

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Малашкін Вячеслав Віталійович

УДК 656.212

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ
ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Бобровський Володимир Ілліч
доктор технічних наук,
професор

Дніпропетровськ – 2012 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	11
1.1 Напрямки підвищення ефективності функціонування залізничних станцій.....	11
1.2 Проблеми оцінки залізничних станцій.....	13
1.3 Аналіз методів моделювання колійного розвитку залізничних станцій.....	17
1.4 Аналіз методів функціонального моделювання залізничних станцій.....	25
1.5 Висновки по розділу 1.....	40
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ.....	41
2.1 Постановка задачі підвищення ефективності функціонування залізничних станцій.....	41
2.2 Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України.....	43
2.3 Аналіз сучасного стану вантажних станцій.....	55
2.4 Висновки по розділу 2.....	59
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ І КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ ЇХ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ.....	60
3.1 Загальні принципи формування системи структурно-параметричних моделей станцій.....	61
3.2 Формалізація і автоматизований синтез скорочених з'єднань.....	64
3.3 Формалізація і автоматизований синтез спеціалізованих стрілочних вулиць.....	67
3.4 Автоматизоване формування системи геометричних моделей плану станції.....	80
3.5 Комплексна оцінка планів колійного розвитку залізничних станцій.....	103
3.6 Висновки по розділу 3.....	118
РОЗДІЛ 4 ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕРГАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ КОНСТРУКЦІЇ ЇЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ І ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ.....	121
4.1 Загальні принципи побудови функціональної моделі станції.....	121
4.2 Структура функціональної ергатичної моделі станції.....	123
4.3 Модель керування переміщенням рухомого складу.....	126
4.4 Інформаційна модель станції.....	130

4.5 Імітаційне моделювання роботи станції з використанням її ергатичної моделі.....	134
4.6 Регенеративний метод функціонального моделювання станцій.....	142
4.7 Висновки по розділу 4.....	149

РОЗДІЛ 5 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЧЕРГОВОСТІ ВИКОНАННЯ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ.....

5.1 Ідентифікація функціональної моделі станції.....	151
5.2 Оцінка адекватності моделі.....	159
5.3 Проблеми техніко-економічного керування на залізничному транспорті.....	162
5.4 Методика визначення раціональної черговості виконання реконструктивних заходів на станції.....	167
5.5 Кількісна оцінка техніко-технологічних показників станції на основі її функціонального ергатичного моделювання.....	171
5.6 Висновки по розділу 5.....	180

ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ДОДАТОК А ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА СВІДОЦТВА ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКИХ ПРАВ НА ТВІР.....

ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК ПЛАНУ СКОРОЧЕНОЇ ГОРЛОВИНИ.....

ДОДАТОК В РОЗРАХУНОК ПЛАНІВ СТІЛОЧНИХ ВУЛИЦЬ.....

ДОДАТОК Г ОЦІНКА ПЛАНІВ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕМЕНТІВ СТАНЦІЙ.....

ДОДАТОК Д ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ СТАНЦІЙ.....

ДОДАТОК Е ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГМКР – геометрична модель колійного розвитку
ГС – граничний стовпчик
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
ІМ – інформаційна модель станції
ЛД – людина-диспетчер
МЗД – модель зайняття колійних ділянок
МКПРС – модель керування пересуванням рухомого складу
МКР – модель колійного розвитку станції
МТП – модель технологічного процесу
ОВМ – особа, що виконує моделювання
ОДП – оперативно-диспетчерський персонал
СА – скінчений автомат
СМО – система масового обслуговування
ФМС – функціональна модель залізничної станції

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку економіки України залізничний транспорт зберіг за собою роль основного перевізника, продовжуючи виконувати 84% вантажних та 38% пасажирських перевезень. В умовах жорсткої конкуренції з іншими видами транспорту перед залізницями постає складна задача постійної підтримки ринкової привабливості за рахунок підвищення якості транспортного обслуговування та зменшення його вартості. Залізничні станції є одним з основних елементів в системі організації перевізного процесу, тому рішення поставленої задачі потребує реалізації ефективних заходів, направлених на комплексне удосконалення їх роботи. Особливої уваги при цьому вимагають питання визначення раціональної конструкції колійного розвитку залізничних станцій, що є одним з найбільш значимих факторів, які впливають на техніко-експлуатаційні показники функціонування станцій.

При проектуванні нової станції або реконструкції існуючої однією з основних задач, які необхідно вирішити, є визначення доцільного технічного оснащення та вибір раціональної конструкції її горловин. При цьому найбільші труднощі викликає отримання достовірної кількісної та якісної оцінки кожного з можливих варіантів конструкції колійного розвитку. Ефективним засобом рішення вказаної задачі є імітаційне моделювання та методи аналізу і синтезу станцій у поєднанні з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки. В цьому зв'язку підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі науково обґрунтованих методів комплексної оцінки їх технічного забезпечення та технології роботи представляє собою важливу науково-практичну задачу. Таким чином, тема дисертації, що присвячена вирішенню даної задачі, є досить актуальною.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Автоматизація проектування залізничних станцій» (договір №43.00.05.06, № ДР 0105U001800), «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (договір №43.02.09.10, № ДР 0109U000480), «Будівництво електрометалургійного заводу і загальнозаводських об'єктів (ЗАТ «КНВЕМЗ»)), «Розробка імітаційної моделі та визначення пропускної спроможності станції Промислова та під'їзних колій» (договір №43.19.09.10, № ДР 0110U003344), та НДР, виконані НВП «Укртранскад» Східного наукового центру Транспортної академії України: «Розробка і аналіз варіантів будівництва зовнішньої під'їзної залізничної колії подачі металевого брухту ТОВ «МЗ «Дніпросталь» (№ ДР 0108U008053

), «Розробка технологічного процесу роботи під'їзної колії ТОВ «Трансінвестсервіс» (договір №62, № ДР 0110U003345), по яких автор є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі науково обґрунтованих методів комплексної оцінки їх технічного забезпечення та технології роботи. Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних задач:

- Аналіз сучасних методів дослідження та оцінки ефективності функціонування залізничних станцій.
- Дослідження технічного стану залізничних станцій України у сучасних умовах розвитку залізниць.
- Удосконалення структурно-параметричних моделей і методів автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій.
- Розробка процедури комплексної оцінки конструкції колійного розвитку станцій.
- Розробка регенеративного методу функціонального моделювання залізничних станцій.
- Удосконалення функціональної моделі залізничних станцій, яка призначена для отримання кількісної оцінки їх техніко-технологічних параметрів. Ідентифікація моделі та оцінка її адекватності.
- Формалізація та вирішення задачі вибору раціональної черговості виконання реконструктивних заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування залізничних станцій.

Об'єктом дослідження є процес функціонування залізничних станцій

Предметом досліджень є вплив конструкції та технології роботи залізничних станцій на техніко-експлуатаційні та техніко-економічні показники їх функціонування.

Методи дослідження. Математична статистика та кореляційний аналіз використані для оцінки існуючого технічного оснащення залізничних станцій України та технології обробки вантажних поїздів.

Теорія графів, методи аналітичної і обчислювальної геометрії використані для побудови, аналізу і перетворення геометричних моделей колійного розвитку станцій.

Теорія прийняття рішень на основі кількісної інформації про відносну важливість критеріїв використана для визначення раціональних проектних рішень щодо конструкції колійного розвитку залізничних станцій.

Теорія графів, методи імітаційного моделювання, теорія масового обслуговування, теорія скінчених автоматів використані для розробки ергатичних функціональних моделей станцій.

Методи динамічного програмування використані для розробки методу визначення раціональної черговості проведення реконструктивних заходів,

спрямованих на удосконалення техніко-технологічних параметрів залізничних станцій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше розроблено регенеративний метод функціонального моделювання залізничних станцій, який дозволяє отримувати оцінку їх техніко-технологічних параметрів з заданою точністю при мінімальних обсягах моделювання;
- удосконалено структурно-параметричні моделі та методи автоматизованого синтезу колійного розвитку станцій, що, на відміну від існуючих, дозволяють аналізувати великі залізничні станції, в тому числі розташовані на кривих ділянках;
- удосконалено ергатичну модель залізничної станції, що, на відміну від існуючої, забезпечує її синхронну адаптацію до поточного стану станції і за рахунок цього дозволяє особі, яка виконує моделювання, забезпечити адекватність процесу керування та істотно скоротити витрати часу на моделювання;
- удосконалено метод комплексної техніко-економічної оцінки проектних рішень при будівництві чи реконструкції залізничних станцій, який дозволяє на основі методу динамічного програмування визначати раціональну черговість реконструктивних заходів.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані методи та алгоритми реалізовано у вигляді програмних комплексів для ЕОМ «Програмний комплекс для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітьових графіків» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 32786) та «Построитель сетки плана-графика работы станции» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 33139). Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані при створенні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для оцінки варіантів удосконалення конструкції, технології роботи та системи керування станцій, також в проектних бюро та технічних відділах залізничних станцій для побудови планів їх колійного розвитку. Функціональні моделі залізничних станцій, побудовані на основі розробленої методики, доцільно використовувати для прогнозування показників функціонування залізничних станцій у різних умовах роботи. В даний час отримані результати використані:

- При розробці рекомендацій щодо удосконалення конструкції та технології роботи парної підсистеми розформування станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.
- При проектуванні промислової сортувальної станції Металургійного заводу «Дніпросталь».
- При розробці технологічного процесу роботи під'їзної колії ТОВ «Трансінвестсервіс».
- В учбовому процесі при виконанні лабораторних робіт студентами факультету «Управління процесами перевезень» ДНУЗТу з використанням ергатичної моделі станції.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Статті [65, 66] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в роботі [17] автором розроблено вхідну модель, яка забезпечує графічний ввід схеми станції в ЕОМ, в статті [18] автором розроблені модулі функціональної моделі станції для отримання комплексної оцінки її техніко-технологічних параметрів; в статті [19] розроблено методику автоматизованого синтезу великих залізничних станцій на основі сімейства геометричних моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 65-й, 66-й, 67-й, 68-й та 70-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 і рр.); на 4-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, ДЕТУТ, 2008 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008 р.); на II Міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2010 р.); на наукових семінарах кафедри «Станції і вузли» ДНУЗТ 2006-2011 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (2012 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 16 наукових праць, з них 1 монографія, 4 науково-технічних статі у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 11 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаної літератури і шести додатків. Повний обсяг роботи складає 232 сторінки, з яких основний зміст викладено на 180 сторінках, що містять 57 рисунків та 12 таблиць; список використаних джерел складається з 143 найменувань, викладених на 15 сторінках.

РОЗДІЛ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Напрямки підвищення ефективності функціонування залізничних станцій

Становлення і подальше впровадження ринкових відносин на залізничному транспорті України, сучасна кон'юнктура транспортного ринку вимагають нового підходу до організації перевізного процесу. Для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту доцільним є проведення заходів, спрямованих на поліпшення організації роботи галузі. У цьому зв'язку Державною програмою реформування залізничного транспорту [52] передбачений ряд заходів, спрямованих на приведення технічного оснащення залізниць у відповідність із новими умовами роботи. Так, серед основних на напрямків розвитку залізничного транспорту слідус виділити наступні:

- модернізація транспортної системи і підвищення ефективності її функціонування;
- задоволення потреби національної економіки і населення в перевезеннях, підвищення якості і доступності транспортних послуг ;
- забезпечення своєчасності доставки вантажів;
- удосконалення системи керування галуззю транспорту;
- збільшення пропускної здатності транспортної мережі;
- підвищення рівня безпеки на транспорті;
- зменшення обсягів викидів шкідливих речовин в атмосферу;
- зменшення енергоємності залізничного транспорту;
- прискорення темпів інтеграції вітчизняної транспортної системи в європейську і світову транспортні системи.

Залізничні станції є одним з головних елементів транспортної інфраструктури країни. У сучасних економічних умовах одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація часу перебування вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, потрібно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал.

Відомо, що ефективність і безпека функціонування залізничних станцій залежить як від рівня їх технічного оснащення так і від технології роботи. Тому при плануванні заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування станцій, необхідно застосовувати системний підхід, який передбачає рішення задачі комплексного вдосконалювання конструкції і технології залізничних станцій.

Зараз на мережі залізниць України є більш 1,5 тисяч станцій і спорудження нових є економічно не доцільним. Тому слід розробити захід

щодо удосконалення конструкції і технології роботи існуючих станцій. Серед таких заходів можна виділити реконструктивні, спрямовані на зміну конструкції станцій, і організаційні, які припускають удосконалення технологічного процесу станції. Необхідність перебудови станції або удосконалення технології її роботи може бути викликана різними причинами, такими як зміна обсягів і структури транспортних потоків, електрифікація ліній на підходах, організація швидкісного руху, спорудження других головних колій, примикання нових під'їзних колій тощо. Кількість варіантів для подальшого порівняння і оцінки може бути в деяких випадках досить значною. Тому при виборі конкурентних варіантів велике значення має вже накопичений інженерами-проектувальниками практичний досвід, що допомагає відібрати лише ті варіанти, які найбільше повно і ефективно відповідають поставленому завданню. У якості критерію для оцінки кожного з можливих варіантів найчастіше використовують приведені витрати, пов'язані з реалізацією комплексу заходів, які відповідають варіанту. Цей показник є найбільш універсальним, але разом з тим не враховує багатьох факторів, що суттєво впливають на вибір варіанта (забезпечення безпеки руху, охорона праці і ін.).

Вибір найбільш раціонального комплексу реконструктивних або організаційних заходів для кожної конкретної станції представляє досить складне завдання внаслідок неможливості проведення експериментів на реальних об'єктах для оцінки можливих варіантів. При оцінці того або іншого варіанта необхідно спрогнозувати показники роботи станції після впровадження передбаченого цим варіантом комплексу заходів. При цьому складність технологічних процесів функціонування залізничних станцій не дозволяє використання для цих цілей прямих аналітичних залежностей виду $Y=f(X)$. Крім того, необхідно враховувати, що на показники функціонування станцій суттєво впливає система диспетчерського керування, тобто ОДП станцій. Існуючі ж аналітичні методи визначення показників роботи станцій не враховують у достатній мірі взаємодію і взаємний вплив окремих елементів станції, стохастичний характер роботи залізниць, діяльність диспетчерського персоналу і можуть використовуватися лише для наближених розрахунків. Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій у різних умовах, прогнозування їх техніко-технологічних та економічних параметрів є математичні і імітаційні моделі, які в комбінації із сучасними засобами обчислювальної техніки є потужним інструментом для дослідження технічного забезпечення станцій і удосконалення технології їх роботи.

Для рішення поставленої задачі комплексного удосконалення залізничних станцій необхідне створення системи інтегрованих математичних моделей, які могли б використовуватися для синтезу, аналізу і техніко-економічної оцінки ефективності функціонування станцій у різних умовах роботи. У цьому зв'язку в даному розділі виконано всебічний аналіз робіт, присвячених проблемам оцінки техніко-технологічних параметрів станцій на основі методів їх моделювання.

Проблеми оцінки залізничних станцій

Залізнична станція являє собою складний виробничо-технічний комплекс. Для функціонування таких інфраструктурних комплексів характерним є багатоваріантність проектних, технологічних та управлінських рішень. При плануванні реконструктивних та організаційно-технічних заходів, спрямованих на удосконалення технічного забезпечення і технології роботи залізничних станцій, постає задача отримання достовірної оцінки показників її функціонування після реалізації проекту. Вибір найбільш раціонального варіанту реконструктивних або організаційних заходів для станції являє собою дуже складну задачу внаслідок неможливості проведення експериментів на реальних об'єктах чи їх фізичних моделях. У зв'язку з цим для забезпечення раціонального проектування та експлуатації станцій транспортною наукою розробляються методи для аналізу і оцінки їх роботи в різних умовах. Критерії та методи оцінки станцій суттєво пов'язані з рівнем розвитку залізничного транспорту та задачами, які ставилися перед залізничними станціями.

Основним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів є математичне моделювання станційних процесів. Традиційно розв'язання цієї задачі базуються на використанні аналітичних, графічних та імітаційних моделей.

Перші дослідження з моделювання станційних процесів були виконані академіком В.М. Образцовим, які базувалися на аналітичному моделюванні [81]. При моделюванні використовується стандартний математичний апарат теорії масового обслуговування в якому залізничні станції, чи їх окремі технологічні комплекси розглядаються як системи масового обслуговування (СМО). Визначення характеристик СМО (середня кількість заявок у системі, середня кількість заявок у черзі, середній час перебування заявок у системі, середній час перебування заявок у черзі та ін.) виконується за допомогою аналітичних залежностей теорії масового обслуговування.

Так, наприклад, у роботі І.Б. Сотникова [109] для основних станційних процесів запропоновано відповідні функції. При цьому якісні особливості внутрішньої структури і вплив випадкових процесів враховують за допомогою коефіцієнтів. Основними перевагами аналітичного моделювання є простота, висока швидкість отримання результатів та можливість прямого використання методів дослідження функцій на екстремум для визначення оптимальних параметрів технічного забезпечення.

В той же час, використання аналітичних залежностей при оцінці варіантів експлуатаційної роботи не дозволяє в достатній мірі врахувати місцеві особливості технічного забезпечення і технології станцій, що приводить до побудови неадекватних моделей станцій і відповідно до суттєвих похибок при їх оцінці. Тому аналітичні моделі використовуються лише для попередньої оцінки заходів в умовах низької достовірності вихідних даних та невисоких вимогах до точності результатів.

В сучасних умовах основним методом оцінки нормативних параметрів та показників роботи станцій є добовий план-графік [84, 99, 114, 115]. Добовий план графік являє собою графічну модель роботи станції де в символічному вигляді на спеціальному бланку відображуються основні виробничі процеси, що відбуваються у її підсистемах. Врахування в моделі зайнятості основних технічних засобів та елементів станції (локомотивів, стрілочних зон, бригад ПТО) дозволяє оцінити міжопераційні простоти. Добовий план-графік дає можливість визначати

- простій транзитного вагону без переробки, год.;
- простій транзитного вагону з переробкою, год.;
- простій місцевого вагону, год.;
- вантажний простій, тобто простій місцевого вагону під однією вантажною операцією, год.;
- коефіцієнт здвоєних операцій;
- норма робочого парку вагонів, ваг.-доб.;
- вагонообіг, ваг.-доб.;
- коефіцієнти завантаження технічних засобів станції;
- показники надійності роботи станції та ін.

В цілому графічна модель має значну інформаційну ємність і забезпечує високу швидкість пошуку і доступу до необхідній інформації, що дозволяє їй до сучасного часу залишатись основною як при проектуванні станцій, та і при розробці і аналізі їх технологічних процесів. В той же час при побудові добового плана-графіка допускається ряд спрощень таких як усереднення тривалості виконання технологічних операцій, обмеження періоду моделювання однією добою та ін.

Методи імітаційного моделювання набули широкого використання при виконанні наукових досліджень та оцінки ефективності функціонування залізничних станцій та вузлів [12, 14, 15, 16, 18, 20, 41, 58, 65, 78]. Суттєвою перевагою даного методу над попередніми є висока достовірність кінцевих результатів. Але разом з тим для побудови адекватної імітаційної моделі потрібен значний час та відповідна підготовка.

Отримані за допомогою наведених вище математичних моделей кількісні та якісні показники функціонування залізничних станцій за можливими проектними рішеннями піддаються техніко-економічному обґрунтуванню. При всебічному аналізі роботи станції необхідно оцінювати витрати на модернізацію і утримання її технічного оснащення і витрати, що пов'язані з функціонуванням станції. Для узгодження наведених критеріїв використовується метод лінійного згортання [91] шляхом зведення усіх показників до грошового еквіваленту. Критерієм для техніко-економічної оцінки варіантів конструкції та технічного забезпечення залізничної станції є мінімальні розміри приведених річних витрат при потрібному рівні її переробної спроможності. Інвестиційні вкладення та експлуатаційні витрати при порівнянні варіантів конструкції та технічного забезпечення станцій повинні визначатись по наступним статтям витрат:

- інвестиційним вкладенням, що пов'язані з укладкою додаткових колій і стрілочних переводів, придбанням пристроїв електричної централізації і контактної мережі, гіркових локомотивів, виконанням земляних робіт при зміні профілю станційних парків;
- експлуатаційним витратам на амортизацію, матеріали та запасні частини, технічне обслуговування та ремонт технічних засобів, простій составів в очікуванні технологічних операцій, витрат електроенергії або пального на маневрову роботу.

При цьому, у загальному вигляді критерій оцінки виглядає як

$$, \quad (1.1)$$

де N – значення натурального показника;

e_v – витратна ставка на одиницю натурального показника;

n – кількість показників.

Вказаний підхід має суттєвий недолік – величина витратних ставок визначається на підставі усереднених даних по мережі і не враховує особливості функціонування конкретної станції.

Таким чином, проблема комплексної оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій остаточно не вирішена і потребує використання наукового обґрунтованих методів техніко-економічної оцінки технічних параметрів станцій і технології їх роботи.

Аналіз методів моделювання колійного розвитку залізничних станцій

Пропускна і переробна спроможність залізничних станцій і вузлів, ефективність їх експлуатації прямо залежать від оптимальності рішень, прийнятих при їх проектуванні. Суттєве підвищення якості проектування, збільшення продуктивності праці проектувальників може бути досягнуте в результаті впровадження нової інформаційної технології, основою якої є система автоматизованого проектування (САПР). Однією з основних проблем теорії САПР є розробка ефективних математичних моделей об'єктів, які проектуються, і алгоритмів виконання проектних процедур. Це завдання є особливо важливим для проектування залізничних станцій і вузлів, що пояснюється високою вартістю їх будівництва і реконструкції, тривалим строком експлуатації, неможливістю побудови фізичних моделей.

При проектуванні залізничних станцій та вузлів найбільш масовими і трудомісткими є розрахунки з'єднань колій, що обумовило розробку програм і використання ЕОМ для виконання цих розрахунків. Дослідження і алгоритмізація методів розрахунків з'єднань колій початі в 60-х роках одночасно з початком широкого впровадження ЕОМ у практику інженерно-технічних розрахунків. У багатьох організаціях (Мосдіпротранс, ЦНДІЗ, Лендіпротранс і ін.) А.М. Козловим та І.Е. Савченко були розроблені

програми [97, 104], що забезпечують виконання на ЕОМ розрахунків з'єднань колій різного типу. Одночасно виконуються перші наукові дослідження, у яких розробляються методики і алгоритми розрахунків з'єднань колій [71, 111]. Серед вказаних програм були спеціалізовані, призначені для розрахунків окремих елементів з'єднань колій, а також універсальні, що дозволяють розраховувати комплекси взаємозалежних елементів будь-якої структури.

У задачі, що розглядається, існує дві основні проблеми: формалізація схеми станції і її вихідних параметрів для вводу в ЕОМ (побудова моделі станції) і розробка алгоритму аналізу моделі для розрахунків вихідних параметрів.

У Центральному науково-дослідному інституті зв'язку (ЦНИИС) [111] виконаний детальний логічний аналіз двох варіантів формалізації схем станцій – кодування схеми розміщення елементів колійного розвитку станцій і кодування рівнянь, необхідних для її розрахунків. У результаті аналізу був зроблений вибір на користь другого варіанта, який забезпечував більшу надійність розрахунків, простоту алгоритму і універсальність програми, що при наявних у той час технічних засобах було немаловажним. У той же час відзначене, що в другому варіанті ступінь автоматизації розрахунків нижче, оскільки послідовність розрахунків устанавлюється проектувальником.

Надалі на базі зазначених принципів ЦНИИС і Мосдіпротрансом розроблена методика, алгоритм і програма для розрахунків з'єднань колій на ЕОМ [98]. Вказана програма складається з керуючого блоку, що не залежить від схеми станції, і бібліотеки модулів для розрахунків окремих типових з'єднань колій. Проектувальник визначає порядок розрахунків схеми, вибирає необхідні модулі, задає по певному макету необхідні числові параметри для кожного з них (лінійні і кутові), а також забезпечує передачу проміжних (розрахункових) параметрів між модулями. Теоретично програма забезпечує розрахунки будь-якої конструкції з'єднань колій; практично існують обмеження по наявності необхідних модулів у бібліотеці і по пам'яті ЕОМ. Важливою перевагою наведеної методики є можливість завдання обмежень на рішення і їх контроль, різноманітні і оптимізаційні розрахунки певних елементів схем, що особливо важливо в стиснутих умовах і при реконструкції станцій, а також автоматизований перебір вихідних даних, які варіюються, для одержання найкращого рішення. Суттєвим недоліком методики є висока складність підготовки даних для розрахунків, що значно ускладнює використання розробленої програми.

Методичні питання автоматизації розрахунків плану колійного розвитку парків станцій, розташованих на кривих, розглядаються в [4].

Фундаментальні дослідження проблеми автоматизації розрахунків колійного розвитку станцій були виконані в ІК АН УРСР [71, 72]. У даних роботах вперше був розроблений метод кодування схем станцій з використанням теорії графів. При цьому конструкція будь-якої схеми представляється безліччю елементарних циклів (контурів), які виділяються на графі схеми. Розроблений також алгоритм розрахунків координат схеми колійного

розвитку станції, базується на попередніх розрахунках і ув'язкою параметрів елементарних циклів схеми. Розроблена контурна модель станції [71] є універсальною формою представлення інформації про її схему. Вказана модель після автоматичного перетворення може бути використана для рішення широкого класу завдань проектування станцій, зокрема для розрахунків пропускної здатності горловин [6]. До недоліків контурної вистави схем слід віднести надмірність даних, тому що при цьому кожне ребро графа, як правило, включається в модель двічі. Як відзначено в [71], дана модель станції дозволяє суттєво спростити алгоритм переробки вихідної інформації ціною можливих обмежень по пам'яті ЕОМ. На наш погляд, головним недоліком контурної моделі є складність її підготовки (виділення контурів на схемі станцій) і великий надлишковий обсяг інформації, що вводиться, оскільки зазначені операції виконуються вручну. Досить складно також коректувати контурну модель при необхідності внесення змін у схему станції. У цьому зв'язку доцільне спрощення вхідної моделі станції, можливо, за рахунок ускладнення алгоритму її перетворення і аналізу.

