.2004. Вид. офіц. К.: Укрзалізниця, 2004. 38с.

20 Когут Б.Б. Оперативное планирование эксплуатационной работы технических станций в условиях функционирования ОАО "РЖД": дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2004. 166 с.

21 Кузнецов, Г.А. Совершенствование сменно-суточного планирования эксплуатационной работы отделения дороги: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1984. 178 с.

22 Лаврухін О.В., Щербакова А.М., Борух О.В., Тараневич О.Ф. Оперативне планування роботи залізничних підрозділів як основа вантажних перевезень. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Вип. 177. Харків, 2018 р. С.139.

23 Мелехов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой. М.: Наука, Гл. ред. 1990. 201 с.

24 Правила технічної експлуатації: Введ. 1996–20–12. М.: Транспорт, 1996. 203с.

25 Грунтова П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1994. 543с.

26 Данько М.І., Бутько Т.В., Березань О.В., Кулешов В.М, Лаврухін О.В. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті. Навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 174 с.

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного
плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism.com кваліфікаційна робота
«Адаптація технології оперативного управління залізничною станцією до
невизначених умов», автор – Никитинський М.А., містить 32,81 % текстових
збігів.

Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконала:

доцент кафедри управління

вантажною і комерційною роботою _____  Ганна БАУЛІНА

13.06.2025 р.