Зростання складності станцій і вузлів, які проектуються, необхідність підвищення продуктивності праці проектувальників, якості і обґрунтованості проектних рішень з одного боку, а також розвиток математичних методів і технічних засобів (ЕОМ) з іншого боку, зробили актуальною задачу створення системи автоматизованого проектування станцій [1, 2]. В даних роботах перераховані основні передумови для створення САПР залізничних станцій, підкреслюється необхідність розвитку методів імітаційного моделювання транспортних об'єктів для рішення широкого класу задач проектування станцій, у тому числі і оптимізаційних задач. В [2, 40] запропонована можлива структура побудови САПР, а також перераховані основні етапи її створення. Зокрема, у якості етапів розвитку САПР і її складових частин виділені завдання автоматизації розрахунків з'єднань колій (перший етап) і моделювання транспортних систем з метою їх аналізу і синтезу (другий етап). Вказані етапи можуть бути основою технологічної лінії проектування (ТЛП) залізничних станцій і вузлів.

У роботі видатного вченого М. В. Правдіна [94] використано оригінальний підхід до рішення задачі синтезу структури станцій, заснований на використанні шаблонів типових схем і окремих елементів конструкції станцій. За допомогою програмних засобів генерується множина можливих варіантів взаємного розташування незмінних шаблонів і зовнішніх (які не входять до шаблону) пристроїв станції; при цьому враховуються необхідні технологічні зв'язки її елементів. Передбачена можливість включення в синтезовану схему підмножини нових пристроїв, які не входять у вихідний набір, що дозволяє одержати нове проектне рішення, спрямоване на підвищення ефективності роботи станції. Запропонований підхід дозволяє розробити значну кількість варіантних рішень, які задовольняють деякому критерію. Необхідно зазначити, що отримані варіанти представляються схематично у вигляді матриці варіантів розміщення пристроїв; питання аналізу, оцінки і вибору оптимального варіанта в [94] не розглядаються.

Рішення вказаних задач на основі абстрактних моделей станції представляється досить наближеним.

Знайдений тим або іншим методом (наприклад, [39, 94]) оптимальний варіант структури станції, представлений у вигляді деякої формальної моделі, необхідно перетворити в схему станції з конкретною кількістю колій у парках і певними конструкціями горловин. Алгоритму рішення вказаної задачі не існує і тому дане перетворення повинне бути виконане вручну.

Загальновизнаним є той факт, що процес проектування, у тому числі й залізничних станцій [95], є творчим актом і не може бути повністю формалізований. Якість проекту значною мірою визначається інтелектуальними якостями проектувальника, його вмінням знаходити принципово нові рішення в нестандартних ситуаціях. САПР повинна підсилювати творчі здібності людини за рахунок можливості сучасних ЕОМ швидко переробляти великі обсяги інформації, у тому числі графічної.

Питання формалізації схем станцій для автоматизації розрахунків і проектування розглядаються в роботах, виконаних у МІТі [3, 53, 82, 83]. Розроблений метод формалізованого представлення схем станцій у вигляді дворівневих структур, що містять інформацію про секції станції і елементи кожної секції [53]. Використано табличний метод кодування схем; передбачено чотири види таблиць різної структури, що включають інформацію як про топологію схеми, так і про її параметри. Необхідно відзначити системний підхід до проектування в зазначених роботах, у яких згадується комплексна система, що дозволяє виконати розрахунки координат точок станції, побудова її масштабного плану, а також розраховувати технологічні показники на основі імітаційного моделювання. Вказується, що дана система дозволяє проектувальникові в діалоговому режимі аналізувати введені в ЕОМ варіанти схем станцій і на цій основі вибирати варіант для реалізації. До недоліків слід віднести складність табличного методу кодування схем станцій взагалі і використаної в [53] структури зокрема, а також необхідність ручної підготовки та вводу даних.

Методика формалізації конструктивних параметрів залізничних станцій з метою одержання на ЕОМ їх графічного зображення наведена в [131]. Станція представляється як блочно-ієрархічна система, у якій виділено три рівні – функціональний, структурний і рівень базисних елементів. Вхідна інформація про станцію представлена у вигляді таблиць шести різних форм, що містять дані про топологію схеми, про колії станції, про тип і параметри стрілочних вулиць, про повороти станційних колій і параметри відповідних кривих. В результаті розрахунків визначаються координати точок плану та всі необхідні дані для побудови на графобудівнику креслення станції. У даній роботі відзначені також інші можливі сфери використання запропонованого методу формалізації схем – моделювання роботи станцій для одержання техніко-експлуатаційних показників, а також створення інформаційних систем для зберігання даних про плани станцій, їх технічного оснащення і показників експлуатаційної роботи. Недолік роботи – висока складність і трудомісткість робіт по підготовці і вводу в ЕОМ формалізованих даних про

схему станції. Однією з досить трудомістких процедур, які виконуються при проектуванні планів колійного розвитку станцій, є розміщення граничних стовпчиків (ГС) і світлофорів. У цей час є ряд спеціальних програм [68, 97] для автоматизації розв'язку даного завдання. Однак, як показує аналіз, недосконалість використаних моделей колійного розвитку і алгоритмів розпізнавання ситуацій викликає необхідність виконання проектувальником значної підготовчої роботи, що обмежує область застосування вказаних програм. Тому виникає задача автоматизації розрахунків координат ГС і світлофорів для всіх можливих випадків їх установки при мінімальній вхідній інформації.

Для успіху автоматизованого проектування станцій важливо встановити показники, які характеризують якість конструкції їх колійного розвитку. У цьому зв'язку значний інтерес представляють роботи Г.С. Томіліної [117, 118], у яких пропонується мінімізувати питому будівельну довжину колій, енергетичні витрати на рух поїздів, а також витрати на ремонт колій і рухомого складу за рахунок вибору раціональної конструкції горловин станції.

Суттєві особливості має проектування гіркових горловин сортувальних парків, при якому необхідно забезпечити розміщення стрілочних переводів, гальмових позицій, а також обладнання автоматики з урахуванням радіусів кривих з допустимим значеннями, ширину міжколій і інших технічних умов. Крім того, при проектуванні необхідно визначити положення і параметри додаткових кривих на спускній частині гірки та на сортувальних коліях. Для рішення вказаної задачі на ЕОМ траса розрахункової колії задається рівнянням проекцій окремих ділянок траси на вертикальну вісь [100]. Принципова складність даного розрахунку полягає в тому, що в це рівняння звичайно входить декілька невідомих кутів. Тому для рішення рівняння доводиться приймати значення деяких кутів підбором на основі попереднього наближеного рішення задачі графічним методом [24], або за даними проектів аналогічних горловин. Недоліком вказаного способу, крім його трудомісткості, є складність формалізації структури рівняння і завдання його параметрів до розрахунків. Враховуючи вказану невизначеність, в [86] була запропонована методика оптимізації проектування траси розрахункової крайньої колії за критерієм її мінімальної розрахункової довжини. Була сформульована умовна варіаційна задача, для рішення якої використано метод множників Лагранжа; в результаті були отримані всі невідомі кути розрахункової колії. Даний метод, однак, не одержав поширення, тому що в ньому не враховуються обмеження, що накладаються на значення окремих кутів, а також їх вплив на умови вписування внутрішніх пучків горловини. Крім того, як показують дослідження, сума кутів повороту розрахункової колії і його розрахункова довжина при варіації окремих кутів змінюються досить незначно.

Існуюча технологія проектування станцій орієнтована на роботу із кресленням. Креслення є носієм інформації для відтворення запроектованого об'єкта. Однак цим роль креслення не вичерпується. Побудова і корекція

геометричної моделі станції являє собою ітераційний процес, розподілений по всіх етапах проектування. У цих умовах проектувальнику необхідний зовнішній накопичувач інформації, що адекватно відображає об'єкт. Таким накопичувачем виступає креслення або ескіз. Креслення має більшу ємність і забезпечує високу швидкість пошуку і вибору необхідної інформації. Процес взаємодії проектувальника з геометричною моделлю за допомогою креслення є одним з найважливіших, що полегшують ухвалення рішення.

Таким чином, традиційну методику проектування можна представити у вигляді схеми, зображеної на рис. 1.1.

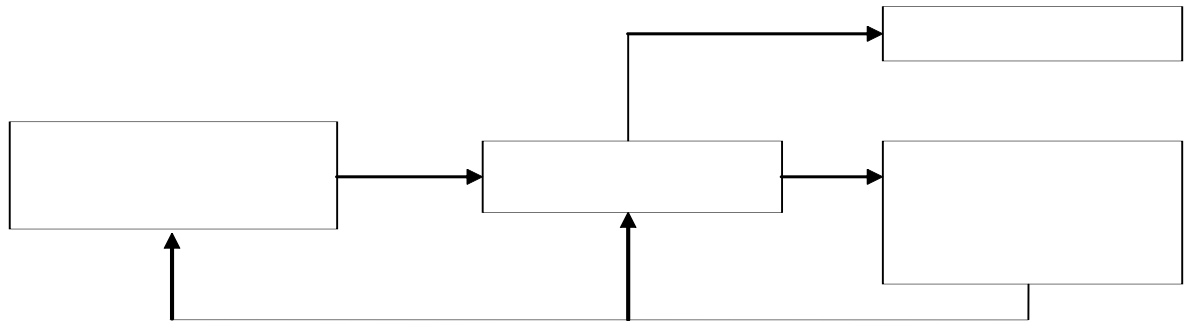


Рисунок 1.1 – Схема традиційної технології проектування

При автоматизованому проектуванні всі або частину проектних рішень одержують в результаті взаємодії людини і ЕОМ. САПР повинна підсилювати творчі здібності людини за рахунок можливості сучасних ЕОМ швидко переробляти значні обсяги інформації, у тому числі графічної. Автоматизоване проектування ґрунтується на математичній моделі об'єкта (рис. 1.2).

Математична модель є більш досконалим способом представлення планів колійного розвитку станцій і могутнішим та зручним інструментом для його техніко-експлуатаційної оцінки. Креслення в цих умовах починає відігравати допоміжну роль, а побудова моделі виконується або автоматично, або автоматизовано за допомогою засобів комп'ютерної графіки. У цьому зв'язку однією із задач дослідження є автоматизація побудови математичних моделей колійного розвитку станцій на базі немасштабних схем, які розробляє проектувальник, з наступним їх перетворенням у робочі креслення із значеннями всіх числових параметрів плану.

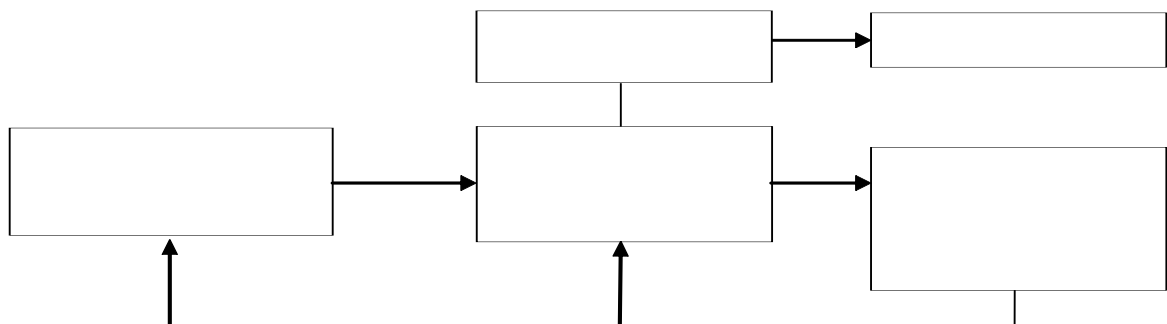


Рисунок 1.2 – Схема автоматизованого проектування

Побудова математичної моделі станції і розробка методів та алгоритмів розрахунків її параметрів дозволить суттєво прискорити процес проектування станцій за рахунок використання графічного вводу немасштабних схем, інтерактивного режиму роботи з візуалізацією результатів, автоматичного розрахунку всіх необхідних параметрів колійного розвитку і побудови робочих креслень. Крім того, геометрична модель станції, отримана при рішенні даної задачі, може бути використана при функціональному моделюванні станції, яке виконується для оцінки якості проекту.

Аналіз методів функціонального моделювання залізничних станцій

У сучасних економічних умовах одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізничного транспорту є мінімізація часу перебування вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для ефективної роботи в умовах нерівномірності транспортних потоків. З іншого боку, невиправдане збільшення технічного потенціалу станцій приводить до росту їх експлуатаційних витрат. Для рішення вказаної складної і суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка планованих заходів щодо удосконалення конструкції і технології роботи станцій. Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів може служити імітаційне моделювання станційних процесів. Використання імітаційних моделей при виконанні проектних робіт, а також при оперативному керуванні на станціях, дозволить приймати найбільш раціональні рішення, спрямовані на скорочення власних витрат станцій і збільшення прибутків від перевезень. От чому розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій присвячена досить велика кількість наукових робіт.

Перші дослідження, пов'язані з проблемою створення імітаційних моделей залізничних станцій для дослідження і оптимізації їх роботи були початі Е.А. Сотниковим, Е.А. Ветуховим і Шабалінім Н.Н. в 60-х роках минулого століття з появою серійних ЕОМ [29, 132]. У вказаних роботах для аналізу завантаження технічного обладнання станцій пропонувалося використовувати статистичне моделювання технологічних процесів. Для обліку нерівномірності моделюється випадковий вхідний потік поїздів, а тривалість обслуговування поїзда на станції моделюється як випадкова величина із заданим законом розподілу. За результатами моделювання визначаються «вузькі» місця на станції, затримки і простої поїздів.

Подальший розвиток теорія моделювання залізничних станцій одержала у фундаментальній роботі Персианова В.А. [89], у якій сформульовані найбільш загальні принципи формалізації станцій і вузлів, викладається методологія побудови їх функціональних моделей. У цій роботі рекомендується застосовувати системний підхід до побудови моделей залізничної станції або вузла. При цьому станція або вузол розглядається як

багатофазна система масового обслуговування, у яку надходять заявки на обслуговування (поїзда, состави, локомотиви і ін.). Станція структурно представляється у вигляді набору різних технологічно пов'язаних блоків, кожному з яких відповідає певна фаза обслуговування заявки. З використанням розроблених моделей методом статистичних випробувань передбачається одержання кількісної оцінки роботи станції в тих або інших умовах. Результати досліджень можуть бути використані для перевірки надійності технічних засобів і системи обслуговування, визначення пропускної здатності станцій і вузлів, а також при виборі варіантів проектних рішень.

В 70-і роки поява нових потужних ЕОМ дало своєрідний поштовх до інтенсифікації робіт в області моделювання станцій і вузлів. У цей період розроблена безліч методів і алгоритмів моделювання, багато з яких були реалізовані на ЕОМ у вигляді програм.

У цьому зв'язку слід особливо відмітити роботи К.К. Таля [112, 113], у яких сформульовані основні проблеми і підходи до моделювання станцій, приведені описи моделюючих алгоритмів і результати досліджень. Практичною реалізацією ідей, викладених у вказаних роботах став збірник програм для розрахунків станцій методом моделювання [102]. В [112, 113] також розглянута проблема вибору черговості пересувань при виникненні конфліктних ситуацій. Для її рішення запропоновано встановити систему правил на вибір черговості. З цією метою в [112] сформульовано 5 правил вибору, отриманих на основі аналізу пересувань у горловинах декількох великих станцій. Ці правила використовуються в моделі станції при необхідності одночасної установки пари ворожих маршрутів. В [113] розглядаються способи вибору варіантних маршрутів. При цьому рекомендується при розробці моделі станції список варіантних маршрутів доповнювати даними про порядок їх переваги.

У роботах Т.Н. Федотова [125, 126, 127] наведений опис і результати застосування імітаційної моделі сортувальної станції, розробленої в НІІЗТі. Модель передбачає імітацію виконання всіх технологічних операцій з поїздами і вагонами у всіх парках станції, у тому числі і процес накопичення составів у сортувальному парку. Об'єкти (поїзда), що надходять на станцію, обслуговуються відповідно до їхніх пріоритетів [127]. Обслуговування об'єкта в кожному парку станції моделюється як одна наскрізна операція, що суттєво скорочує час моделювання, але не відповідає реальному технологічному процесу роботи. Крім того, такий підхід може викликати необґрунтовані затримки в обслуговуванні об'єктів, з більш низьким пріоритетом. Черговість пересування об'єктів по станції також установлюється залежно від їхнього пріоритету. При цьому не враховується можливість переміщення об'єктів з більш низьким пріоритетом по паралельних маршрутах.

За допомогою розробленої статистичної моделі в [124] В.А. Федотов вирішує задачу визначення «вузьких» місць у роботі сортувальної станції. У процесі моделювання на станцію надходить випадковий потік поїздів. При

цьому для кожного поїзда визначається набір параметрів, що визначають технологію і тривалість його обслуговування. Як і в [89], станція представляється набором взаємозалежних блоків, що моделюють певну стадію (фазу) обслуговування об'єкта. Моделювання тривалості знаходження об'єкта в кожній фазі виконується без обліку окремих технологічних операцій, що є не доліком запропонованого методу, тому що не забезпечує адекватності моделі. Крім того, в [124] спрощено моделюється заняття горловин станції рухомих складом при його переміщенні і не враховується ворожість маршрутів.

Метод статистичного моделювання розв'язок перед станціями у вузлах розглядався в роботі С.С. Мацкеля [67], де перетинання представляється моделлю масового обслуговування з одним обслуговуючим пристроєм (стрілочна зона перетинання) і потоками заявок (поїздів) по кожному підходу. Час обслуговування заявки (заняття перетинання), як правило, постійне для даного виду заявки.

Однією з проблем, що виникають при розробці моделей станцій, є складність представлення схем колійного розвитку для моделювання переміщень рухомого состава. Для рішення даної проблеми в [102] горловини станцій пропонується ділити на окремі елементи (секції), що дозволяє визначати ворожість маршрутів і достатньо точно моделювати процес їх посекційного розмикання. Недоліком методу є його громіздкість внаслідок необхідності завдання тривалості заняття кожного елемента пересуваннями різних категорій. В [90] запропонований спосіб формалізації схеми станції, який не вимагає розбивки горловин на елементи. Для моделювання пересувань складається таблиця можливих маршрутів, яка доповнюється таблицею ворожості маршрутів. Однак, процес складання таких таблиць досить трудомісткий, особливо для великих станцій. Крім того, при цьому не враховується можливість посекційного розмикання маршрутів.

У багатьох роботах для моделювання станцій пропонується використовувати апарат теорії масового обслуговування. Так в [25] А.В. Бикадоров розглядає можливість застосування методів теорії масового обслуговування для дослідження роботи парку прибуття сортувальної станції. При цьому математичний апарат теорії масового обслуговування використовується для визначення показників роботи парку прибуття в різних умовах. Питання застосування методів теорії масового обслуговування при моделюванні вантажних станцій розглядаються в роботі [87]. Тут у якості системи масового обслуговування розглядається як станція, так і її окремі вантажні райони. Розглянуті також методи і алгоритми моделювання вантажних операцій з вагонами. Недоліком запропонованих у вказаних роботах методів моделювання є те, що потік заявок (поїздів, вагонів), що надходять для обслуговування, розглядається як найпростіший, а інтенсивність обслуговування прийнята постійною, що не відповідає реальним умовам роботи залізничних станцій.

Модель сортувальної станції для нормування показників її роботи розроблено в РІЗТі [92]. Станція розглядається як багатоканальна

багатофазна система масового обслуговування. При моделюванні враховуються імовірнісні характеристики потоку поїздів і інтенсивності їх обслуговування. Для кожного поїзда, що надходить в розформування, моделюється його розкладення. Тривалість операцій визначається з урахуванням параметрів поїзда і системи обслуговування. Запропонована також методика для моделювання процесу накопичення вагонів у сортувальному парку. За результатами моделювання розраховується по елементний простій вагонів на станції. Разом з тим у запропонованій моделі не враховується заняття елементів колійного розвитку при переміщенні рухомого состава, що суттєво знижує її адекватність.

Розформування і формування поїзд на сортувальних станціях виконується на сортувальних гірках, від якості роботи яких суттєво залежать показники функціонування станцій. Тому проблема дослідження сортувального процесу на гірках завжди була актуальною. Питанню розробки моделей сортувальних гірок присвячена досить велика кількість робіт, серед яких слід особливо зазначити роботи вчених ДІТа: Мухи Ю.О., Шафіта Є.М., Бобровського В.І., Жуковицького І.В. Так, в [74-76] розроблена імітаційна модель скочування відчеплень із сортувальної гірки, а також розроблений комплекс моделюючих програм для ЕОМ. При цьому запропонована оригінальна методика апроксимації поздовжнього профілю сортувальної гірки і модель процесу гальмування відчеплень на уповільнювачах. Роботи [134-137] присвячені розробці моделей сортувальних гірок для дослідження різних систем автоматизованого керування сортувальним процесом. При цьому особлива увага приділена моделюванню роботи оснащення гіркової автоматики. Результатом вказаних досліджень стала розробка декількох автоматизованих гіркових систем, які були успішно впроваджені на ряді сортувальних станцій [137].

Заслугує на увагу також досвід польських залізниць [59]. У цій роботі станція розглядається як система масового обслуговування, що структурно складається із сукупності блоків двох видів: постів обслуговування і пунктів очікування обслуговування. При моделюванні використовується подійна модель станції, яка припускає зміну ситуації дискретно від події до події. Гідністю такого підходу є суттєво менша тривалість моделювання в порівнянні з безперервним моделюванням, але при цьому не враховується безперервний характер технологічного процесу роботи станцій, що буває важливо при рішення певного кола завдань. Крім того, у цей час при наявності швидкодіючих ЕОМ швидкість моделювання не є істотним чинником при виборі методу моделювання.

В роботі Е. Лещинського [59] процес обслуговування об'єктів на станції моделюється укрупнене без підрозділу на технологічні операції. При цьому тривалість знаходження об'єкта в кожній з фаз обслуговування приймається постійною або визначається як значення лінійної функції залежно від параметрів об'єкта і поста обслуговування. Результати численних досліджень свідчать, що такий підхід не відповідає реальним процесам, що відбуваються на станціях, тому що тривалість обслуговування

в більшості випадків являє собою випадкову величину з певним законом розподілу, що необхідно враховувати при моделюванні.

Оригінальна методика побудови моделі сортувальної станції запропонована в роботі Е.А. Сотникова [108]. Модель станції являє собою набір програмних модулів, кожний з яких моделює початок і закінчення операцій певної технологічної послідовності. При цьому враховуються випадкові коливання вхідного потоку об'єктів і нерівномірність їх обслуговування. Запропонований також метод формалізації схем станцій, що дозволяє враховувати ворожості маршрутів при моделюванні переміщень рухомого складу. Разом з тим процес розробки програмних модулів досить трудомісткий, що суттєво обмежує застосування зазначеної методики.

Розробці імітаційних моделей залізничних станцій присвячені роботи видатного вченого П.С. Грунтова [34, 35, 36]. Запропонована методика моделювання заснована на використанні апарата теорії ймовірностей для моделювання вхідних потоків заявок і тривалості їх обслуговування. Модель використовується для прогнозування роботи станцій у різних умовах і при виборі варіантів технічних рішень. Недоліком запропонованої моделі є укрупнений розгляд технологічних процесів обробки поїздів і вагонів у парках станції, що не дозволяє досить точно моделювати роботу станції. У роботі [36] імітаційна модель станції використовується для оцінки її експлуатаційної надійності. При цьому станція розглядається як комплекс взаємозалежних уніфікованих модулів. Такий підхід дозволив створити типовий алгоритм для формалізації обслуговуючих каналів будь-якого типу. Розроблена в [36] модель дозволяє визначити показники роботи основних підсистем станції, завантаження технічних засобів і виконавців, а також виконати поелементний аналіз простою вагонів на станції.

За допомогою імітаційної моделі, розробленої на основі теорії масового обслуговування, вирішуються питання прогнозування і планування роботи залізничних станцій у роботі [44, 70]. Модель може бути використана для планування роботи станції в умовах реконструкції або закриття технічних засобів. За допомогою моделі виконується оцінка різних варіантів організації роботи станції в таких умовах [70]. Крім того, розглядається можливість застосування розробленої моделі для нормування різних показників роботи станції, а також аналізу якості роботи оперативної зміни [44]. З цією метою, на початку зміни по прогнозних вихідних даних про підхід поїздів і вагонів виконується моделювання роботи станції. Аналіз виконується на основі порівняння показників роботи станції, отриманих за результатами роботи зміни і у результаті моделювання роботи станції.

Комплексна імітаційна модель сортувальної станції розроблена на польських залізницях [41]. Модель є частиною програмного комплексу для розробки графіка руху поїздів і дозволяє одержати якісні і кількісні показники роботи сортувальних станцій при різних умовах роботи. Модель являє собою набір взаємозалежних модулів, кожний з яких моделює роботу окремих підсистем станції. Вхідний потік поїздів задається графіком, а тривалості їх обслуговування в підсистемах станції моделюються як випадкові величини з

певним законом розподілу; є також можливість використання постійних значень часу обслуговування. Вводячи різні варіанти даних і аналізуючи отримані результати, можна вибирати варіант організації роботи станції, що забезпечує виконання графіка руху при найкращому використанні технічних засобів. До недоліків слід віднести складність підготовки вихідних даних для створення моделі конкретної станції.

Новий об'єктно-орієнтований підхід до побудови моделі станції перекладений в [123]. При побудові моделі станція розглядається як система масового обслуговування (СМО); поняття об'єкта використовується в моделі для вистави технологічних обладнань, що виконують обслуговування клієнтів (сервери-об'єкти) і елементів колійного розвитку станції (канали-об'єкти). При цьому самі об'єкти розглядаються як деякі автомати, що володіють фіксованим набором внутрішніх станів і переліком впливів, що приводять до переходу автомата з одного стану в інше. Схема колійного розвитку станції представлено двома структурами: списком елементів колійного розвитку і списком зв'язків між ними. Керує моделлю програма-розпорядник, яка виконує спостереження за станом кожного об'єкта і при виникненні зовнішнього впливу міняє його стан. За результатами моделювання здійснюється побудова плану-графіка роботи станції за допомогою пакета Autocad.

Спроби деталізувати процес обслуговування об'єктів у складних транспортних системах привели до створення моделей у вигляді мереж СМО, кожна з яких імітує окрему фазу обслуговування [122]. У ряді робіт моделювання використовується для аналізу окремих підсистем станцій (фаз обслуговування).

Останнім часом для моделювання транспортних систем досить широко використовується апарат мереж Петри [42, 78, 128]. Використання мереж Петри дозволяє скоротити витрати часу на розробку моделей транспортних об'єктів, а також спростити процес їх створення, за рахунок чого залучити до цієї роботи широке коло користувачів-технологів. Використання даної комп'ютерної технології спрямоване на підвищення якості перевізного процесу, скорочення строків доставки вантажів і збільшення конкурентоспроможності залізниць. Зокрема, в роботі Є.В. Нагорного [78] розглядаються можливості використання апарата мереж Петри для моделювання сортувальних станцій і інших транспортних комплексів. Розроблена методика представлення комплексу «сортувальна станція – ділянки, що примикають» у вигляді мережі Петри, у якій переходить імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують стан системи і визначають умови переходів. У даній роботі показано, що шляхом ускладнення структури мережі можна досягти будь-якого ступеню деталізації системи, яка моделюється. Передбачена також можливість моделювання випадкових інтервалів між поїздами вхідного потоку, а також інших параметрів. Для реалізації моделі на ЕОМ можуть бути використані спеціалізовані програмні продукти. Наведений в [78] приклад свідчить про те, що модель, побудована на основі мереж Петри, дозволяє фіксувати стан

системи в довільний момент часу, а також визначити за результатами моделювання інтегральні показники тривалості виконання окремих операцій і число оброблених об'єктів. Є можливість дослідження моделі шляхом варіювання окремих кількісних параметрів. Як недолік, слід зазначити відсутність у моделі механізму вибору черговості виконання окремих операцій при виникненні конфліктних ситуацій. Зазначений механізм є у всіх керованих системах масового обслуговування, до яких ставляться транспортні комплекси. Крім того, у моделі не врахована схема колійного розвитку станції; заміна ж простого переходу «горловина» самостійною мережею Петри, що описує конкретну схему горловини, приведе до ускладнення структури моделі і утруднить її побудова і аналіз. Нарешті, у моделі на базі мережі Петри важко імітувати рух транспортних об'єктів для розрахунків витрат, пов'язаних з їхнім переміщенням.

Метод моделювання станцій, заснований на використанні математичного апарата марковських випадкових процесів, розроблено в ХІТі [79]. У даній роботі станція розглядається як багатофазна одноканальна СМО. Для станції побудований оргграф станів, на базі якого складається система рівнянь Колмогорова для знаходження граничних імовірностей окремих її станів. Зазначені ймовірності дозволяють визначити основні техніко-технологічні параметри станції, необхідні для оптимізації її потужності. Даний метод досить ефективний, однак його складність різко зростає при переході до багатоканальних СМО і збільшенні числа колій на станції.

Суттєвим недоліком розглянутих моделей є те, що в них або взагалі не враховується, або спрощено моделюється діяльність оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП). Разом з тим, оперативно-диспетчерський персонал станцій керує технологічним процесом їх роботи і впливає на підсумкові показники. Тому при моделюванні необхідно враховувати даний фактор, щоб забезпечити адекватність розробленої моделі. У цьому зв'язку в ряді робіт авторами початі спроби врахувати управлінську діяльність ОДП на станціях.

Розвиток засобів обчислювальної техніки, а також перехід до нової інформаційної технології керування поклали початок роботам зі створення так званих імітаційних систем. У вказаних системах процедури імітаційного моделювання використовуються в комбінації з оптимізаційними методами; при цьому в цих системах реалізується діалог людей-ЕОМ на всіх стадіях імітаційного експерименту. Імітаційні системи для керування виробничо-транспортними комплексами були створені в ІК АН України. Так, в [46] розглядаються питання створення імітаційних систем для планування і керування виробничо-транспортними об'єктами промислових підприємств, приводяться результати імітаційних експериментів з побудованими моделями, а також обговорюються можливості використання отриманих результатів для прийняття ефективних управлінських рішень і вироблення оптимальної стратегії поведінки досліджуваних систем.

Методика побудови імітаційних моделей для визначення пропускну́ї спроможності транспортних систем розроблена в роботі І.Т. Козлова [48]. У даній роботі всякий транспортний об'єкт (станція) представляється формалізованим описом його постійних обладнань, змінних засобів і системи оперативного керування роботою. Реальну систему оперативного керування і, зокрема, визначення черговості обробки заявок в імітаційній моделі запропоновано відбивати алгоритмами, за допомогою яких вибираються рішення конфліктних ситуацій. В [48] виділено 4 типу конфліктних ситуацій і запропоновані правила їх рішення. Реалізація цих правил являє собою досить складну задачу, яке проте, не вирішує проблему вибору черговості у всім різноманітті конфліктних ситуацій.

Досить складна система моделювання роботи сортувальної станції ІСТРА представлена в [133]. Імітаційна модель використовується для оперативного планування роботи станції в різних умовах і може бути використана при розробці автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера. Модель станції характеризується безліччю елементів, операцій і оператором керування, який описує логічну послідовність виконання операцій залежно від стану моделі. Елементи моделі діляться на технологічні, інформаційні і керуючі. Технологічні елементи відображають реальні обладнання, інформаційні – імітують представлення реальних обладнань у пам'яті диспетчера. Технологію роботи станції відображають операції моделі. У системі ІСТРА реалізований принцип покрокового моделювання, керованого подіями.

Як показав виконаний аналіз, досить важко побудувати математичну модель складної транспортної системи, що враховує всі зв'язки і взаємодії окремих її елементів. У подібних системах оперативно-диспетчерський персонал (ОДП) залежно від ситуації, що склалася, може змінювати порядок проходження і обробки транспортних об'єктів, спеціалізацію окремих колій і парків, за рахунок перерозподілу технічних засобів і обслуговуючого персоналу підсилювати потужність окремих обладнань і застосовувати інші заходи для пропуску транспортного потоку. Моделювання подібних систем повинне включати не тільки процеси пропуску і обробки транспортних одиниць, але і функції керування цими процесами диспетчерським апаратом. Разом з тим аналіз існуючих моделей станцій показує, що в більшості з них діяльність ОДП або взагалі не враховується, або моделюється досить спрощено.

Так в [112, 113] для вирішення конфліктних ситуацій, що виникають при виборі черговості пересувань, пропонується набір правил, що визначають пріоритетність готування маршрутів руху. В [125, 126, 127, 59] при виборі черговості обслуговування об'єктів використовується система пріоритетів, яка визначається перед початком моделювання. У системі ІСТРА [133] для моделювання діяльності ОДП до складу моделі введений спеціальний оператор (модуль) керування, який описує логічну послідовність виконання операцій залежно від стану системи. Оператор керування в системі ІСТРА реалізує ситуаційний принцип керування. При цьому кожна конфліктна ситуація, по якій необхідно прийняти рішення, представляється

сукупністю станів усіх технологічних і інформаційних елементів системи. Після ідентифікації ситуації ухвалюється відповідне рішення. Список можливих конфліктних ситуацій і відповідних їм рішень задається в якості вихідних даних моделі при її розробці і настроюванні. Разом з тим, враховуючи складність і різноманіття ситуацій виникаючих на станціях, складання такого списку може являти собою досить трудомістку задачу.

Проблемі розробки методики для адекватного моделювання діяльності людини-диспетчера (ЛД) присвячена досить значна кількість робіт. Щодо цього заслуговують на особливу увагу роботи І.М. Кокуріна [49, 50, 51], в яких наведена методика моделювання діяльності ЛД для дослідження завантаження поїзних диспетчерів і чергових по станції. У зазначених роботах виконаний детальний аналіз діяльності ДНЦ і ДСП, на основі якого виділені основні складові елементи їх роботи. Моделювання діяльності диспетчерського персоналу пропонується виконувати за допомогою логічних схем алгоритмів (ЛСА). Така схема являє собою орієнтований граф, вершинам якого відповідають певні дії ЛД, а дугам – логічні умови. При цьому для кожної умови вказуються ймовірності вибору тієї або іншої його галузей, які визначаються на основі спостережень за діяльністю диспетчера. Тривалість виконання кожної операції ЛД моделюється як випадкова величина із заданим законом розподілу [51]. Приклади таких алгоритмів, що моделюють діяльність ДСП і ДНЦ наведені в [49, 50]. Наведені в цих роботах ЛСА дозволяють моделювати діяльність диспетчера при рішенні певного локального завдання. Разом з тим аналіз діяльності ОДП показує, що диспетчер у процесі своєї роботи звичайно вирішує кілька різних задач одночасно, що найчастіше вимагають рішень, що взаємно виключають. Побудова ж ЛСА, що враховує все різноманіття ситуацій у діяльності диспетчера, представляється досить складним завданням.

В [106] ЛСА запропоновано використовувати для моделювання еталонної діяльності ОДП у ситуаційному тренажері чергового по станції. При цьому оцінка рівня підготовки працівника виконується на основі порівняння показників, отриманих у результаті проведеного їм тренування з показниками еталонної моделі діяльності.

Для побудови моделі діяльності ЛД в [105] розроблена методика, в основу якої покладені поняття теорії інформації. Діяльність диспетчера розглядається як інформаційний процес і моделюється як послідовність переходів з одного інформативного стану до іншого в міру вступу інформації про об'єкт керування. Запропоновану методику рекомендується використовувати для визначення завантаження ЛД.

Заслуговує на увагу також робота [96], у якій наведена методика побудови імітаційної моделі діяльності ДСП проміжної станції. Модель діяльності ДСП розглядається як елемент керування, на вхід якої надходять інформаційні повідомлення про зміну об'єкта керування (станції), а також вимоги на виконання різних дій (готування маршруту, відкриття сигналу і ін.). Рішення про виконання того або іншої дії ухвалюється на підставі наявної інформації про об'єкт керування відповідно до наміченого плану, який

задається на початку моделювання. Для реалізації моделі розроблені відповідні алгоритми і таблиці рішень. Розроблена модель використовується для моделювання пропуску поїздів через проміжну станцію. Недоліком наведеної методики є те, що при розширенні набору дій ДСП, що моделюються, таблиці рішень суттєво збільшуються, а їх складання представляє досить трудомістке завдання.

Необхідно зазначити певні переваги графічного методу моделювання станцій, яке виконується фахівцями, що добре знають структуру транспортної системи, технологію і особливості керування і виконуваними по суті функції диспетчера системи, яка моделюється. Однак графічний метод має і істотний недолік, який полягає в його трудомісткості і, внаслідок цього, обмеженому періоді моделювання (звичайно доба); внаслідок цього, отримане рішення має приватний характер. У той же час використання методу імітаційного моделювання роботи станцій на ЕОМ дозволяє значно прискорити процес одержання результатів.

Суттєві переваги графічного методу, обумовлені особистою участю людини в моделюванні, а також відсутність методів адекватного моделювання управлінської діяльності диспетчера в існуючих моделях, роблять доцільним створення і дослідження принципове нових ергатичних систем моделювання, що поєднують високу швидкість і точність ЕОМ зі здатністю людини оперативно приймати рішення в складних і невизначених ситуаціях. Концепція ергатичних моделей станцій, у яких людей бере безпосередню участь у процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера, запропонована в [10]; у даній роботі представлені теоретичні основи і методологія побудови таких моделей, показані перспективи їх застосування.

Останнім часом у ДПТІ ведеться інтенсивна робота зі створення ергатичних імітаційних моделей станцій. Так в роботі В.І. Бобровського [16] наведений опис ергатичної моделі сортувальної станції, яка використовується в тренажері ДСП. Технологічний процес обслуговування поїздів формалізований на основі сітєвих графіків обробки об'єктів на станції. При цьому певні операції (закріплення, огляд, розформування і ін.) можуть початися тільки після відповідної команди людини. У процесі моделювання людина готує маршрути проходження поїздів і локомотивів, що дозволяє максимально наблизити імітаційну модель станції до реальних умов.

У роботах [20, 21] викладена методика побудови функціональних моделей розв'язок ліній у вузлах. При цьому розв'язка розглядається як керована СМО, у якій порядок пропуску поїздів не є постійним і визначається диспетчером. З цією метою в розробленій моделі передбачені спеціальні засоби для інтерактивного керування пропуском поїздів.

При розробці моделі сортувальної гірки в [14, 15] вона також розглядалася як ергатична система, складеним елементом якої є гірковий оператор, що виконує функції контролю і керування процесом розпуску составів. З цією метою до складу моделі сортувальної гірки введена інформаційна модель, яка використовується оператором при моделюванні для

контролювання поточної ситуації і передачі керуючих команд по розпускові состава. Розроблена ергатична модель може використовуватися як для створення тренажерів для навчання гіркових операторів [15], так і для удосконалювання конструкції і технічного оснащення самих сортувальних гірок.

У роботах [12, 13, 14, 20] науковцями ДПТ розроблена загальна структура імітаційної ергатичної моделі залізничної станції, а також методика побудови її структурних підсистем. В [12] наведені також результати практичної апробації розробленої ергатичної моделі підсистеми розформування однієї з великих сортувальних станцій для рішення оптимізаційних задач.

Висновки по розділу 1

При плануванні заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування залізничних станцій, необхідно застосовувати системний підхід, який передбачає рішення задачі комплексного удосконалення конструкції, технічного оснащення і технології роботи станцій. Основним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій є математичне моделювання станційних процесів, яке базується на використанні аналітичних, графічних та імітаційних моделей.

Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду моделювання залізничних станцій показав, що існуючі моделі, як правило, орієнтовані на рішення вузькоспеціалізованих задач і в багатьох випадках тільки для конкретної станції. Таким чином, у відповідності до системного підходу, необхідна розробка системи інтегрованих геометричних та функціональних моделей для параметричного синтезу та аналізу залізничних станцій.

Однією з невирішених проблем є адекватне моделювання систем оперативного керування залізничними станціями, у яких головну роль відіграє людина-диспетчер. У більшості існуючих моделей станцій управлінська діяльність диспетчера або взагалі не враховується, або моделюється за допомогою спрощених алгоритмів, що не забезпечує достатню адекватність цих моделей.

РОЗДІЛ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ

Постановка задачі підвищення ефективності функціонування залізничних станцій

При оцінці проектних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи залізничних станцій, виникає задача прогнозування їх техніко-експлуатаційних показників. Ефективним засобом отримання достовірного прогнозу показників роботи залізничних станцій в різних експлуатаційних умовах є ергатичні моделі, які дозволяють адекватно моделювати функціонування станцій будь-якого типу без обмежень за структурою їх технічного оснащення і складності технологічних процесів.

Однією з основних проблем, що виникають при побудові подібних моделей для конкретних станцій, є складність і трудомісткість підготовки даних для створення моделей колійного розвитку і системи станційної автоматики. Це пов'язано зі складністю структури відповідних підсистем станції, кожна з яких характеризується значною кількістю взаємозв'язаних елементів (стрілочних переводів і колійних ділянок, світлофорів, ізолюваних стиків, ізолюваних секцій і ін.). Крім того, суттєві труднощі також викликає визначення довжин колійних ділянок, оскільки масштабні плани існуючих станцій, найчастіше недостовірні або взагалі відсутні.

У цьому зв'язку в дисертації поставлена задача розробки системи інтегрованих математичних моделей для параметричного синтезу та аналізу станцій, взаємозв'язок між якими наведено на рис. 2.1.

Такий комплекс забезпечить можливість графічного вводу в ЕОМ немасштабних схем станцій, автоматизацію параметричного синтезу планів їх колійного розвитку, побудови креслень і підготовки даних для побудови функціональних моделей, визначення конструктивних параметрів колійного розвитку та системи електричної централізації. Ергатичні функціональні моделі станцій дозволять отримувати достовірну оцінку їх техніко-технологічних параметрів.

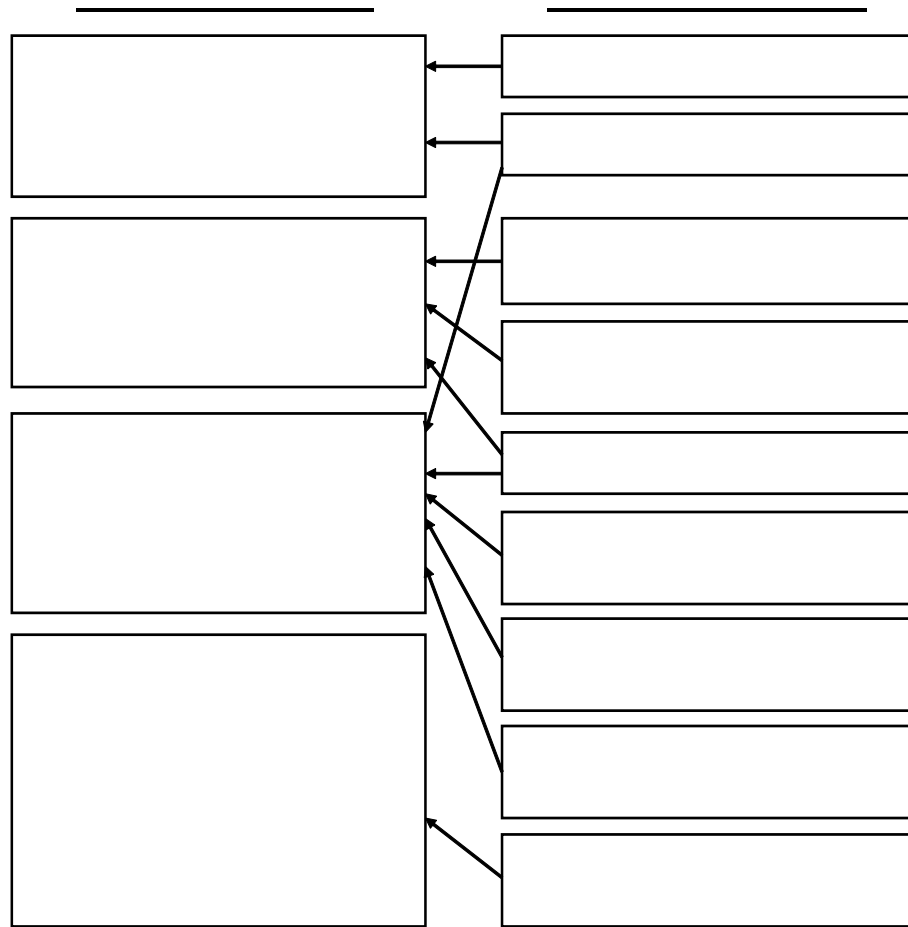


Рисунок 2.2 – Задачі дослідження та методи їх вирішення

Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України

Основна робота по формуванню та розформуванню поїздів на залізницях України [8, 139] виконується на 35 сортувальних станціях із яких 31 станція є позакласними, а 4 – віднесені до 1 класу. Побудовані такі станції були на протязі минулого сторіччя, найстаріші з них в процесі експлуатації були реконструйовані, причому основними причинами реконструкції являлись електрифікація ліній, впровадження більш потужних локомотивів, збільшення вагових норм поїздів та обсягів переробки вагонів, тобто схеми станцій, як правило, склалися історично.

Статистичні дані обігу вагонів на Придніпровській залізниці показують, що, в залежності від виду відправки, вагон за час обігу близько 25-30 % часу знаходиться саме на сортувальних станціях. Аналогічна ситуація спостерігається і на інших залізницях [61]. Недосконала конструкція станційних парків призводить до збільшення їх тривалості, і, як наслідок, збільшення енергоресурсів. У цьому зв'язку питання раціоналізації конструкції колійного розвитку парків сортувальних станцій, забезпечення надійності функціонування та приведення їх технічного оснащення у відповідність обсягам переробки вагонів є актуальними.

Особливості існуючих схем сортувальних станцій.
Значна кількість існуючих сортувальних станцій побудовані по нетиповим схемам. Деякі з них потребують реконструкції.

До однієї з поширених схем відноситься комбінована, частина парків якої розташовуються паралельно один до одного, наприклад, сортувальний і парк відправлення. До таких станцій можна віднести станції Одеса-Застава-1, Одеса-Сортувальна, Коростень, Запоріжжя-Ліве, Верхівцеве та інші. Звичайно такі схеми виникають із-за труднощів у розміщенні всіх парків на площадці послідовно. При таких схемах перевантажуються горловини парків відправлення і переривається маневрова робота на витяжках при перестановці готових составів в парк відправлення.

Окремі двосторонні станції (Іловайськ Донецької залізниці) мають нетипове розміщення локомотивного і вагонного господарств. При таких схемах утворюється значна кількість ворожих перетинань маневрових локомотивів з рухом організованих поїздів, тяжкі маневри по перестановці вагонів на колії вагоноремонтного депо. Подібні схеми сформувалися в результаті перебудов в межах раніше сформованої станційної площадки.

Існують і нетипові схеми станцій, які враховують місцеві умови відносного розташування залізниці і міста. Зустрічаються схеми станцій з парками, що розташовані у вигляді трикутника (Жмеринка Південно-Західної залізниці) на підходах, що примикають. В таких схемах локомотивне господарство відірвано від основних парків і передачі локомотивів викликають значні ворожі перетинання. Зустрічаються також схеми станцій зі зміщеними парками, що розташовуються поряд з пасажирськими пристроями. Локомотивне господарство розташовано на них не раціонально.

Необхідно відмітити, що до теперішнього часу є сортувальні станції (Харків-Сортувальний Південної залізниці), в яких всі парки розташовані паралельно один до одного, а головні колії проходять між ними. Такі станції повинні бути реконструйовані у першу чергу. Більшість нетипових станцій не відповідають сучасним вимогам і повинні бути перебудовані.

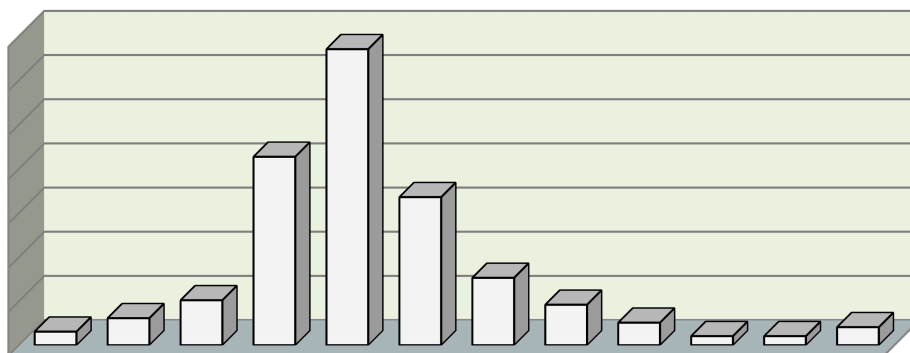
Корисна довжина приймально-відправних колій.
Корисну довжину приймально-відправних колій [37] для вантажного руху слід встановлювати з урахуванням уніфікованої корисної довжини колій на прилеглих напрямках; її мінімальне значення приймати рівним 850 м і 1050 м, а для частини станційних колій при техніко-економічному обґрунтуванні – 1700 м і 2100 м.

В роботі проведено аналіз корисних довжин колій, які використовуються для прийому або відправлення поїздів, 60 парків сортувальних станцій України, в тому числі парків прийому, відправлення та приймально-відправних. Всього проаналізовано довжину 440 колій, з яких 197 колій призначених для прийому поїздів, 134 колії – для прийому та відправлення поїздів і 109 колій – для відправлення поїздів. Колії приймально-відправних парків, що використовуються для інших потреб (відстою вагонів, тупикові, витяжні, тощо) в розрахунках не враховувались.

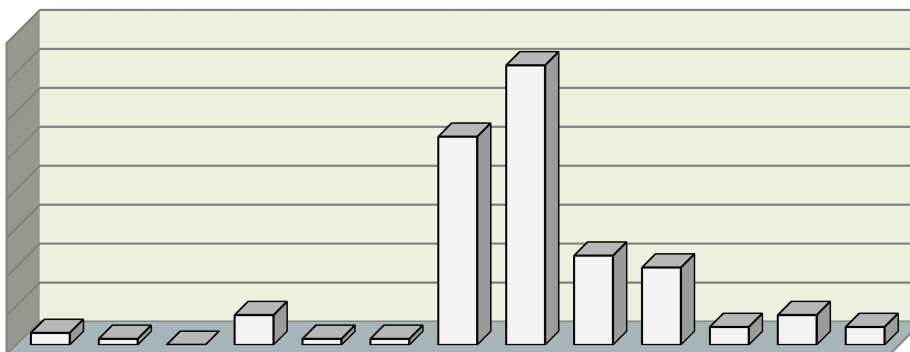
Необхідно зазначити, що переважна кількість парків (98%) запроектована з урахуванням стандартної корисної довжини колій 850 м, а решта (2%) – з корисною довжиною колій 1050 м. Гістограми розподілу приймально-відправних колій за довжиною наведені на рис. 2.3.

Аналіз розподілу колій в парках прийому за їх довжиною показав, що значна частка колій (69%) має корисну довжину не менше ніж 850 м, відповідає нормативам, встановленим в [REF ист_ДБН_2008 \h 37]. У той же час існують і такі колії (31%), довжина яких менша за рекомендовану. Необхідно також відзначити, що деякі парки прийому мають колії з корисною довжиною понад 1100 м (4%). Це обумовлено наявністю довгосоставних поїздів на прилягаючих до них напрямках.

а)



б)



в)

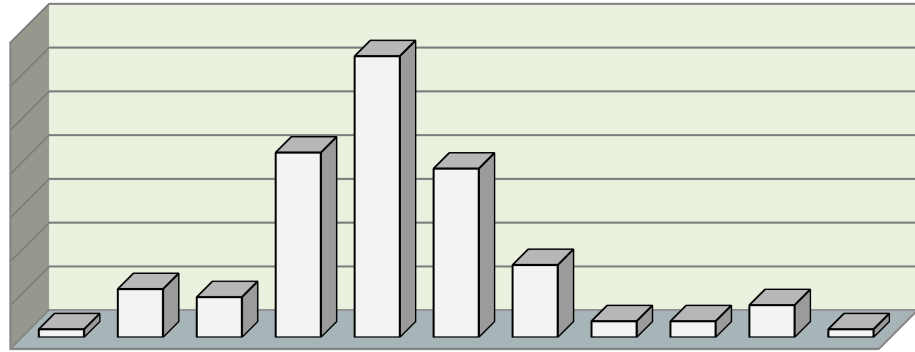


Рисунок 2.3 – Гістограми розподілу колій за корисною довжиною:
 а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках;
 в) в парках відправлення

В приймально-відправних парках сортувальних станцій розподіл колій за корисною довжиною значно відрізняється від попередніх результатів. Насамперед, слід відзначити достатньо малу частку колій (5%), довжина яких не відповідає стандартній – 850 м. Це обумовлено обслуговуванням на даних коліях транзитних поїздів з технічним оглядом і екіпіровкою локомотивів на «канавах», які розташовуються безпосередньо на коліях. В приймально-відправних парках також є коліє, довжина яких більше 1100 м, але їх в два рази менше ніж в парках прийому (2%).

Нарешті, розподіл колій за довжиною в парках відправлення практично не відрізняється від розподілу колій в парках прийому. Тут також присутні колії (32%), корисна довжина яких не відповідає стандартній, зазначеній в [37], але частка колій з довжиною понад 1100 м вище (6%). Це пояснюється наступним. Значна кількість парків відправлення (86%) розташовані послідовно до сортувального парку і, як відомо з [REF ист_справочник_козлова_1981 \h 97], між такими парками витримується відстань 400-600 м для виконання операцій по закінченню формування. Для деяких відправних колій до їх корисної довжини включається вказана відстань або її частка.

Таким чином, корисна довжина більшої частини колій приймально-відправних парків сортувальних станцій України відповідає довжині, яка рекомендується [37].

Конструкція стрілочних горловин парків сортувальних станцій. До конструкції горловин приймально-відправних парків або залізничних станцій висувають наступні вимоги [93]:

- забезпечення найбільшої пропускної здатності та числа одночасно виконуваних операцій при дотриманні умов безпеки їх виробництва;
- досягнення максимальної компактності і скорочення довжини горловин;

- забезпечення необхідного технологічного зв'язку між коліями та парками станції і взаємозамінності колій у парках;
- забезпечення виходів зі станції на вантажні пункти (фронти) підприємств і на під'їзні колії з можливо більшого числа приймально-відправних і сортувальних колій при найменшій числі пересічних маршрутів;
- при підході до станції декількох під'їзних і з'єднувальних колій горловини повинні забезпечувати паралельний прийом та відправлення поїздів цих напрямків;
- забезпечення рівномірного завантаження стрілочних переводів при найменшій їх числі на головних коліях станції.

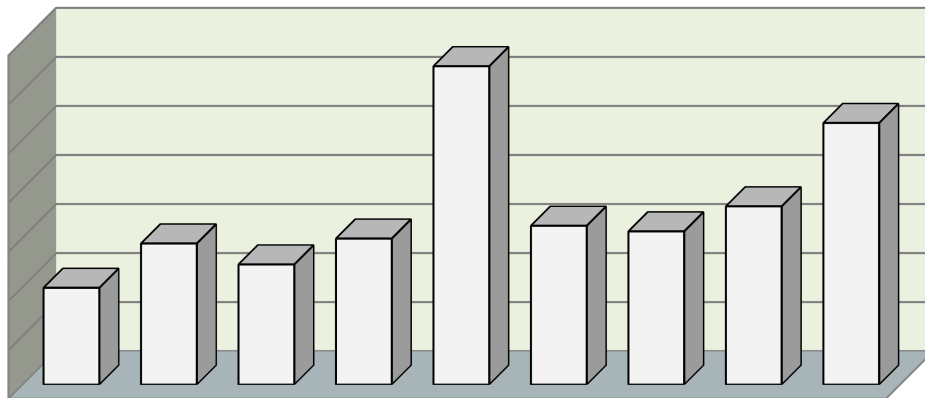
Безпека прийому та відправлення поїздів і маневрової роботи досягається застосуванням раціональних схем горловин з найменшим перетинанням головних колій станцій, устаткуванням станції обладнаннями електричної централізації і автоматики. На великих станціях приймально-відправні парки секціонують для здійснення паралельних операцій. Для скорочення довжини горловин у приймально-відправних парках застосовують перехресні з'їзди та перехресні стрілочні переводи.

В роботі виконаний аналіз конструкції горловин 60 приймально-відправних парків сортувальних станцій України. У відповідності до [REF ист_пособие_к_СНиП \h 93] конструкція стрілочних горловин повинна забезпечувати мінімальну дисперсію корисної довжини колій приймально-відправних парків з метою їх рівномірного зносу. Конструкції горловин існуючих парків не всі відповідають вказаній вимозі.

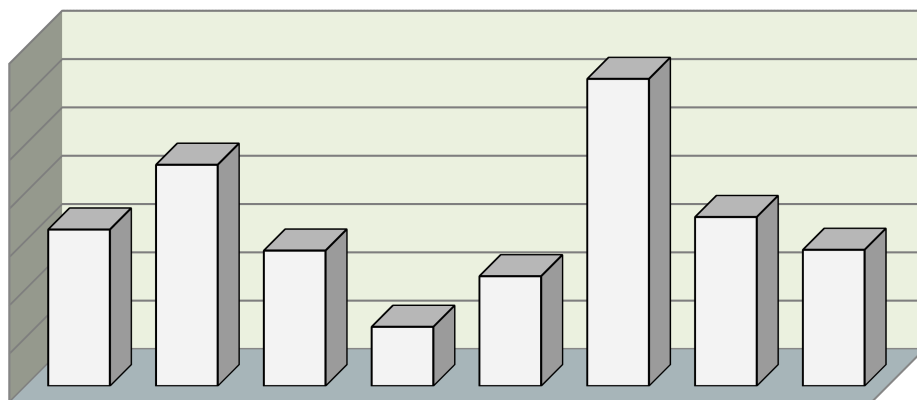
Розподіл середнього квадратичного відхилення корисної довжини від кількості колій m в приймально-відправних парках сортувальних станцій України наведений на рис. 2.4.

Як показує аналіз, при збільшенні кількості колій в приймально-відправних парках зростає значення величини σ , на що значним чином впливає конструкція стрілочних горловин парків. Цей факт є одним з недоліків існуючих стрілочних горловин парків сортувальних станцій України. Міру взаємозв'язку між кількістю колій m і σ визначено на основі кореляційного аналізу.

а)



б)



в)

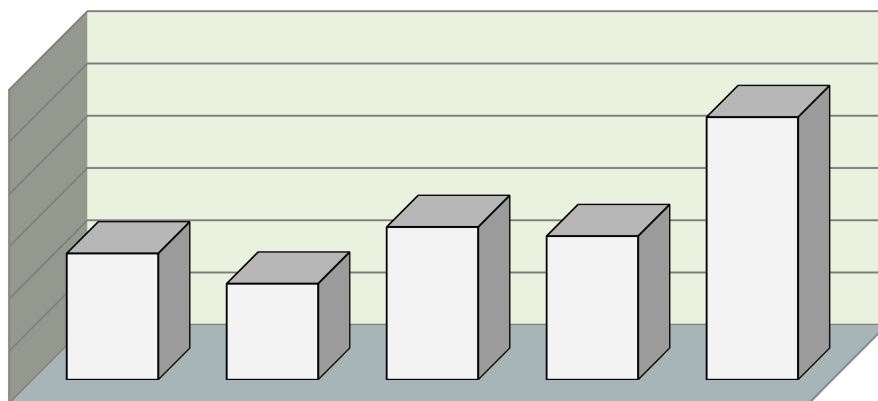


Рисунок 2.4 – Гістограми розподілу середнього квадратичного відхилення

корисної довжини колій :

а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках;

в) в парках відправлення

При розрахунках тісноти кореляційного зв'язку між випадковими величинами x та y їх середні арифметичні значення визначаються за допомогою формул

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.1)$$

де n – кількість спостережень;
 x_i, y_i – значення випадкових величин у окремих спостереженнях.
 Емпіричні дисперсії розраховуються за формулами

$$s_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (2.2)$$

Наведені параметри відповідно характеризують ознаки X та Y .
 Емпірична коваріація між значеннями x та y визначається за формулою

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (2.3)$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції розраховується за формулою

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \quad (2.4)$$

Сила зв'язку між випадковими величинами x та y може бути оцінена за шкалою Чеддока, яка наведена у табл. 2.1.

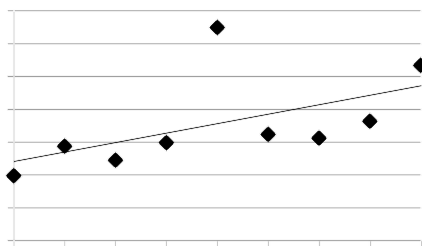
Таблиця 2.1 – Шкала Чеддока

Показник щільності зв'язку,	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Характеристика сили зв'язку	слабкий	помірний	помітний	значний	дуже значний

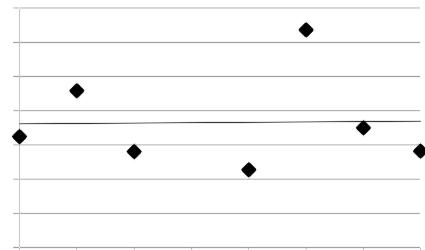
На рис. 2.5 наведені поля точок вказаних величин, а також коефіцієнти кореляції r .

Аналіз залежностей, приведених на рис. 2.5 показує, що величина має значний зв'язок із кількістю колій в парках відправлення і помітний для парків прийому. Зв'язку між i та m в приймально-відправних парках сортувальних станцій зовсім не існує, що безумовно є перевагою у порівнянні до інших категорій парків.

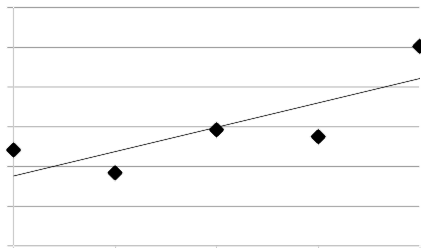
а)



б)



в)

Рисунок 2.5 – Залежність i від m :

а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках;
в) в парках відправлення

Таким чином, встановлено, що в парках прийому та відправлення на корисну довжину колій значно впливає їх кількість, а отже конструкція стрілочних горловин парків є не досконалою і потребує детального аналізу, дослідження і можливої реконструкції.

Рівень безпеки руху в стрілочних горловинах приймально-відправних парків при виконанні поїзної або маневрової роботи залежить від відповідності конструктивних елементів горловин значенням, які

рекомендуються в [37]. З метою перевірки сучасного стану конструкції колійного розвитку залізничних станцій в роботі був виконаний аналіз масштабних планів стрілочних горловин приймально-відправних парків двох крупних сортувальних станцій України Нижньодніпровськ-Вузол та Верхівцеве. Результати аналізу наведені на рис. 2.6.

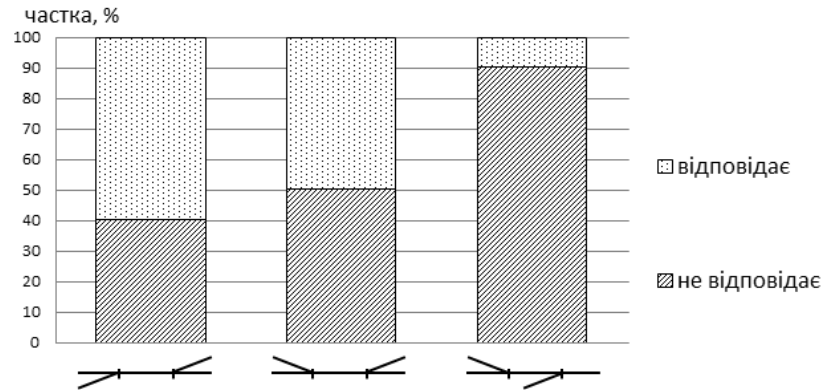


Рисунок 2.6 – Аналіз відповідності конструктивних вставок нормам проектування

Одним з факторів безпеки руху на станції є відокремлення маневрової роботи від поїзної. Аналіз конструкції колійного розвитку парків прийому показав, що у 29% парків прийому двосторонніх та 17% односторонніх сортувальних станцій відсутні локомотивні тупики. Вказані тупики призначені для виконання заїзду маневрового локомотиву під состав для розформування, а на односторонніх станціях ще і для прибирання поїзних локомотивів від составів, що прибувають з напрямку протилежного напрямку сортування. За відсутності локомотивних тупиків такі маневри виконують на головних коліях підходів, що примикають до парків прийому. Недосконалість конструкції колійного розвитку подібних парків прийому значно зменшую рівень безпеки на сортувальних станціях України.

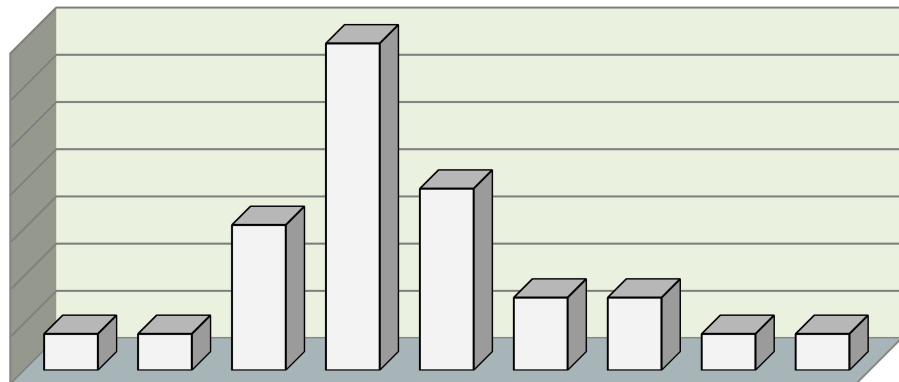
Аналіз кількості колій в приймально-відправних парках сортувальних станцій. Колійний розвиток станцій повинен відповідати обсягам виконуваної поїзної та місцевої роботи, забезпечувати безперешкодний прийом поїздів на станцію, можливість застосування прогресивних технологій. Від кількості станційних колій залежить простій вагонів на станції, затримка поїздів на підходах, собівартість перевезки вагонів. Станційні колії складають значну частину основних фондів станції і, відповідно, визначають величину податку на основні фонди.

Колійний розвиток сортувальних станцій, який забезпечує формування і розформування поїздів, об'єднаний у парки прийому, відправлення та приймально-відправні парки. В залежності від кількості поїздів різних категорій (транзитні, у розформування, свого формування тощо), які обслуговуються на сортувальних станціях, визначається потужність колійного розвитку приймально-відправних парків.

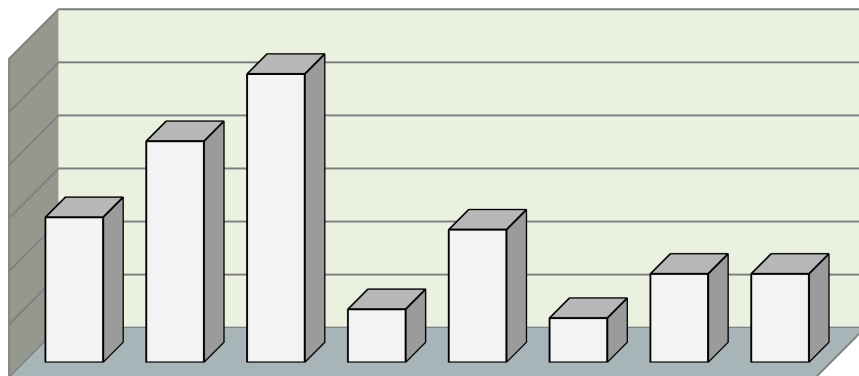
В роботі виконано аналіз розподілу кількості колій в приймально-відправних парках сортувальних станцій України. Необхідно зазначити, що діапазон коливань кількості колій станційних парків достатньо широкий – від 3 до 18 колій. На рис. 2.7 приведені гістограми розподілу кількості колій в приймально-відправних парках сортувальних станцій.

Як показав аналіз широкодіапазонними по відношенню до кількості колій в парках є парки прийому – від 4 до 12 колій. Цей факт є цілком закономірним. Парки прийому призначені для підготовки составів до розформування на сортувальній гірці, яка є «вузьким» місцем у технологічному процесі обслуговування транзитного вагону з переробкою. Підтвердженням тому є робота [REF ист_Яновский_Результ_анализа_состояния \h 139], в якій автори вказують, що рівень механізації сортувальних гірок недостатній – лише 50% оснащені засобами механізації. У цьому зв'язку завантаженість сортувальних гірок є значною, що викликає додатковий простій составів в парках прийому в очікуванні розформування і, як слідство, збільшення колій в парках прийому.

а)



б)



в)

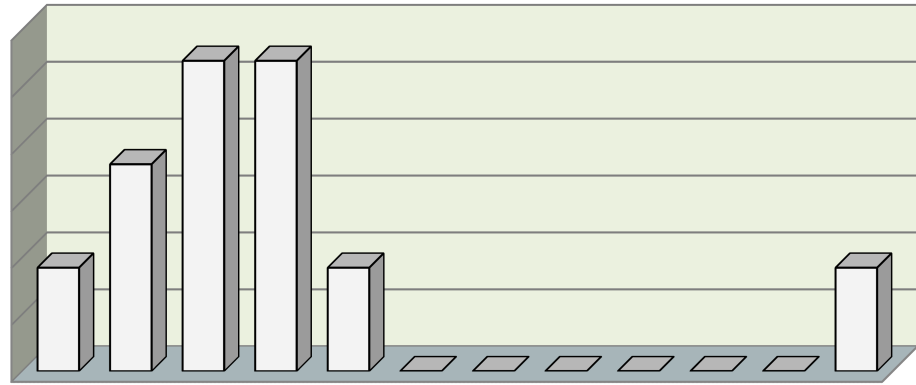


Рисунок 2.7 – Гістограми розподілу кількості колій:
 а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках;
 в) в парках відправлення

Розвинутими з точки зору колійного розвитку є парки відправлення, середня кількість колій в яких складає 9-10 одиниць. Така потужність колійного розвитку обумовлена додатковими простоями готових составів в очікуванні поїзних локомотивів.

Таким чином, потужність колійного розвитку приймально-відправних парків сортувальних станцій України є значною і у ствердженні [REF ист_Яновский_Результ_анализа_состояния \h 139] достатньою для забезпечення існуючих обсягів перевезень. Інше питання стосується недостатньої потужності вагонопотоків, що спричиняє неінтенсивне використання колійного розвитку та іншого обладнання на більшості станцій. Це обумовлює високу собівартість відправленого вагона за рахунок витрат на утримання інфраструктурного комплексу.

Аналіз сучасного стану вантажних станцій

У великих містах до складу залізничних вузлів, як правило, входять вантажні станції загального користування. Ці станції мають великі механізовані транспортно-складські комплекси, на яких в основному зосереджена переробка тарно-штучних, великовагових вантажів і контейнерів. Вони мають значний колійний розвиток, що включає приймально-відправні, сортувальні і сортувально-відправні колії. Такі станції обслуговують одержувачів і відправників вантажів і, як правило, проводять більшу роботу з подачі і прибирання вагонів з під'їзних колій, які примикають.

Найважливіший показник експлуатаційної діяльності вантажних станцій – час простою місцевого вагона під однією вантажною операцією. На більшості вантажних станцій загального користування вагони простоюють 40 годин і більш. Поелементний аналіз їх простою показує, що більше ніж дві третини часу простою припадає на міжопераційні інтервали, тобто є непродуктивним. Це пояснюється в основному відсутністю раціональних технологічних схем роботи таких станцій. Їх розвиток і реконструкція часто не передбачають

удосконалення технології переробки місцевого вагонопотоку і вантажної роботи на місцях загального користування.

В сучасних умовах вантажні станції загального користування в основному розташовані на наскрізних лініях, найчастіше з інтенсивним транзитним і пасажирським рухом. Вони розміщені як у містах з населенням в 1 млн. і більш, так і в містах з населенням від 500 тисяч до мільйона в різних регіонах нашої країни з різними видами промислового виробництва і економічним потенціалом міст, що обслуговуються. Аналіз схем таких станцій показав наступне. До 50 % станцій найбільших міст ведуть значну місцеву роботу. Для них характерно потужний колійний розвиток з угрупованням колій у самотійні парки. На таких вантажних станціях парки колій, як правило, розташовані паралельно, а транспортно-складський комплекс розміщений або паралельно комплексу парків (у цьому випадку на ряді станцій частина колій транспортно-складського комплексу наскрізні) або, що зустрічається значно рідше, послідовно відносно одного з основних парків і має тупикову схему колійного розвитку.

Для інших станцій, приблизно з однаковим обсягом транзитної і місцевої роботи, характерна наявність об'єднаних парків колій із крайнім розташуванням головних колій і паралельним розташуванням тупикового транспортно-складського комплексу стосовно об'єданого парку з боку, протилежної пасажирському будинку.

Найбільш характерними категоріями колій на вантажних станціях є приймально-відправні, сортувальні і сортувально-відправні колії.

Корисна довжина приймально-відправних колій розподілена в інтервалі 100 – 1200 м, причому максимум щільності розподілу довжини припадає на інтервал 800 – 900 м, 28 % приймально-відправних колій дозволяють забезпечити приймання і відправлення поїздів установленої довжини для передаточних поїздів (850 м або 53 фізичних вагона). Наявність великої кількості коротких приймально-відправних колій пояснюється історичним розвитком таких станцій і малою довжиною передаточних поїздів, що обертаються між сортувальними і вантажними станціями вузлів.

Близько 40% сортувальних колій мають корисну довжину 300 – 500 м. Мала довжина колій обумовлена довжиною вантажно-розвантажувальних фронтів.

Основне призначення сортувально-відправних колій визначає довжину колій цієї категорії. Майже половина цих колій має довжину в інтервалі 800 – 900 м, що дозволяє вантажним станціям загального користування, які мають сортувально-відправні колії, накопичувати наскрізні, дільничні, вивізні поїзди та поїзди інших категорій установленої довжини. Тому не випадково максимум довжини як приймально-відправних, так і сортувально-відправних колій припадає на інтервал 800 – 900 м. На відміну від довжини приймально-відправних колій, довжина сортувально-відправних колій не буває менше 400 м, а 90% таких колій мають довжину 600 м і більше.

У цей час на вантажних станціях найбільших міст близько 57 % приймально-відправних і 70 % сортувально-відправних колій мають довжину 700 – 900 м, 40% сортувальних колій – 300 – 500 м, що дозволяє приймати і

відправляти місцеві поїзди приблизно з 50 вагонів. Діаграми розподілу корисної довжини колій вантажних станцій та її дисперсія наведена на рис. 2.8.

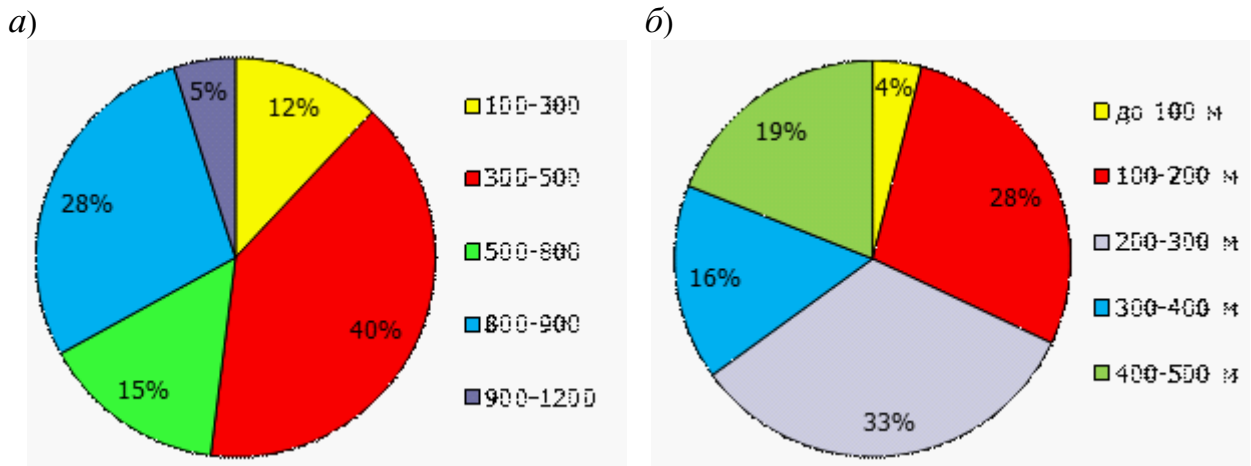


Рисунок 2.8 – Діаграми розподілу:
а) корисної довжини колій на вантажних станціях; б) дисперсії корисної довжини колій

Необхідно зазначити, що на переважній кількості вантажних станцій в парках є колії одного призначення різної корисної довжини. Розкид їх довжин може досягати 500 м для приймально-відправних колій 300 м для сортувально-відправних і сортувальних колій. Це пояснюється структурою парків і характерними рисами стрілочних вулиць, а також спеціалізацією колій парків (у першу чергу в сортувальному і сортувально-відправному парках) по категоріях поїздів і групам призначень вагонів. Так, для приймання і відправлення передаточних поїздів у вузлах використовуються порівняно короткі колії, а в приймально-відправних парках для організації транзитного руху і у сортувально-відправних парках для формування поїзд на ділянки – більш довгі колії.

Деякі вантажні станції мають об'єднані парки із числом колій, як правило, не більш восьми і довжиною, необхідної для забезпечення роботи з поїздами, що обертаються на ділянці. Ріст вагонообігу на під'їзних коліях даної групи вантажних станцій веде до збільшення числа приймально-відправних колій. Сортувальні колії на таких станціях, як правило, відсутні. При близькому розташуванні сортувальної станції підбір вагонів по вантажно-розвантажувальних фронтах вантажної станції ведеться на сортувальній станції. Іноді є сортувальні колії на місцях загального користування вантажних станцій. У більшості випадків підбір і накопичення вагонів ведуть на одним-трьох коліях об'єданого парку або в процесі розформування в якості сортувальних використовують вільні приймально-відправні колії або ж їх вільні кінці.

Значним недоліком в колійному господарстві вантажних станцій є значний зніс колій, внаслідок чого спостерігається суттєве зниження рівня безпеки руху. В дисертаційній роботі виконано аналіз близько 40 станцій, які належать ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». В результаті досліджень зроблені наступні висновки:

- значна частина колійного розвитку знаходиться у незадовільному стані, у зв'язку з чим на певних ділянках колій встановлені обмеження по

- швидкості руху рухомого складу;
- спостерігається недостатність кількості колій у парках станцій при існуючих обсягах роботи.

Результати досліджень наведені на рис. 2.9.

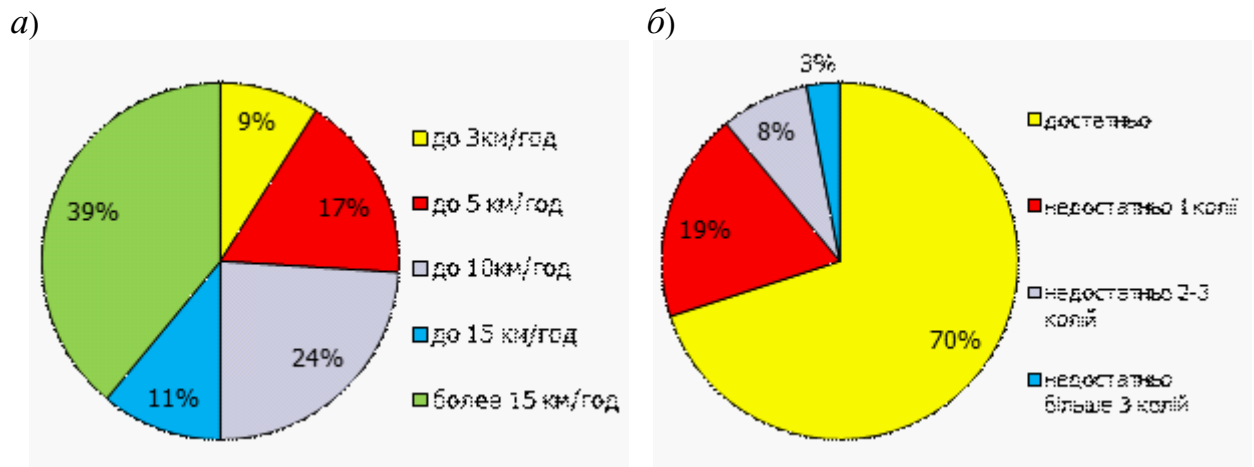


Рисунок 2.9 – Діаграми розподілу:

а) обмежень по швидкості руху; б) відповідності наявної кількості колій існуючим обсягам роботи

В сучасних умовах суттєво змінилася структура вагонопотоку, проміжні станції переорієнтовано на прикордонні, припортові станції працюють переважно на експорт. У цьому зв'язку виникає дефіцит у колійному розвитку вказаних станцій для переробки існуючих обсягів перевезень. Разом з тим на сортувальних і дільничних станціях спостерігається надлишок колійного розвитку. Таким чином, ситуація, що склалася, обумовлює прагнення залізниць до концентрації сортувальної роботи на сортувальних і дільничних станціях і удосконалення технічного оснащення вантажних і прикордонних станцій.

Висновки по розділу 2

У другому розділі вирішено наукову задачу дослідження технічного забезпечення залізничних станцій України. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

Технічне забезпечення залізничних станцій та схеми їх колійного розвитку на залізницях України склалися в основному історично. Їх параметри суттєво відрізняються від типових рішень та норм проектування.

Виявлені особливості технічного забезпечення станцій, схем колійного розвитку їх приймально-відправних парків та довжин колій. Цей факт необхідно враховувати при організації реконструктивних заходів.

Дослідження кількості колій приймально-відправних парках показали її надлишок на сортувальних станціях, що забезпечує додатковий резерв їх переробної спроможності, але призводить до значних витрат на утримання колій. Разом з тим, на більшості вантажних станцій України спостерігається дефіцит у наявній кількості приймально-відправних колій, що негативно відображається на ефективності їх функціонування.

Аналіз техніко-технологічних параметрів основних технічних станцій України виявив суттєві недоліки в їх конструкції, що в деяких випадках спричиняють значне зниження ефективності в роботі станцій та підвищує собівартість перевезень. Така ситуація потребує виконання комплексних досліджень щодо необхідності удосконалення як конструкції так і технології роботи станцій.

РОЗДІЛ АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ І КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ ЇХ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ

Пропускна і переробна спроможність залізничних станцій та вузлів, ефективність їх експлуатації на пряму залежать від оптимальності рішень, прийнятих при проектуванні. Значне підвищення якості проектування, збільшення продуктивності праці проектувальників може бути досягнуте в результаті впровадження нової інформаційної технології, основою якої є система автоматизованого проектування. Однією з основних проблем теорії САПР є розробка ефективних математичних моделей проєктованих об'єктів і алгоритмів виконання проєктних процедур. Це завдання є особливо важливим для проектування залізничних станцій і вузлів, що пояснюється високою вартістю їх будівництва і реконструкції, тривалим строком експлуатації, неможливістю побудови фізичних моделей.

При проектуванні залізничних станцій та вузлів найбільш масовими і трудомісткими є розрахунки з'єднань колій, що обумовило розробку відповідного програмного забезпечення і використання ЕОМ для виконання цих розрахунків.

У даній задачі існує дві основні проблеми: формалізація схеми станції та її вихідних параметрів для вводу в ЕОМ і розробка алгоритму аналізу моделі для розрахунків вихідних параметрів.

Питанням формалізації схем станцій для автоматизації розрахунків і проектування присвячена досить велика кількість наукових робіт [3, 9, 31, 53, 131]. У вказаних роботах розроблені методи представлення схем станцій у вигляді певних структур, що містять інформацію про план станції і її елементів. Необхідно відзначити в даних роботах системний підхід до проектування, що дозволяє виконати розрахунки координат точок станції, побудову її масштабного плану, а також оцінку технологічних показників на основі імітаційного моделювання. До недоліків робіт слід віднести високу складність і трудомісткість підготовки і вводу в ЕОМ формалізованих даних про схему станції.

У роботах [9, 10] запропонована система структурно-параметричних моделей станцій (вхідна, внутрішня і вихідна моделі), а також алгоритми виконання проєктних процедур, які дозволяють автоматизувати процес синтезу колійного розвитку станцій на всіх його етапах. В основу моделей покладено представлення схем станцій у вигляді орієнтованих графів. При цьому у вказаних роботах не вирішено питання формалізації моделей великих станцій, що складаються з декількох парків, у тому числі розташованих на кривих.

У цьому зв'язку в даному розділі сформульовані наступні задачі для їх подальшого вирішення:

- удосконалення структурно-параметричних моделей, запропонованих в [9, 10], з метою формалізації плавнів колійного розвитку великих

- залізничних станцій, а також станцій, які розташовані в кривих ділянках;
- розробка методів автоматизованого синтезу скорочених з'єднань та спеціалізованих стрілочних вулиць;
 - розробка методу комплексної оцінки планів колійного розвитку станцій.

Загальні принципи формування системи структурно-параметричних моделей станцій

В основі процедур автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій покладені геометричні моделі, які базуються на зважених орієнтованих графах [9, 10]. Найбільш складну структуру в системі графічної моделі має внутрішня модель станції, яка складається з канонічної моделі і моделі її горизонтальних колій.

Канонічна модель відображає склад елементів станції (колії, стрілочні переводи, з'єднувальні криві тощо), їх взаємне розташування та взаємозв'язок, а також містить данні про форму та геометричні розміри відповідних елементів.

Канонічна модель станції являє собою орієнтований граф $G=(V, E)$, у якому виділені три підмножини вершини: V_s , V_c та V_w . Вершини $v_i \in V_s$ є центрами стрілочних переводів (ЦП), вершини $v_j \in V_c$ – вершинами кутів повороту кривих (ВК), вершини $v_k \in V_w$ – кінцями колій (КК). Дуга графа $e=(v, u)$ зазначається упорядкованою парою, яка складається з початкової v та кінцевої u вершин, її напрямок задано від вершини v до вершини u . Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва праворуч (див. рис. 3.1).

Орієнтований граф станції в ЕОМ представляється списками інцидентності [60], які містять для кожної вершини $v \in V$ список вершин u таких, що $v \rightarrow u$.

Для розділення множини вершин графа G на підмножини V_s , V_c , V_w кожному з них виділені групи номерів, які не перетинаються: $N_s=\{1, 2, \dots, 99\}$, $N_w=\{101, 102, \dots, 199\}$, $N_c=\{201, 202, \dots, 299\}$.

Орграф $G=(V, E)$ є зваженим, кожна вершина підмножин V_s , V_c , V_w характеризується деяким вектором параметрів (відповідно $\mathbf{X}_s$, $\mathbf{X}_c$, $\mathbf{X}_w$). Зокрема, для вершин $v_i \in V_s$ повинні бути задані: номер колії w , тип стрілочного перевodu τ_c , його напрямок S та, при необхідності, довжини прямих вставок f_p , f_b до вершин, суміжних з v_i ($\mathbf{X}_s=\{w, \tau_c, S, f_p, f_b\}$).

Для вершин $v_i \in V_c$ повинні бути задані номер колії w , радіус кривої R , при необхідності довжина прямої вставки f до вершини, суміжної з v_i , а також, в окремих випадках, кут повороту ($\mathbf{X}_c=\{w, R, f, \varphi\}$).

Нарешті, для вершин $v_i \in V_w$ (КК) може задаватися відстань f до вершини, суміжної з v_i , у випадках, коли довжина відповідної колії задана в схемі станції ($\mathbf{X}_w=\{w, f\}$).

Горизонтальні колії станції представлені вершинами деревоподібного графа $D=(W, H)$, ребрам якого поставлені у відповідність задані між колійні

відстані.

Для прикладу на рис. 3.1 зображені схема станції, її орієнтований граф і канонічна модель.

Необхідно помітити, що система структурно-параметричних моделей [REF ист_Бобр_структ_модели_пут_разв \h 9, 10] має недолік, пов'язаний з неможливістю для деяких вершин $v_i \in v_s$ орграфа G визначення кута нахилу суміжних відрізків. До таких вершин відносяться вершини пошерстних стрілочних переводів, які мають одну вихідну дугу і дві вхідні

. Тому при вводі внутрішньої моделі в списках інцидентності необхідно кінцеві вершини дуг, що заходять у такі ЦП по прямій колії, позначити знаком «+». Наприклад, для ЦП 13 (див. рис. 3.1, а) кінцева вершина 13 дуги 101-13 повинна бути позначена знаком «+»; для ЦП 2 знаком «+» повинна бути позначена кінцева вершина дуги 4-2.

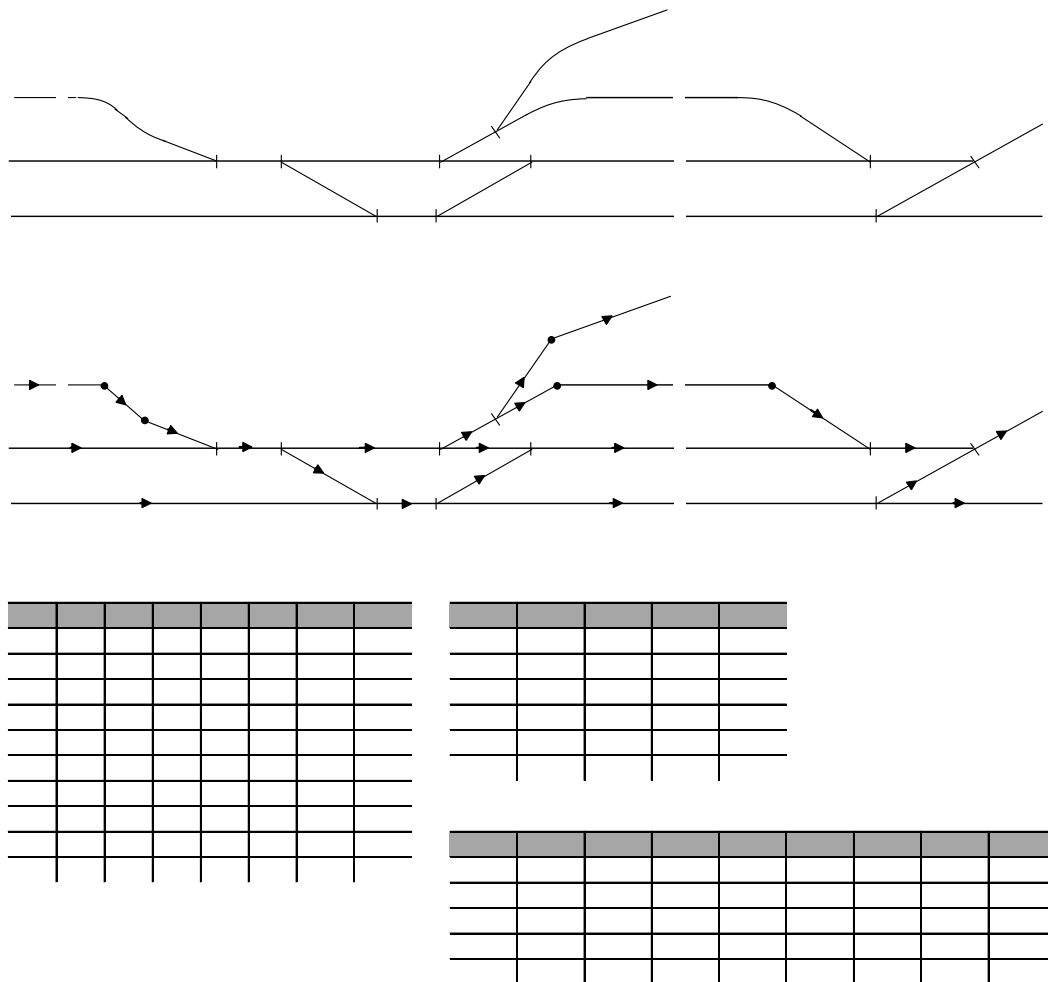


Рисунок 3.1 – Система геометричної моделі станції:

а) схема станції; б) орграф станції $G=(V, E)$;

в) канонічна модель

Процедура розрахунку відстаней між вершинами станції (ЦП, ВК, КК) та їх координат виконується за допомогою канонічної моделі станції [9].

Формалізація і автоматизований синтез скорочених з'єднань

Проектування з'єднань паралельних колій при великих міжколійях здійснюють із укладанням додаткових кривих, що дозволяють зменшити загальну довжину з'єднань (скорочені з'єднання, з'їзди, вулиці, а також горловини різноманітної конструкції). Основною задачею при проектуванні скорочених з'єднань є розрахунки кутів повороту додаткових кривих. У зв'язку з цим була розроблена універсальна методика розрахунків будь-яких скорочених з'єднань із зворотними кривими, що ґрунтується на відомому методі розрахунків скорочених вулиць [104]. Метод заснований на обчисленні сум проекцій елементів розрахункової колії між вершинами протилежних кривих на горизонтальні і вертикальні осі відповідної системи координат.

Методику розрахунків невідомих кутів представлено на прикладі стрілочної горловини, наведеної на рис. 3.2. У даній горловині для скорочення її довжини покладена додаткова крива 201 з кутом повороту β і зворотні їй криві 203–207, відповідно, на коліях 3–7. Для визначення значення кута β повинен бути обраний розрахунковий шлях, що з'єднує вершину 201 з вершиною однієї із протилежних кривих. На рис. 3.3 для прикладу наведено розрахунковий шлях між вершинами 201–207.

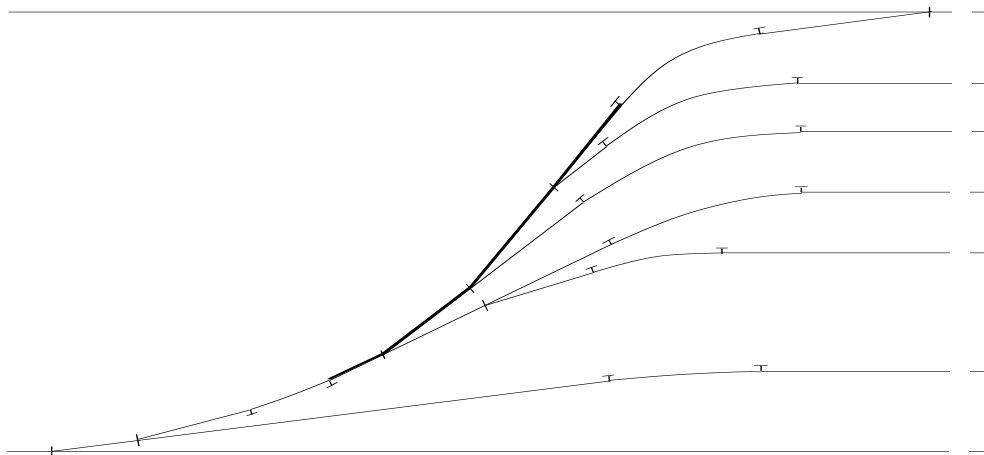


Рисунок 3.2 – Схема стрілочної горловини із зворотними кривими

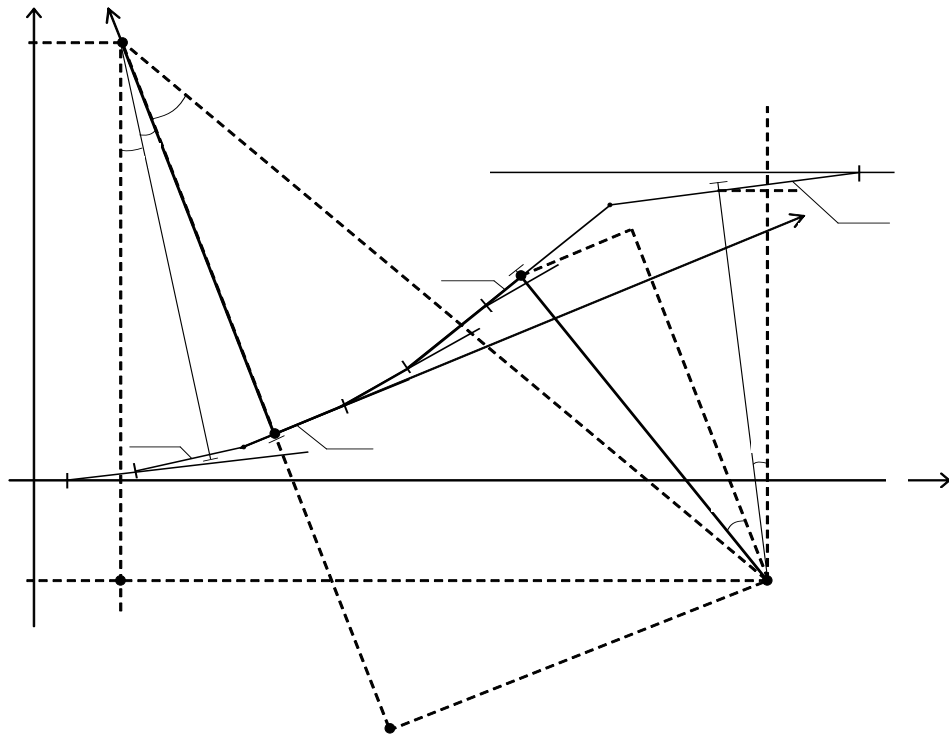


Рисунок 3.3 – Схема розрахункового шляху між вершинами 201-207

На даному рисунку розрахунковий шлях 201–207 побудований в основній системі координат XOY ; крім того, введена додаткова система xOy , початок якої збігається з кінцем кривої 201, а вісь абсцис проходить через відрізок 201–3 (відрізок, що виходить із вершини невідомого кута). У додатковій системі xOy , на відміну від основної XOY , відомі кути нахилу елементів розрахункового шляху до осей координат. Це дозволяє знайти суму проекцій елементів розрахункової колії на осі координат, які необхідні для визначення кута β .

Невідомий кут β можна знайти з $\triangle O_1AO_2$ (рис.3.3)

(3.1)

Величину кута φ , у свою чергу, можна визначити з $\triangle O_1BO_2$

(3.2)

Сторони трикутника BO_1 і BO_2 дорівнюють сумам проекцій ламаної лінії $O_1-C-3-5-7-D-O_2$, відповідно, на осі $Oy(S_y)$ і $Ox(S_x)$

(3.3)

де l_i, θ_i – відповідно, довжина і кут нахилу до осі абсцис елементів розрахункового шляху;

n – кількість елементів;

R, r – радіуси, відповідно, початкової і кінцевої кривих на розрахунковому шляху.

У виразах(3.3) значення θ_i приймають з урахуванням знаку.

Значення кута φ (3.2) використовується для розрахунків гіпотенузи $O_1 O_2$ в $\Delta O_1 B O_2$, необхідної при визначенні кута β (3.1)

(3.4)

Катет AO_1 в (3.1) може бути визначений як різниця ординат точок O_1 і O_2 в основній системі координат

(3.5)

Ординати $Y(O_1)$ і $Y(O_2)$ знаходять по встановлених ординатах горизонтальних колій, з якими зв'язані, відповідно, точки O_1 і O_2 ланцюжками відрізків і кутом нахилу до осі OX . Для розглянутого прикладу вказані ординати визначаються як

(3.6)

Після розрахунків невідомого кута β інші параметри горловини визначаються звичайним чином.

Для завдання розрахункової колії необхідно в канонічній моделі горловини в рядку вершини 201 замість невідомого значення кута α вказати номер кінцевої вершини розрахункової колії; у розглянутому прикладі цей рядок буде виглядати як

N	NP	NB	W	R	LP	α°	α'	α''
201	3	0	0	200	0	207		

Загальний вид моделі горловини, наведеної на рис. 3.2, і результати її розрахунків наведені в додатку Б.

Формалізація і автоматизований синтез спеціалізованих стрілочних вулиць

Конструкція стрілочних вулиць визначається схемою розміщення окремих стрілочних переводів і кутом нахилу вулиці до осі основної колії. Основними типами стрілочних вулиць є найпростіші (під кутом хрестовини та на основній колії), комбіновані, скорочені, вулиці під подвійним кутом хрестовини і віяльні.

При розрахунках стрілочних вулиць звичайно відомі відстані e між осями паралельних колій, радіуси R з'єднувальних кривих, параметри стрілочних переводів, а також нормативні дані про вставки між окремими елементами вулиці (стрілочними переводами, з'єднувальними кривими).

Розрахунок найпростіших і комбінованих вулиць звичайно не викликає труднощів і може виконуватися за загальною методикою, яка викладена вище. При проектуванні інших типів вулиць (скорочених, під подвійним кутом хрестовини і віяльних) використовуються спеціалізовані методи розрахунків, які розглядаються нижче.

Скорочені стрілочні вулиці. Стрілочна вулиця даного типу має збільшений нахил (кут нахилу β), що утворюється за рахунок укладання додаткової кривої після першого стрілочного переводу (див. рис. 3.4). Це дозволяє зробити її більш короткою, у порівнянні з найпростішою вулицею, і скоротити довжину маневрових рейсів.

Основними розрахунковими параметрами скорочених вулиць є кут нахилу β , величина якого залежить від відстаней d між коліями, що примикають, а також вставки f між стрілочними переводами і кривими.

Величина кута β , як відомо [104], залежить від мінімальної міжколійї

(3.7)

Тут вставка d приймається у відповідності зі схемою 3 попутної укладки [97].

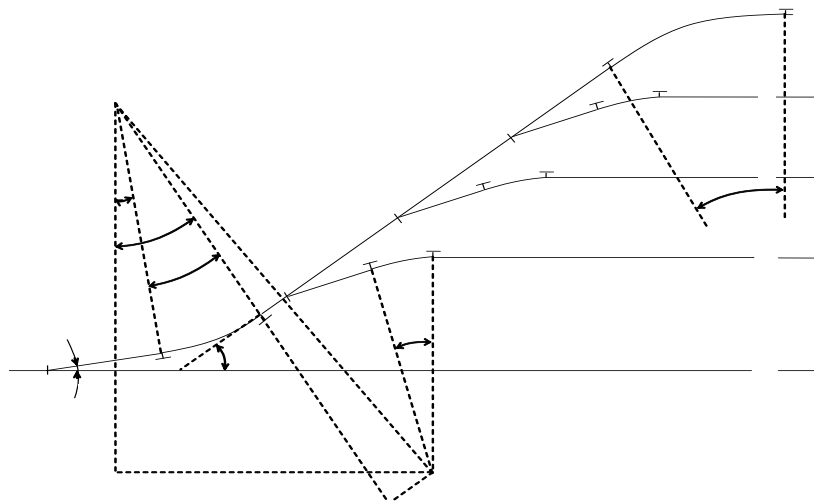


Рисунок 3.4 – Скорочена стрілочна вулиця

При міжколійях доцільно збільшувати вставку між відповідними стрілочними переходами на вулиці для того, щоб не збільшувати вставки на коліях, що примикають, і не скорочувати їхню прямолінійну частину

(3.8)

При розрахованому значенні кута β (3.7) необхідна величина першої міжколійї e_1 (див. рис. 3.5, а) визначається з умови забезпечення мінімальних величин вставок k на основній колії ([97], табл. 16.51) і на боковій колії ([97], табл. 16.52).

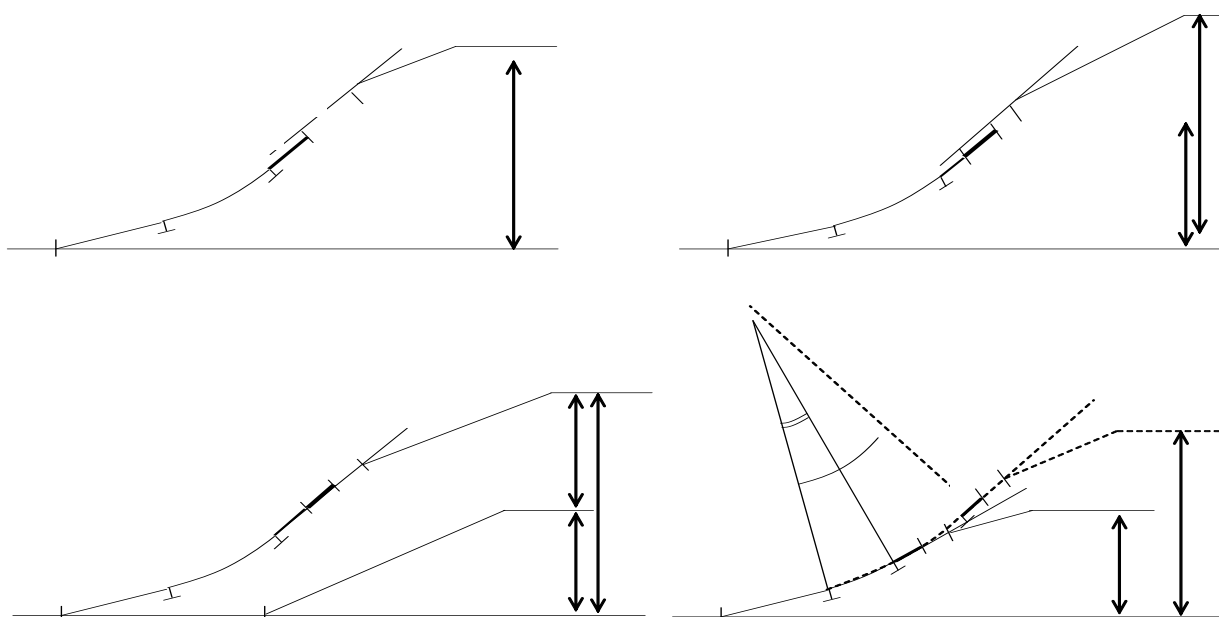


Рисунок 3.5 – Вибір першої міжколійї в скорочених вулицях

Для наведеного прикладу при β м зазначені параметри відповідно рівні e_1 і e_2 м; результати розрахунків наведені в додатку В (табл. В.1).

Необхідно відмітити, що потрібна величина першого міжколійя e_1 , як правило, не збігається з розрахунковим значенням e_{1p} . Якщо при цьому

величина першого міжколійя достатньо велика $e_1 \geq e_{1p}$, то в цьому випадку необхідно змістити стрілочний перевід другої колії уздовж вулиці, збільшивши вставку 201–2 (див. рис. 3.5, б). Це дозволить зберегти мінімальну вставку 2–202 (k_0) і за рахунок цього максимізувати прямолінійну частину колії 2.

Якщо ж величина першого міжколійя мала $e_1 < e_{1p}$, то в цьому випадку можливі два рішення. Перше полягає в тому, щоб перекласти стрілочний перевід другої колії на основну колію 1 (див. рис. 3.5, в); у цьому випадку схема розрахунків стане такою ж, як у першому випадку при

Другий розв'язок полягає в тому, щоб зменшити значення кута β у порівнянні з розрахунком 3.7. У цьому випадку величина встановлюється такою, щоб сума проєкцій елементів розрахункової колії 2 на вертикальну вісь рівнялася e_1 (див. рис. 3.5, з).

При будь-якому значенні кута нахилу вулиці β необхідно перевірити величину вставки f_n на останній колії (див. рис. 3.6)

(3.9)

Якщо дана умова не виконується, то необхідно або збільшити міжколійю e_{n-1} , або зменшити кут β , або скоротити вставки між стрілочними переводами вулиці, щоб змістити стрілку і збільшити вставки f_{n-1}, f_n .

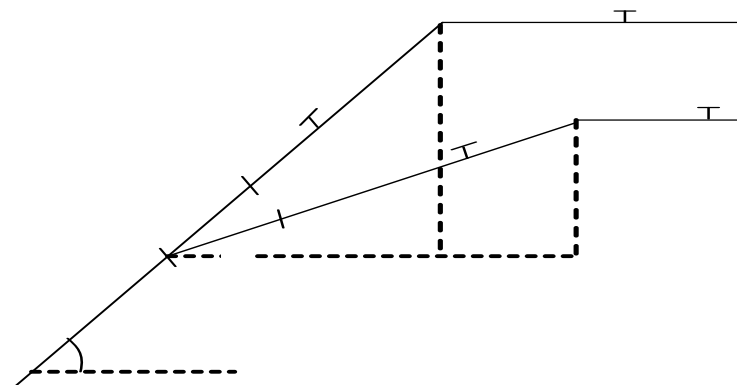


Рисунок 3.6 – Схема розрахунків вставки на останній колії скороченої вулиці

Нижче розглянуті особливості канонічної моделі для розрахунків скорочених вулиць при різних співвідношеннях між їхніми параметрами.

Якщо перша міжколійя e_1 перевищує розрахункове значення e_{1p} , то в цьому випадку величина кута нахилу вулиці β обмежена зверху і

визначається мінімальною відстанню між осями суміжних колій і прийнятою конструктивною вставкою між стрілочними переводами вулиці, що ведуть на ці колії (3.7). Отже, при цьому кут β не можна знайти по елементах розрахункового шляху 1–201–2–202, оскільки один з них (201–2) невідомий. Тому для автоматизованого розрахунків такої стрілочної вулиці необхідно в її канонічній моделі вказати в явному виді величину вставки 201–2 і номер другої вершини (202), що визначає розрахунковий шлях 1–201–2–202, по елементах якого і буде визначене значення кута β . Нижче наведений відповідний рядок моделі вулиці:

N	NP	NB	W	R	LP	A
201	2	0	0	200	24.8145	202

При цьому вставки між стрілочними переводами вулиці (2–3 і 3–4) можуть бути задані явно (м), однак краще, щоб вони були розраховані автоматично за результатами обчислення кута, тобто повинно бути задано. Останній підхід особливо зручний, якщо величина міжколій різна, і, відповідно, вставки на вулиці також повинні бути різними; тому дані про стрілки, які розташовані на вулиці, представляються як

N	NP	NB	W	S	T	LP	LB
2	3	202	0	1	0	9999	

Необхідно відмітити, що відсутність у даному рядку значення LP буде сприйнято як; при цьому вставка 2–3 буде віднесено до схеми 4, що приведе до помилкового результату розрахунків.

Інша можливість представлення розрахункового шляху в моделі полягає в тому, щоб указати в явному виді кут

N	NP	NB	W	R	LP	α°	α'	α''
201	2	0	0	200	9999	1	49	34

(3.10)

При цьому невідома вставка 201–2 повинна бути обов'язково замінена кодом 9999; у цьому випадку вона буде розрахована автоматично з умови забезпечення мінімальної вставки 2–202 на боковій колії стрілки 2. Другий підхід є кращим, оскільки розрахунки кута β (3.7) простіше, чим вставки 201–2.

Повний вид внутрішньої моделі для розрахунків скороченої стрілочної вулиці при β і результати автоматизованого розрахунку наведені в додатку В (табл. В.2).

У випадку, коли перше міжколійя e_1 менше розрахункового значення e_{1p} , можливі два різні рішення. Перший з них припускає перенесення стрілочного перевodu для другої колії на основну колію; якщо при цьому міжколійя e_1 перевищить розрахункове значення, то розрахунки вулиці здійснюється так само, як було зазначено вище. Другий розв'язок передбачає зменшення кута нахилу вулиці до величини, яка допускає укладання всіх елементів розрахункового шляху 1–201–2–202. У цьому випадку в канонічній моделі стрілочної вулиці для вершини невідомого кута необхідно вказати кінцеву вершину розрахункового шляху (202), по елементах якого буде визначено значення цього кута. Для визначення вставки 201–2 необхідно задати β ; при цьому в розрахунках буде прийнято мінімальне значення вказаної вставки, що дорівнює k :

N	NP	NB	W	R	LP	A
	2	0	0	200	0	202

(3.11)

Необхідно відмітити, що при зменшенні кута β проти розрахункового (3.7), потрібно відповідно збільшити і вставки між стрілочними переводами вулиці, щоб не допустити скорочення довжини горизонтальної частини колій, що примикають; вказані вставки розраховуються автоматично при завданні в моделі для відповідних стрілок значень β . Модель для розрахунку

скороченої стрілочної вулиці при β і його результати наведені в додатку В (табл. В.3).

При виконанні практичних розрахунків на першому етапі, поки невідоме співвідношення між заданою e_1 і розрахунковою e_{1p} величинами першої міжколійї, необхідно обчислити значення кута β (3.7) і виконати розрахунки вулиці, використовуючи форму вистави моделі (3.10). Подальші дії залежать від результатів аналізу розрахованої величини вставки f_{201-2} .

Якщо $f_{201-2} \leq 0$, то це значить, що $\beta \geq \beta_{\text{кр}}$, і розрахунки на цьому закінчуються; а якщо ні, то необхідно знайти зменшене значення кута β , при якому $f_{201-2} = 0$. Із цією метою необхідно повторити розрахунки вулиці, замінивши рядок моделі (3.10) на (3.11).

Таким чином, розроблена геометрична модель скороченої вулиці дозволяє практично повністю автоматизувати її розрахунки при будь-яких можливих комбінаціях її параметрів.

Стрілочні вулиці під двійним кутом хрестовини. Стрілочна вулиця під кутом 2α дозволяє скоротити довжину стрілочної зони за рахунок збільшеного нахилу до основної колії, зменшує довжину маневрових рейсів при переміщеннях з однієї колії на інший, а також

забезпечує кращу видимість і зручне обслуговування віддалених стрілок (див . рис. 3.7, а). Колії, що примикають, крім останнього, поєднуються в пари, так що число стрілочних переводів на вулиці скорочується вдвічі. Перше міжколійя доводиться робити збільшене для укладання головної стрілки вулиці. У випадках, коли перше міжколійя повинне бути однаковим з іншими , або якщо в парку непарне число колій, то конструкція вулиці може бути дещо змінена за рахунок примикання другої колії до основної колії 1 (див. рис. 3.7, б).

При розрахунку вулиць відомі відстані e_i , $i = 1, 2, \dots, n-1$ між осями колій, радіуси R_i з'єднувальних кривих, а також конструктивні вставки d_i , які укладають при з'єднанні стрілочних переводів вулиці і переводів, які з'єднують пари колій, що примикають (див. рис. 3.7, а, відрізки 2–3, 4–5 і 6–7). Вказані пари стрілочних переводів укладають за схемою 3 попутного укладання, так що вставки d_{2-3} , d_{4-5} , d_{6-7} повинні бути однаковими.

Розрахунку підлягають вставки вулиці 2-4, 4-6, а також вставка 1-2; крім того, як звичайно, повинні бути розраховані параметри з'єднувальних кривих, а також координати центрів стрілочних переводів і вершин кутів повороту кривих.

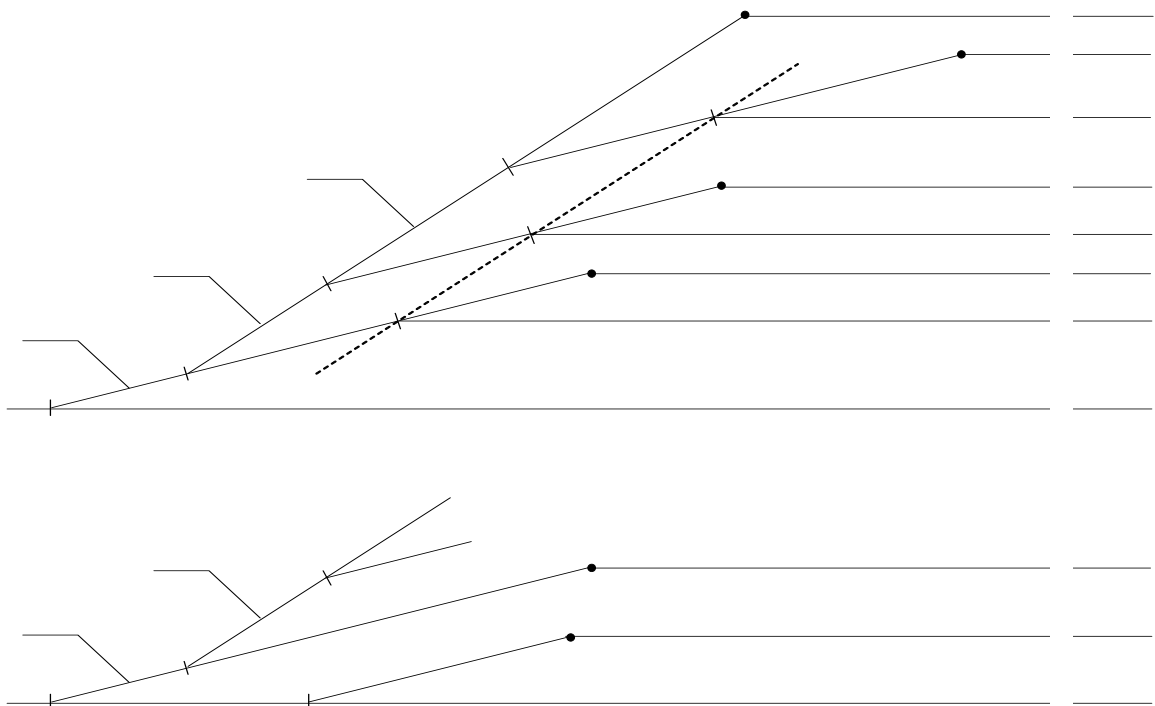


Рисунок 3.7 – Стрілочна вулиця під подвійним кутом хрестовини

Вставки на стрілочній вулиці, як відомо [104], розраховуються по сумі двох суміжних міжколій

$$(3.12)$$

Необхідно відмітити, що стрілочні переводи вулиці під кутом 2α розташовані за схемою 4 попутного укладання [97], при якому розрахунок вставки f_i здійснюється з умови забезпечення заданої міжколійї між осями бокових колій, що примикають. У цьому зв'язку для правильного розрахунку вставок f_i у моделі даної вулиці необхідно вказати для них код 9999. У цьому випадку розрахунок вставок здійснюється по різниці ординат y_i відповідних стрілок, що відповідає 3.12

$$, \quad (3.13)$$

де θ – кут нахилу вулиці до осі абсцис.

При цьому ординати Y_i, Y_{i+1} стрілок вулиці визначають по відомим ординатам y_i суміжних з ними переводів, які знаходяться на горизонтальних коліях

$$(3.14)$$

Перша вставка f_{i-2} також повинна бути позначена в моделі кодом 9999; тоді ордината стрілки 2 буде обчислена по формулі (3.14), а вставка f_{i-2} – по різниці ординат (3.12).

У якості опорної точки вибирають стрілочний перевід 1, який розташований на горизонтальній колії 1.

Приклад моделі вулиці під кутом 2α і результати її автоматизованого розрахунку наведені в додатку В (табл. В.4).

Віяльні стрілочні вулиці. Особливість віяльних вулиць полягає у тому, що їх вісь являє собою ламану лінію, напрямок якої змінюється на величину стрілочного кута α після примикання кожної колії. Існує два типи віяльних вулиць: концентричні і неконцентричні.

Концентричні вулиці мають загальний центр усіх з'єднувальних кривих; при цьому радіус кривої для кожної наступної колії збільшується на величину відстані e між осями даної і попередньої колій (див. рис. 3.8). При такій конструкції вулиці всі точки з'єднання горизонтальних колій із кривими мають однакову абсцису, а відстані L_i між центрами стрілочних переводів і відповідні вставки f_i збільшуються по мірі росту кута нахилу елементів вулиці.

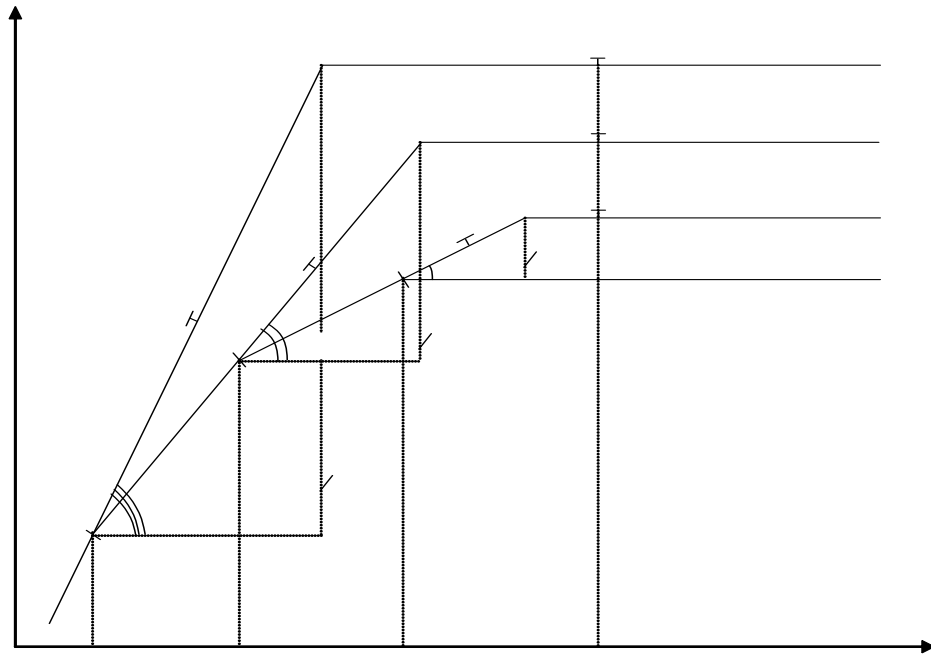


Рисунок 3.8 – Концентрична стрілочна вулиця

Неконцентричні вулиці, навпаки, мають однакові відстані L_i між центрами переводів і відповідні прямі вставки d_i , які визначаються за схемою 3 попутного укладання (див. рис. 3.9). При цьому радіуси з'єднувальних кривих R_i можуть бути однаковими, або збільшуватися на кожній наступній колії. Другий спосіб дозволяє уникнути розширення міжколій, яке має місце при використанні радіусів постійної величини, і тим самим скоротити обсяг робіт по спорудженню вулиці.

При розрахунках віяльних стрілочних вулиць звичайно відомі відстані , між осями колій, радіуси з'єднувальних кривих , а для неконцентричних вулиць – і прямі вставки d_i між стрілочними переводами. Розрахунковими параметрами є параметри з'єднувальних кривих, координати центрів стрілочних переводів і вершин кутів повороту, а для концентричних вулиць – додатково визначаються вставки f_i .

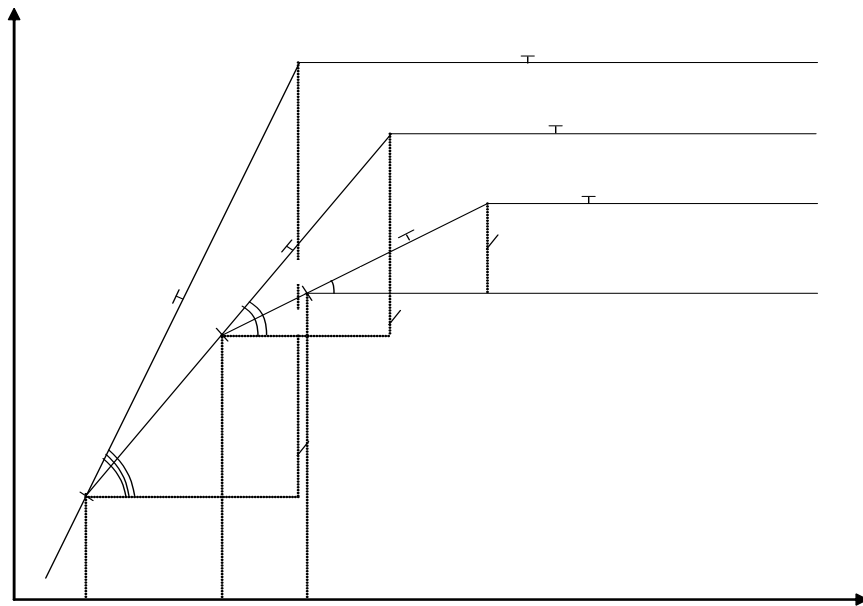


Рисунок 3.9 – Неконцентрична стрілочна вулиця

Враховуючи особливості конструкції концентричних вулиць, відзначені вище, вставки для них розраховуються, виходячи з умови рівності сум проекцій на вісь абсцис елементів двох суміжних колій, починаючи від центру їх загального переведення і до точок з'єднання кривих із цими коліями:

$$(3.15)$$

$$(3.16)$$

$$(3.17)$$

Позначення величин, що входять у дані вирази, зрозумілі з рис. 3.8. У виразі (3.15) ліва частина являє собою проекцію i -ої колії, а права – $(i+1)$ -ої колії на вісь X , які, певно, повинні бути рівні. Величини h_i визначаються за допомогою рекурентного виразу (3.16); для першої пари колій, оскільки $i = 1$. Як слідує з виразів (3.15)–(3.17), вставки f_i залежать від ширини міжколій e_i і радіусів з'єднувальних кривих R_i . Виконані дослідження показали, що найбільшою мірою вставка f залежить від радіуса R . Для прикладу на рис. 3.10 показана залежність величини f від радіуса кривої на першій колії R_1 . Як видно з рисунка, найменшою є перша вставка f_1 , яка при $R_1 = 280$ м складає усього 2,17 м. При цьому мінімальний припустимий радіус, при якому $R_1 = 280$ м, складає 280 м; при збільшенні радіуса R_1 величина f_1 суттєво і практично лінійно зростає, так що при $R_1 = 13,25$ м f_1 досягає 13,25 м. З рис. 3.10 також видно, що вставки f_i рівномірно збільшуються для кожної наступної колії, тобто з ростом номера i .

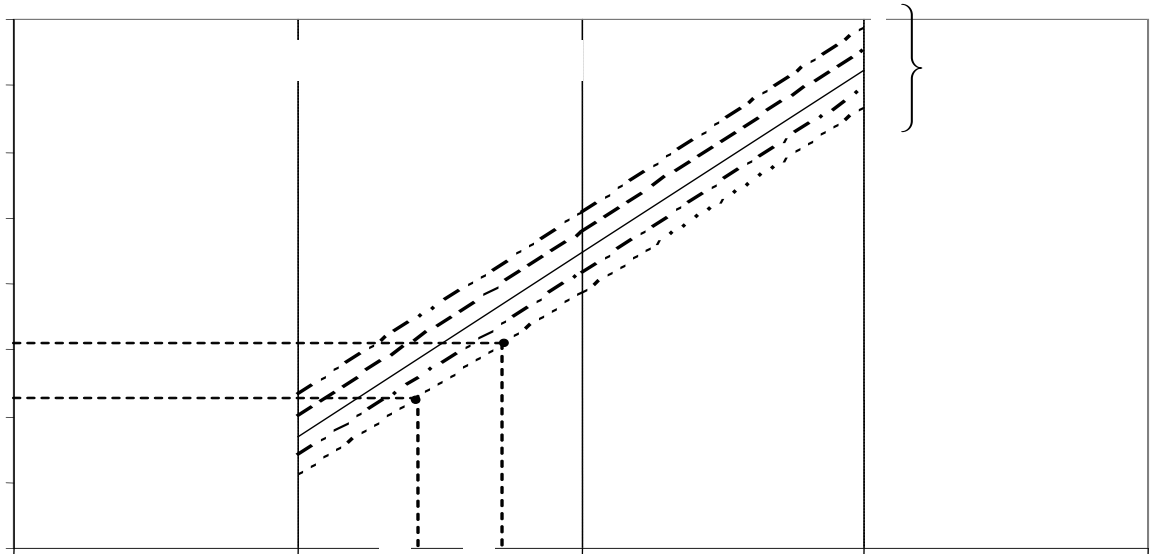


Рисунок 3.10 – Залежності довжин f_i від радіусу R_1 для вставок 1–5

Залежність вставок f_i від ширини міжколій e показана на рис. 3.11. Виявилося, що перша вставка f_1 від міжколій e не залежить; інші вставки f_i ($i = 2, 3, \dots$) зі збільшенням e лінійно зростають, причому ця залежність тем сильніше, чим більше номер вставки i .

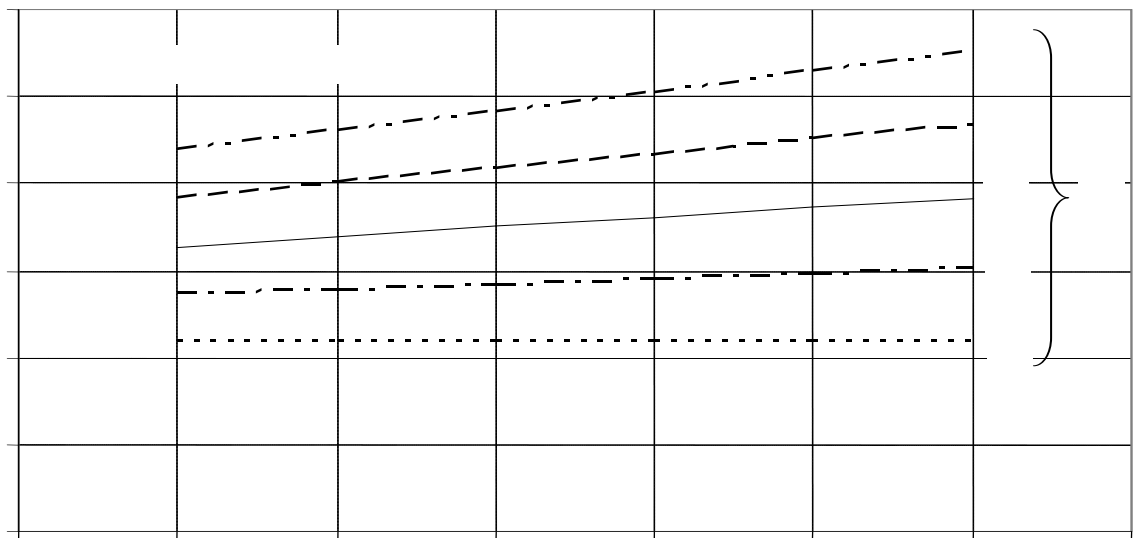


Рисунок 3.11 – Залежності довжин f_i від ширини міжколій e для вставок 1–5

Характер зміни вставок f_i у міру збільшення номера i і їх віддалення від стрілки 1 при початкових радіусах m_1 і m_2 показаний на рис. 3.12. Таким чином, виконані дослідження показують, що мінімальною є перша вставка f_1 , величина якої залежить тільки від радіуса з'єднувальної кривої R_1 . Враховуючи, що при попутному укладанні стрілочних переводів за схемою 3 на приймально-відправних коліях величина вставки повинна бути 6

,25 м, а на інших – 4,5 м ([97] табл. 16.7), то радіус R_1 на першій колії повинен бути, відповідно, 336,8 м і 321,0 м не залежно від ширини міжколій, які використовуються. Надалі, по мірі збільшення номера колії вставки f_i будуть зростати, причому тим швидше, чим більше ширина міжколій, так що необхідна мінімальна величина вставки завжди буде забезпечуватися.

Геометричні моделі віяльних вулиць для їхнього автоматизованого розрахунку формують відповідно до загальних принципів (див. п. 3.1). При цьому для концентричних вулиць вставки повинні бути розраховані по викладеній вище методиці і включені в модель; для неконцентричних вулиць усі вставки визначаються автоматично. У якості опорної точки повинен бути обраний стрілочний перевід 1, який знаходиться на горизонтальній колії.

Приклади автоматизованих розрахунків віяльних стрілочних вулиць наведені в додатку В (табл. В.5, В.6).

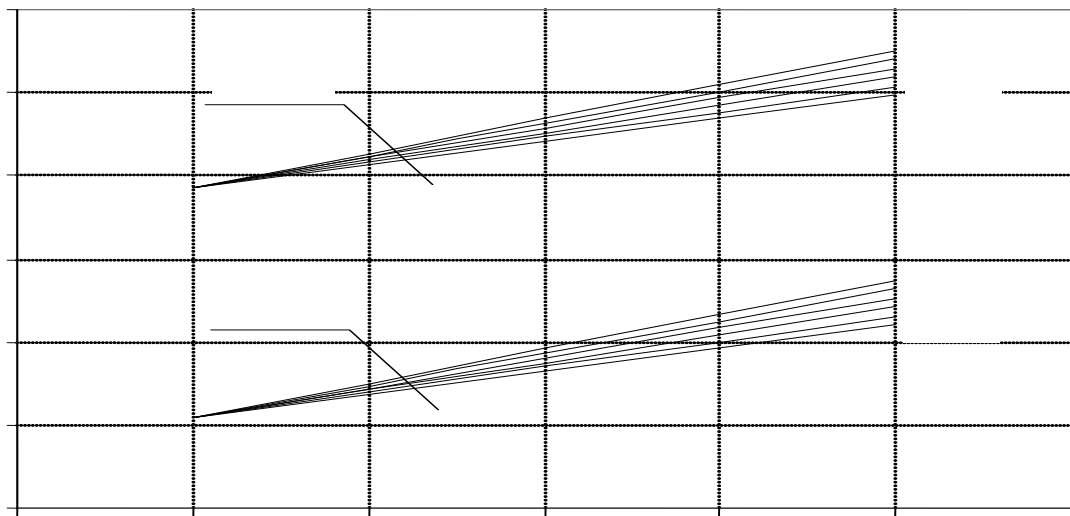


Рисунок 3.12 – Залежності довжин f_i від номера вставки i при різних радіусах R_1 та ширині міжколій e

Автоматизоване формування системи геометричних моделей плану станції

Загальні принципи побудови САПР залізничних станцій. Удосконалені структурно-параметричні моделі [REF ист_Бобр_структ_моделі_пут_разв \h 9, REF ист_Бобр_диссер \h 10] доцільно використовувати в САПР залізничних станцій. Вони дозволяють формалізувати і розраховувати плани колійного розвитку залізничних станцій, які розташовані на прямій ділянці, практично будь-якої складності. При цьому проектувальник попередньо повинен підготувати немасштабну схему станції (горловини), виконати на ній нумерацію всіх основних точок (ЦП, ВК, КК) і скласти для кожної з них списки інцидентності з доповненням характерних параметрів. Вказані списки представляються у вигляді текстового файлу, дані з якого зчитуються САПР і використовуються у подальшому для розрахунку плану станції.

Такий спосіб підготовки вихідних даних є досить трудомістким і не виключає помилок. У зв'язку з цим потрібно організувати ефективну та комфортну взаємодію САПР і проектувальника в діалоговому режимі. Отримати значний ефект від використання САПР залізничних станцій можливо за рахунок мінімізації часу на розробку кінцевого проектного рішення. У відповідності до [REF ист_Головнич_автомат_проект_станций \h 31] подібні системи автоматизованого проектування повинні бути забезпечені вихідною базою конструктивів. Як показують проведені дослідження [REF ист_Головнич_Основы_автомат_проект \h 32], ця множина виявляється достатньою при включенні до неї тільки двох елементів – стрілочного переводу і ділянки колії, які здатні забезпечити формування схеми роздільного пункту любого рівня складності (від горловини парку до залізничного вузла).

Запропонований автором робіт [REF ист_Головнич_автомат_проект_станций \h 31, REF ист_Головнич_Основы_автомат_проект \h 32] підхід до проектування залізничних станцій дійсно є ефективним, але потребує значного часу на формування їх кінцевих масштабних планів колійного розвитку. Скорочення тривалості процесу проектування можливе за рахунок використання компонентів, які можуть складатися як з окремих стрілочних переводів, так і з готових стрілочних горловин. Очевидно, що САПР залізничних станцій, оснащена великим архівом компонентів, дає змогу в стислі строки розробити значну кількість різних проектних рішень.

Колійний розвиток багатьох залізничних станцій України згрупований у декілька парків. Як показав аналіз, значна кількість таких станцій розташована в кривих. Запропонована система структурно-параметричних моделей станцій [9, 10], а також алгоритми виконання проектних процедур, які дозволяють автоматизувати процес синтезу колійного розвитку станцій на всіх його етапах, не вирішують питання формалізації моделей великих станцій, що складаються з декількох парків, у тому числі розташованих на кривих. У цьому зв'язку САПР повинна забезпечити можливість формування загальної схеми станції з окремих елементів – блоків, в межах яких колії є прямими та паралельними. При цьому слід зазначити, що блок відрізняється від компонента тим, що він вже являє собою фрагмент плану станції, який можна масштабувати, а компонент – це немасштабна схема станції.

Таким чином, проектування залізничних станцій за допомогою САПР є процесом, який складається з трьох фаз:

- формування фрагментів станцій за допомогою множини компонентів ;
- розрахунок координат основних точок планів фрагментів станцій та отримання множини блоків;
- композиція загальних схем залізничних станцій за допомогою блоків

Необхідно зауважити, що проектування залізничних станцій здійснюється шляхом аналізу множини варіантів проектних рішень і відбору найкращого на основі їх комплексної оцінки. У цьому зв'язку система

автоматизованого проектування повинна мати можливість відміни попередніх коригувань схеми станції, якщо отриманий результат не задовольняє проектувальника.

Загальна структура процесу проектування варіантів планів залізничних станцій та відбору кращих проектних рішень наведена на рис. 3.13.

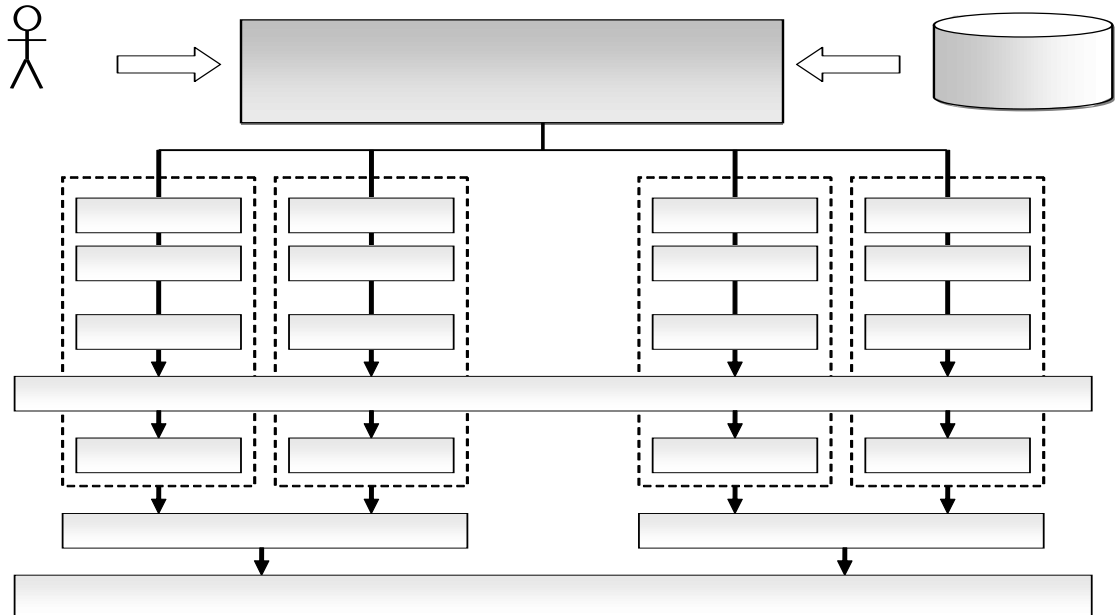


Рисунок 3.13 – Процес проектування залізничних станцій

Таким чином, сформулюємо основні вимоги, які повинна забезпечувати САПР залізничних станцій:

- ввід немасштабної схеми станції у графічному вигляді;
- контроль правильності вводу вихідної інформації;
- формування схеми станції з окремих її компонентів і блоків;
- реалізація процедури відміни попередніх коректувань схеми станції у разі незадоволення проектувальника отриманим проектним рішенням;
- процедура розрахунку комплексної оцінки варіантів проектних рішень.

Запропонована концепція побудови САПР колійного розвитку залізничних станцій дозволить на відміну від існуючих систем [REF ист_Головнич_автомат_проект_станций \h 31, REF ист_Бобр_диссер \h 10] забезпечити високу ефективність процесу проектування варіантів станцій, за рахунок мінімізації часу на їх реалізацію.

Вхідна модель станції дозволяє організувати процес вводу в ЕОМ немасштабної схеми залізничної станції, тому структура її математичної моделі є основою для побудови ефективного графічного редактора, орієнтованого на вирішення даної прикладної задачі. Вхідна модель представлена множиною графічних об'єктів, серед яких виділені наступні види: ділянка колії, центр стрілочного переводу, вершина кута повороту, номер колії, міжколійя, світлофор. Кожному об'єкту

поставлені у відповідність тип, екранні координати характерних точок і список конструктивних параметрів.
Ділянка колії (об'єкт LINE) представлена структурою

(3.18)

де

- відповідно початкова та кінцева точки відрізка;
- метод визначення довжини ділянки ;
- параметр, що характеризує довжину ділянки .

Довжина ділянки колії визначається у відповідності з установленим

методом : 0 – довжина визначається автоматично на основі аналізу схеми; 1 – довжина визначається по різності координат суміжних точок; 2 – довжина визначається чисельним значенням ; 3 – довжина визначається шириною міжколій ; 4, 5, 6 – довжина визначається з умови забезпечення корисної довжини даної колії парку, відповідно у парному, непарному та в обох напрямках.

Центр стрілочного перевodu (об'єкт SWITCH) і вершина кута повороту (об'єкт CURVE) представлені структурами

(3.19)

(3.20)

де

- екранні координати, відповідно, центру стрілочного перевodu та вершини кута повороту;

– відповідно, номер стрілочного перевodu та кута повороту кривої;

- марка хрестовини;
- тип рейки;
- наявність електричної централізації;
- метод визначення кута (0 – визначається автоматично на основі аналізу схеми, 1 – задано чисельне значення, 2 – скорочене з'єднання);
- величина кута повороту;
- номер розрахункової вершини при розрахунку параметрів кінцевого з'єднання.

Номер колії (об'єкт WAY) і міжколійя (об'єкт MIDWAY) представлені структурами

(3.21)

(3.22)

де – екранні координати точок вставки, відповідно, номери колій і міжколій;

– номер колії;

– ширина міжколій.

Сигнал (об'єкт SIGNAL) представлений структурою

(3.23)

де – екранні координати точки вставки сигналу;

– номер сигналу;

– напрямок дії сигналу (0 – в непарному напрямку, 1 – в парному напрямку);

– тип сигналу (0 – мачтовий, 1 – карликовий, 2 – карликовий спарений і ін.).

В пам'яті ЕОМ кожен графічний об'єкт представляється за допомогою асоціативного списку:

$$((a1. t1) (a2. t2) \dots (aN. tN)), \quad (3.24)$$

де $a_1 \dots a_N$ – ключі, які представляють собою цифровий код параметрів, що входять до структур (3.18-3.23) (див. табл. 3.1);

$t_1 \dots t_N$ – зв'язані з ключами дані.

На рис. 3.14 приведено фрагмент схеми станції і відповідний їй список

Таким чином, математична модель являє собою список графічних об'єктів, які записуються до нього в порядку вводу схеми в ЕОМ. На цьому етапі виконується розпізнавання графічних об'єктів і модифікація вхідної моделі.

Таблиця 3.1 – Список цифрових кодів параметрів об'єктів вхідної моделі

Ключ	Параметр	Ключ	Параметр
0	Тип об'єкта	31	μ_c
1	N_s, N_c, N_w, N_r	32	$ \alpha_c $
10	Координати точок $p_{en}, p_s, p_c, p_w, p_m, p_r$	33	N_T
11	Координати точки p_{ek}	40	μ_e
20	ms	41	L

21	T_s	50	G
22	cs	60	d_r
30	rc	61	k_r

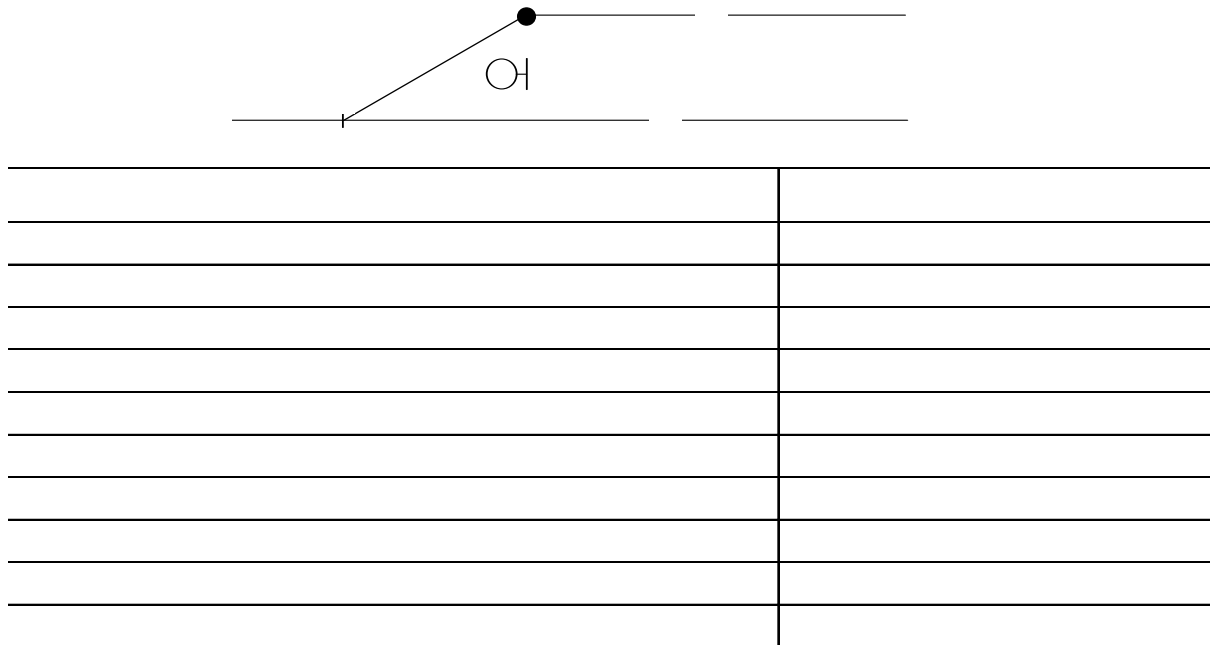


Рисунок 3.14 – Вхідна модель станції:

а) схема колійного розвитку; б) список графічних об'єктів

Формування схеми колійного розвитку здійснюється шляхом додавання, видалення і зміни відрізків, що відповідають ділянкам колії в процесі графічного вводу схеми станції. Такий підхід дозволяє прискорити процес вводу схеми в ЕОМ у порівнянні з її формуванням з окремих примітивів (стрілок кривих і т.д.) [73]. Для забезпечення з'єднання відрізків у центрах стрілочних переводів і вершинах кутів повороту реалізується об'єктна прив'язка. На першому етапі здійснюється перевірка ідентичності координат точок (x, y) , що вводяться, кінцевим точкам існуючих відрізків. Точки вважаються ідентичними у випадку, коли відстань між ними не перевищує заданої величини погрішності

$$, \quad (3.25)$$

де x, y – координати існуючих точок.

Далі здійснюється контроль приналежності точок, що вводяться, існують відріzkам. При цьому точка А вважається приналежною відріzkу ВС у випадку, якщо виконуються умови

(3.26)

де d – відстань (зі знаком) від точки до прямої;
 l_{AB}, l_{AC} – відстань від точки A до кінцевих точок відрізка;
 l_{BC} – довжина відрізка BC .

Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку наведена на рис. 3.15.

Рисунок 3.15 – Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку

Відстань від точки A до відрізка BC відповідно до рис. 3.16 може бути визначена з виразу

, (3.27)

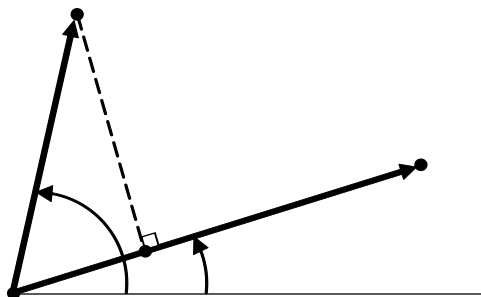


Рисунок 3.16 – Розрахункова схема визначення координат найближчої точки відрізка

Значення синуса кута ABC може бути встановлене на підставі координат точок

Підставляючи величини у вираження (3.27) одержуємо:

$$\dots \quad (3.28)$$

Величина δ приймає негативне значення, якщо точка лежить праворуч від відрізка, позитивне значення, якщо точка лежить ліворуч від відрізка і 0, якщо точка і відрізок належать одній прямій.

У випадку, якщо умова (3.26) виконується, точка A переноситься в точку D на відрізок BD (див. рис. 3.15)

$$\dots$$

Через незначність кута ABC , $\cos \angle ABC \approx 1$, для визначення координат точки D можуть бути використані спрощені вирази:

Враховуючи, що вершини відрізків, які вводяться, повинні належати безлічі вершин графа G колійного розвитку станції визначається їхній ступінь i , у необхідних випадках, здійснюється модифікація. Приклади різних випадків модифікації вершин моделі при додаванні відрізків наведені в табл. 3.2, варіанти 1-5. При цьому, у випадку, коли новий відрізок примикає до кінцевої точки існуючого, контролюється величина кута між існуючим відрізком AB і новим відрізком BC . Для спрощення мірою величини кута відрізка може бути косинус, який, через прийняту орієнтацію відрізків, може мати тільки позитивні значення

$$\dots \quad (3.29)$$

де δ – величина похибки.

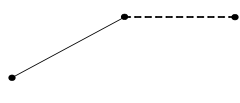
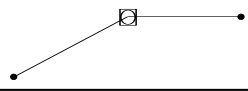
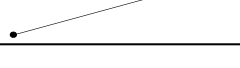
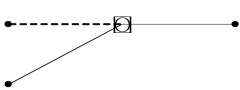
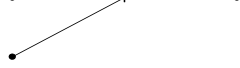
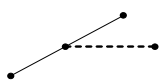
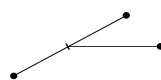
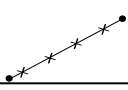
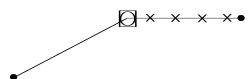
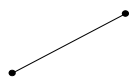
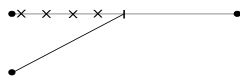
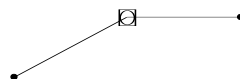
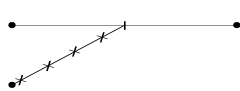
Якщо дана умова виконується, то в точку B включається об'єкт CURVE (див. табл. 3.2, варіант 2); а якщо ні, то кінцева точка відрізка B переміщається в точку C (див. табл. 3.2, варіант 3).

При видаленні відрізка з моделі також визначаються ступені відповідних вершин, і відповідно до них корегується модель (див. табл. 3.2, варіант 6-9).

При цьому у випадку видалення відрізків, що примикають до вершини SWITCH, контролюється величина кута нахилу між відрізками, що

залишилися, AB і BC . У випадку, коли умова (3.29) виконується, в точку B , додається об'єкт CURVE (див. табл. 3.2, варіант 8); інакше відрізки AB і BC , що залишилися, поєднуються в один AC (див. табл. 3.2, варіант 9).

Таблиця 3.2 – Модифікація вхідної моделі станції в процесі введення її графічного зображення

	Номер варіанта	До модифікації	Після модифікації	Дія
Додати відрізок	1			-
	2			Кут між відрізками більше мінімального: помістити в кінцеву точку об'єкт CURVE
	3			Кут між відрізками менше мінімального: об'єднати відрізки
	4			Видалити в кінцевій точці відрізка об'єкт CURVE і помістити в неї об'єкт SWITCH
	5			Розбити відрізок на два відрізки і помістити в точку об'єкт SWITCH
Видалити відрізок	6			-
	7			Видалити об'єкт CURVE в кінцевій точці відрізка
	8			Кут між відрізками, що залишилися, більше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і помістити в неї об'єкт CURVE
	9			Кут між відрізками, що залишилися, менше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і з'єднати відрізки, що залишилися

При введенні номерів колій вказуються координати точки вставки номера колії і визначається її приналежність існуючим горизонтальним відрізкам за допомогою умов

(3.30)

У випадку, якщо зазначена точка не належить жодному з горизонтальних відрізків, фіксується помилка.

При введенні міжколій **m** перевіряється наявність горизонтальних відрізків над і під точкою вставки показника міжколійї. У випадку відсутності хоча б одного з таких відрізків, фіксується помилка.

На рис. 3.17 наведений результат графічного введення схеми станції, зображеної на рис. 3.1.

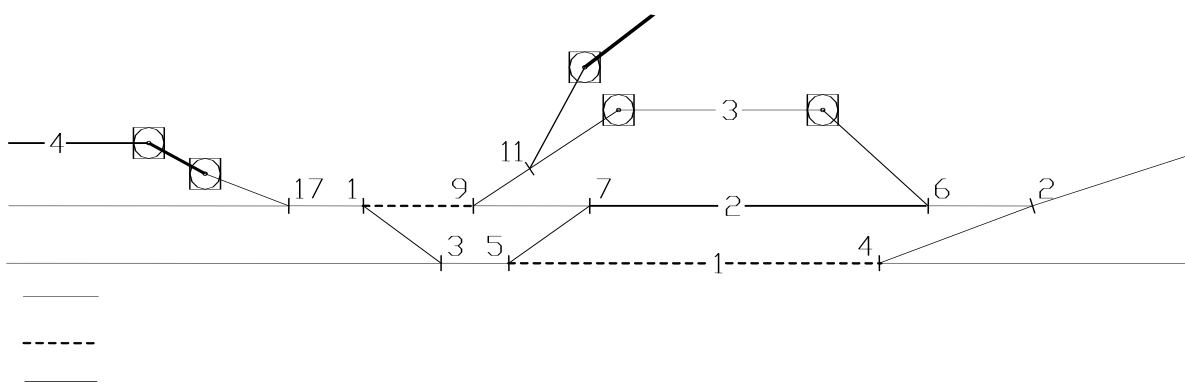


Рисунок 3.17 – Графічний ввід немасштабної схеми станції

Автоматизоване формування елементів залізничних станцій на базі компонентної моделі. Формування схеми колійного розвитку здійснюється шляхом додавання, видалення і зміни відрізків, які відповідають певним ділянкам колій в процесі графічного вводу схеми залізничної станції. Такий підхід дозволяє прискорити процес вводу схеми в ЕОМ по відношенню до алгоритмів її формування з окремих примітивів (стрілок, кривих, сигналів і ін.), які пропонуються у [REF ист_Бобр_диссер \h 10]. Але аналіз даного процесу показав наявність певних резервів часу на формування вхідної моделі. У цьому зв'язку в дисертації розроблена оригінальна компонентна модель, яка дозволяє суттєво скоротити час на введення схеми станції в ЕОМ за рахунок використання більш укрупнених примітивів – компонентів.

Компонент являє собою фрагмент залізничної станції (стрілочна горловина, станційний парк тощо) і представлений структурою

, (3.31)

де – список графічних об'єктів (LINE, WAY, MIDWAY або SIGNAL), з яких складається фрагмент станції, представлений у компоненті;

- базисна точка прив'язки компонента до основної схеми ескізу;
- кут повороту локальної системи координат компоненту .

Включення чергового компонента до основної схеми станції виконується у два етапи. На першому етапі коригуються координати графічних об'єктів списку з урахуванням значень і . На другому етапі виконується процедура зберігання поточного списку загальної схеми станції за рахунок додавання його копії до стеку S , тобто

. Це дозволить повернутися до попереднього варіанту схеми станції у разі отримання незадовільних результатів. Далі виконується додавання об'єктів списку до основної схеми, їх розпізнавання та модифікація вхідної моделі.

Необхідно зазначити, що отриманий таким чином список залізничної станції по структурі відповідає списку звичайного компонента

і, відповідно, може бути перетворений та включений до множини компонентів САПР як новий, більш крупніший.

Подальше формування внутрішньої моделі станції на базі її вхідної геометричної моделі відбувається порядком, вказаним в [10].

Композиція загального плану станції. Побудова плану колійного розвитку складних станцій здійснюється шляхом об'єднання окремих базових елементів (блоків) у єдину інтегровану модель у деякій глобальній системі координат. При цьому в межах базових елементів колії залишаються прямолінійними і паралельними. Для включення чергового блоку в загальну сукупність необхідно перетворити координати його вершин з локальної системи координат у глобальну, а також виконати з'єднання відповідних колій за допомогою кругових кривих.

Для виконання перетворень координат зручно представити всі характерні точки блоку однорідними координатами [129], які точку $P(x, y)$ описують трьохелементним вектор-рядком $[x \ y \ 1]$. Тоді перетворення координат точки P здійснюється множенням вектора точки на матрицю перетворення C розміром

$$. \quad (3.32)$$

Матриця перетворення C , може бути отримана шляхом множення матриць трьох елементарних перетворень:

- перенесення опорної точки у початок координат локальної системи ;
- поворот локальної системи l на кут l ;

- перенесення початку координат локальної системи l у точку глобальної системи.

Зазначена матриця перетворення може бути отримана множенням матриць даних елементарних перетворень і має вигляд

$$, \quad (3.33)$$

де $\dots$,

Структура останнього стовпця матриці дозволяє спростити фактично виконувани дії при перетвореннях координат

$$(3.34)$$

де $\dots$ – коефіцієнти результуючої матриці перетворення C , які обчислюються однократно для всіх точок блоку;

$\dots$ – координати опорної точки.

Розрахунки координат (3.34) виконується для всіх вершин блоку; при цьому координати базової вершини відповідають координатам $\dots$ точки розміщення блоку на загальному плані станції.

При проектуванні плану колійного розвитку станції з окремих базових елементів, вісі колій блоків, які об'єднуються, можуть розташовуватися під кутом друг до друга або на одній прямій. У першому випадку необхідно виконати спряження відповідних колій, тобто визначити точки їх перетинання і параметри з'єднувальних кругових кривих.

Для визначення точки перетинання кожна з пари колій, що спрягаються, представляється параметричним рівнянням $\dots$ прямої, що проходить через деякі дві точки (вершини) $\dots$ і $\dots$ цієї колії

$$, \quad (3.35)$$

де t – допоміжний параметр.

Параметр t може приймати будь-яке значення з безлічі дійсних чисел $t \in R$. Якщо значення параметра t обмежені діапазоном $[0; 1]$, то рівняння (3.35) описує відрізок $\dots$, що належить прямій лінії $\dots$.

Враховуючи, що вершина КК має єдину вхідну або вихідну дугу, необхідно на графі G визначити іншу вершину, інцидентну цій дузі та з її допомогою скласти рівняння прямої (3.35).

З використанням теореми про скалярний добуток векторів [64] отримане вираження для визначення значення параметра t , відповідного до точки перетинання двох прямих ліній l_i і l_j

$$t = \frac{(\vec{r}_j - \vec{r}_i) \cdot \vec{n}_i}{|\vec{n}_i|^2}, \quad (3.36)$$

де $\vec{n}_i$ – вектор, перпендикулярний прямій l_i .

Якщо $\vec{n}_i \cdot \vec{n}_j = 0$, то вектор $\vec{n}_i$ перпендикулярний прямій l_j . Це свідчить про те, що прямі l_i і l_j не мають точки перетинання, тобто паралельні або збігаються. А якщо ні, то (прямі l_i і l_j перетинаються) координати точки перетинання V (див. рис. 3.18) можна визначити шляхом підстановки розрахованого значення параметра t у вираз (3.35).

Для визначення кута повороту з'єднувальної кривої використовується вираз

$$\theta = \arccos \left(\frac{(\vec{e}_v - \vec{e}_w) \cdot (\vec{f}_v - \vec{f}_w)}{|\vec{e}_v - \vec{e}_w| |\vec{f}_v - \vec{f}_w|} \right), \quad (3.37)$$

де $\vec{e}_v$ і $\vec{f}_v$ – відповідно кути нахилу відрізків ev і fv (див. рис. 3.18).

Рисунок 3.18 – Схема визначення кута повороту кривої

У свою чергу, кут нахилу деякого відрізка визначався як:

(3.38)

Після визначення кута повороту кривої розраховуються її інші параметри – тангенс T і довжина K .

При об'єднанні блоків, вісі колій, що спрягаються, які лежать на одній прямій, кут повороту і точки перетинання визначати не потрібно. У цьому випадку необхідно з'єднати відповідні вершини відрізком прямої (див. рис. 3.19, а).

У результаті об'єднання блоків формується модель інтегрованого блоку, яка має таку ж структуру і може бути використана для подальшого створення більш складних об'єктів. Із цією метою формується орієнтований граф G з перенумерованими вершинами, серед яких виділяється базова вершина v_6 ; створеному таким способом блоку присвоюється унікальний номер (ім'я) блоку N_6 .

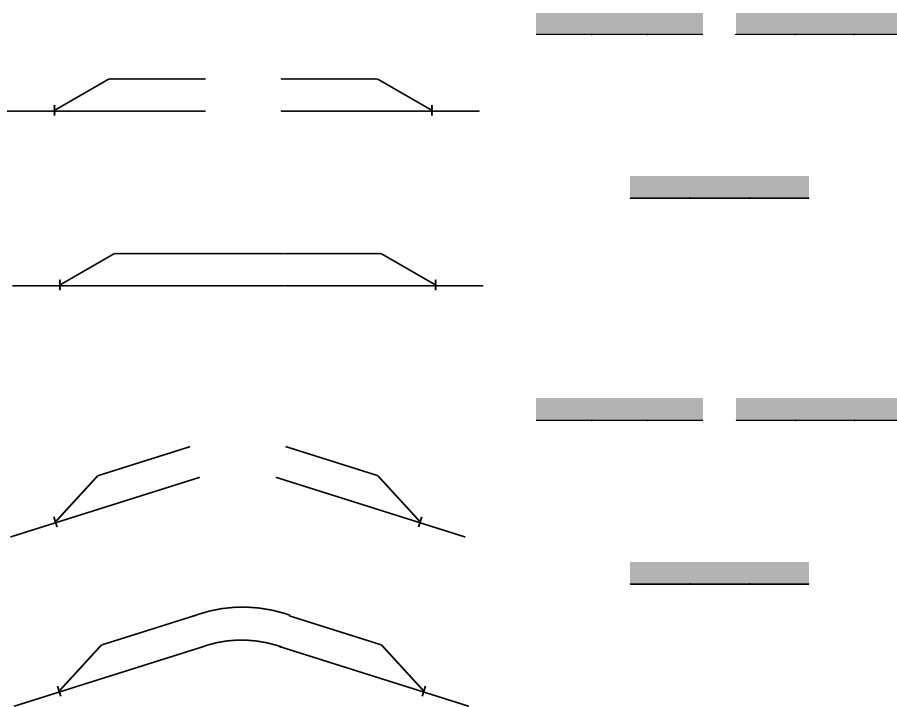


Рисунок 3.19 – Об'єднання блоків:

а) розташованих на одній прямій; б) розташованих під кутом друг до друга

Загальні принципи розрахунку потрібної корисної довжини колій станції. При об'єднанні блоків в інтегрований блок необхідно забезпечити потрібну корисну довжину n станційних колій. Формально дану вимогу можна виразити умовою

(3.39)

де – відповідно, фактична і потрібна корисні довжини і-ої колії.

При цьому, враховуючи особливості конструкції горловин станцій, умова (3.39) для частини колій буде рівністю , а для більшості колій – строгою нерівністю . У цьому зв'язку при проектуванні станцій необхідно виділити колії з мінімальною корисною довжиною, для яких виконується рівність , забезпечити їм потрібну корисну довжину, після чого визначити корисні довжини інших колій.

Складність цієї задачі полягає в тому, що колій з мінімальною корисною довжиною на станції може бути декілька (наприклад, при наявності декількох парків). Крім того, правильний вибір колії з мінімальною корисною довжиною здійснити без виконання розрахунків координат елементів станції (парку) не представляється можливим; у той же час для виконання вказаних розрахунків необхідно попередньо встановити потрібні довжини колій.

Автоматизоване рішення цієї суперечливої задачі для окремого парку станції може бути виконаний в чотири етапи:

- визначення координат точок однієї з горловин парку;
- визначення координат точок іншої горловини при заданій довжині однієї з колій парку (розрахункової колії);
- розрахунки корисних довжин колій парку;
- визначення потрібної зміни довжини розрахункової колії та повторний розрахунок координат усіх точок парку.

Для станцій складної конструкції, що складається з декількох груп колій (парків) з різними потрібними корисними довжинами, розрахунок виконується послідовно для кожної групи колій, які виділяються автоматично.

Розрахунок корисної довжини колій в окремому парку станції. Фактичні корисні довжини колій парку можуть бути визначені при відомих координатах точок обох його горловин; при цьому для автоматизації розрахунку необхідно розробити методику рішення наступних питань:

- пошук на орієнтованому графі станції дуг, що відповідають коліям, для яких повинна бути визначена корисна довжина (надалі – колії);
- пошук вершин, що обмежують конструктивну довжину колії;
- пошук на конструктивній довжині колії точок, що обмежують її корисну довжину в заданому напрямку;
- визначення чисельного значення корисної довжини колії.

Ідентифікація дуг графа, що є коліями, здійснюється на основі аналізу спеціального параметра μ (див. п. 3.2), який присвоюється у вхідній моделі станції кожній дузі для визначення методу розрахунків довжини відповідного

відрізка. Коліями вважаються дуги, у яких даний параметр має деяке значення, що визначає необхідність розрахунків корисної довжини колії у відповідному напрямку. Так, у результаті пошуку на графі, представленому на рис. 3.20, дуги e_1 , e_2 і e_5 будуть класифіковані як станційні колії, оскільки для них

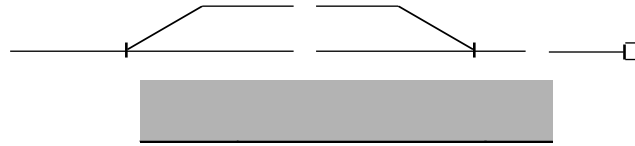


Рисунок 3.20 – Представлення колій на орієнтованому графі

Після визначення дуги e_k , що є станційною колією або його частиною, необхідно знайти дві вершини графа, що обмежують її конструктивну довжину. Даними вершинами можуть бути тільки ЦП і КК; пошук вершин даного типу проводиться в обидва боки від кінців знайденої дуги e_k . Так, на графі, представленому на рис. 3.20, для дуги e_2 пошук не проводиться, оскільки її початкова і кінцева вершини є ЦП; для дуги e_1 будуть знайдені пов'язані з нею дуги e_3 і e_4 і, відповідно, початкова (ЦП1) і кінцева (ЦП2) вершини, що визначають конструктивну довжину колії 2. Чисельне значення конструктивної довжини колії визначається додаванням довжин вхідних в неї елементів (відрізків, кривих), які відповідають вхідним в неї дугам.

Корисна довжина станційної колії може обмежуватися сигналом, граничним стовпчиком, упором або стиком рамної рейки стрілочного перевodu. Методика визначення положення граничних стовпчиків і сигналів на основі математичної моделі колійного розвитку у вигляді орієнтованого графа наведена в [11].

Якщо границею конструктивної довжини колії є упор, то координати відповідної вершини графа обмежують і корисну довжину цієї колії. У

випадку, якщо границею конструктивної довжини колії є ЦП, для визначення вершини, яка обмежує її корисну довжину, необхідно попередньо встановити напрямок зівходу цієї колії в стрілочний перевід vi [11]. Далі в списку сигналів проводиться пошук сигналу g , для якого виконуються умови

$$(3.40)$$

Якщо такий сигнал знайдений, то корисна довжина колії визначається положенням даного сигналу; а якщо ні, то при корисна довжина буде

обмежуватися граничним стовпчиком (ГС), а при — ізольованим стиком рамної рейки стрілочного переводу v_i .

Остаточно фактична корисна довжина $L_{фкд}$ станційної колії розраховується по формулі

$$, \quad (3.41)$$

де — конструктивна довжина колії;

— відстані між точками, що обмежують конструктивну і корисну довжини колії, відповідно, ліворуч та праворуч.

Значення величин $l_{св}$ і $l_{гс}$ залежно від параметра z можуть дорівнюватися елементу a стрілочного переводу, або відстані $l_{гс}$ від ЦП до ГС (відстані $l_{св}$ від ЦП до сигналу при його наявності); якщо конструктивна довжина колії обмежується упором, то відповідне значення або дорівнює нулю.

Алгоритм комплексного розрахунку корисної довжини колій станції. Визначення потрібних корисних довжин колій станції проводиться в комплексі з розрахунками координат точок плану; вирішення даної задачі здійснюється в наступній послідовності.

На першому етапі на базі орграфу станції G для однієї горловини парку будується остовне дерево з коренем у вершині v_0 , яка є опорною точкою плану. У дерево U включаються ті дуги, які представляють відрізки з відомими довжинами, визначеними в процесі розрахунків плану станції; при цьому дуги, що відповідають коліям заданої довжини, у дерево U не включаються. Далі, починаючи з опорної точки, виконується розрахунок координат точок плану, які відповідають вершинам побудованого остовного дерева. Так, на графові станції, представленому на рис. 3.21, *а* буде побудовано остовне дерево з коренем у вершині ЦП1 і визначені координати точок КК1, ЦП2 і ВК1. (див. рис. 3.21, *б*).

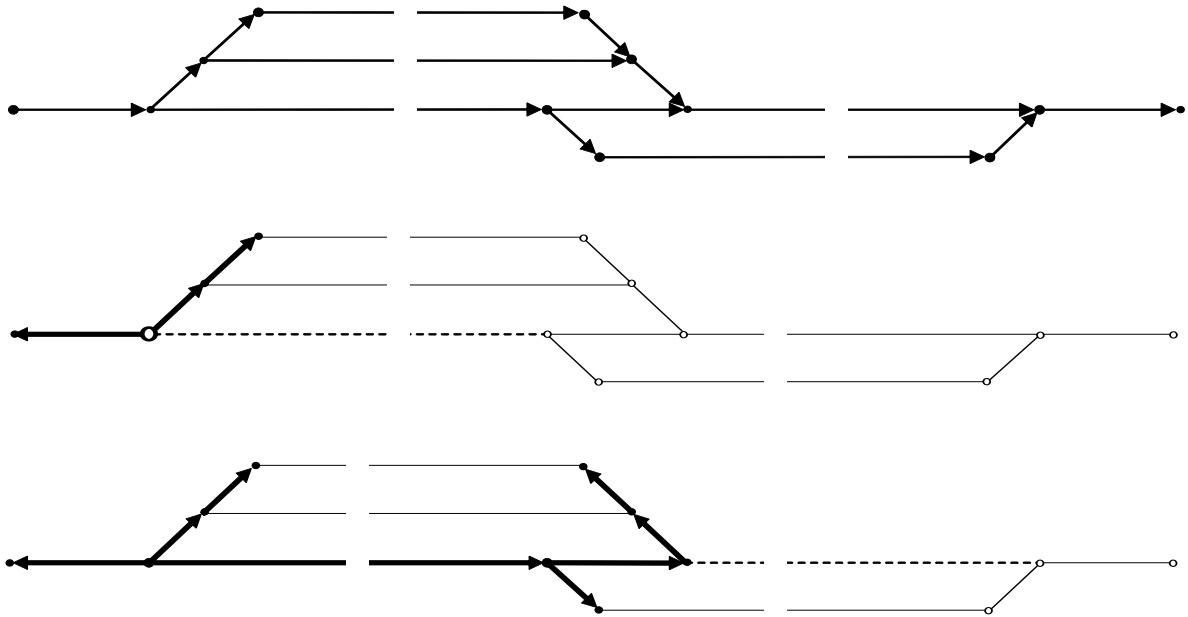


Рисунок 3.21 – Послідовність розрахунків корисних довжин колій:
 а) вихідний граф станції; б) остовне дерево для однієї горловини парку з коренем в опорній вершині v_0 ; в) остовне дерево для розрахунків довжин групи колій 1-3

На другому етапі серед вершин побудованого остовного дерева, виділяється вершина, вихідна дуга якої є колією з заданою у вхідній моделі розрахунковою диною L_p (розрахункова колія). Так, наприклад, на графі рис. 3.21, б виділена вершина ЦП1 з вихідною дугою ЦП 1-ЦП4 (розрахункова колія 1), яка визначає корисні довжини колій парку 1. Знайдена дуга включається в остовне дерево U .

Далі триває побудова остовного дерева, в яке включаються всі нові дуги вихідного графа з відомими довжинами, що пов'язані з дугою розрахункової колії. Таким чином, на другому етапі буде побудовано остовне дерево U , яке включає всі вершини обох горловин парку станції (у розглянутому прикладі на рис. 3.21, в – вершини ЦП1, ЦП2, ЦП3, ЦП4, ЦП5 і ВК1, ВК2, ВК3). Після побудови дерева в завершення другого етапу визначаються координати точок, що відповідають усім знову включеним вершинам (вершини – ЦП4, ВК3, ЦП5, ЦП3, ВК2).

На третьому етапі проводиться пошук на графі дуг, які є коліями (рис. 3.21, в, дуги ЦП1-ЦП4, ЦП2-ЦП3 і ЦП2-ВК1-ВК2-ЦП3), і по встановлених координатах точок плану станції визначаються корисні довжини відповідних колій (колії 1 – 3).

На четвертому етапі здійснюється коректування корисних довжин усіх колій парку таким чином, щоб фактична корисна довжина кожної колії була не менш потрібної корисної довжини цієї колії.

У цьому зв'язку для кожної з колій парку проводиться розрахунок відхилення

фактичної корисної довжини від потрібної . Очевидно, що максимальне відхилення , де n – число колій у парку, визначає необхідне збільшення довжини всіх колій групи, що забезпечує необхідну корисну довжину цих колій.

У завершення четвертого етапу збільшуються на значення координат точок плану станції, визначених на другому етапі, і, відповідно, корисні довжини колій групи.

Надалі на графі станції здійснюється пошук нових вершин, включених у побудоване остовне дерево, з вихідними дугами, які є коліями, не включеними в дерево. Такими на графі (див. рис. 3.21, в) є вершина ЦП5 з вихідною дугою ЦП 5-ЦП6 (колія 4) і вершина кута повороту з вихідною дугою ВК3-ВК4. Наявність таких вершин свідчить про існування в графі ще однієї групи взаємозалежних колій, розрахунки для якої також виконуються в чотири етапи викладеним вище порядком.

Відсутність подібних вершин в отриманому остовному дереві означає завершення його побудови і закінчення всіх розрахунків.

В результаті виконаних теоретичних досліджень були розроблені методика побудови структурно-параметричних моделей великих станцій, а також відповідні програмні модулі, вбудовані в типову оболонку автоматизованого проектування Autocad. Як показала перевірка, використання модернізованого пакета забезпечує істотне скорочення часу побудови масштабних планів колійного розвитку залізничних станцій. Це дозволяє значно збільшити число розглядаємих варіантів розвитку станцій і тим самим суттєво підвищити якість проектування.

Комплексна оцінка планів колійного розвитку залізничних станцій

В сучасних умовах проекти станцій розробляються відповідно до Державних будівельних норм [37] і інших нормативних документів. На попередньому етапі схеми станцій намічають виходячи з розрахункових обсягів роботи і місцевих умов, які вирішальним образом впливають на вибір тієї або іншої схеми колійного розвитку. На підставі порівняння відібраних варіантів схем ухвалюється остаточне рішення. При цьому оцінка проводиться шляхом порівняння техніко-економічних показників проектних варіантів з найбільш економічними із числа раніше запроектованих або вже побудованих станційних об'єктів. Основним критерієм оцінки служать приведені витрати.

Наявність єдиного критерію порівняння схем веде найчастіше до неправильної оцінки того або іншого фактора, який при певних обставинах здобуває більшу вагу. Якісним показникам приділяється другорядна роль, як правило, вони враховуються інтуїтивно, що є суттєвим недоліком.

Можливість сформувати множину можливих варіантів схем станцій надають запропоновані система структурно-параметричних моделей та

методи автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій. Але, разом з цим, відсутність спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень, направлених на отримання рекомендацій щодо вибору конкурентоспроможних варіантів, знижує кількість розглядаємих проектних рішень та якість їх аналізу.

У цьому зв'язку поставлена задача визначення достовірних значень конструктивних параметрів та якісних показників планів колійного розвитку залізничних станцій. Отримані результати дозволять проектувальнику провести поглиблений аналіз і обґрунтування розроблених варіантів проектних рішень та відібрати найкращі з них. Така постановка задачі дозволить значно збільшити кількість розглядаємих варіантів та підвищити якість їх оцінки.

Вихідними даними для аналізу схем станцій служать їх канонічні моделі у вигляді орієнтованих графу, доповнені координатами основних точок плану (КК, ЦП і ВК), а також значеннями кутів повороту для ВК, отриманих на етапі автоматизованого проектування планів колійного розвитку станцій. Для прикладу, на рис. 3.22 наведені орієнтований граф G горловини залізничної станції та її канонічна модель.

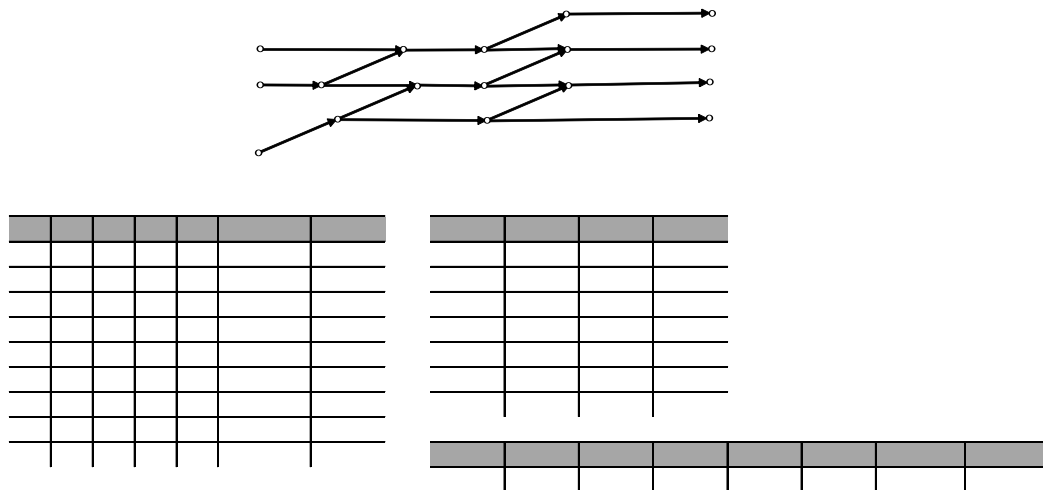


Рисунок 3.22 – Орієнтований граф G горловини станції та її канонічна модель

Визначення загальної кількості стрілочних переводів на схемі станції. У відповідності до п. 3.4.1 у орієнтованому графі схеми станції $G=(V, E)$ виділено три підмножини вершин V_s , V_c , V_w . Для визначення кількості стрілочних переводів, які використовуються в плані станції, достатньо підрахувати всі вершини $v_i \in V_s$ та проаналізувати два параметра в кожній такій вершини v_i : тип стрілки τ_c та її сторонність S (див. п. REF п_общ_принц_формир_стр_парам_моделей \h 3.4.1). Наприклад, для стрілочної горловини, що зображена на рис. 3.22, буде отриманий наступний результат:

Тип рейки	Сторонність	Кількість
P65	лівосторонній	8

P65	правосторонній	1
Разом		9

Визначення повної та будівельної довжин станційних колій. Повна довжина колій $L_{\text{пов}}$ плану станції відповідає сумі довжин всіх дуг $e \in E$ орграфа G , тобто

$$L_{\text{пов}} = \sum_{e \in E} L_n(e), \quad (3.42)$$

де L_n – довжина n -ої дуги e_n орієнтованого графа;
 d – загальна кількість дуг орграфа G .

Кожна дуга орієнтованого графу має початкову v і кінцеву u вершини і для визначення її довжини використовується вираз

$$L_n(e) = \sqrt{(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2}, \quad (3.43)$$

де x, y – координати вершини.

Дуги орієнтованого графу містяться в списку $E = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$, k – кількість дуг в списку. Формування списку E виконується з використанням алгоритму пошуку всіх можливих простих шляхів, початкові v_i та кінцеві v_j вершини яких відповідають вершинам КК, тобто $v_i \in V_W$ і $v_j \in V_W$, $i \neq j$. При цьому вершини v_i не мають вхідних дуг, а вершини v_j – вихідних.

При обході орієнтованого графу перевіряється можливість побудови на ньому шляху від вершини v_i до вершини v_j . З цією метою для вершини v_i будується дерево маршрутів [55], де кожному вузлу відповідає певна вершина графа G . Перехід від вершини до вершини при формуванні дерева маршрутів здійснюється відповідно до їх зв'язків, починаючи з вершини v_i .

Процедура пошуку окремого простого шляху на графі G є рекурентною; при цьому для всіх вузлів дерева маршрутів перевіряється можливість побудови шляху від поточної вершини (вузла) до вершини v_j . Для вершин (вузлів), які відповідають протишерстним стрілкам (

), перевіряється можливість досягнення вершини v_j у випадку їх встановлення як по прямому напрямку, так і з відхиленням набік.

В процесі пошуку простих шляхів на орграфі G при переході від вершин v_i до вершин v_{i+1} перевіряється наявність дуги $e_n = (v_i, v_{i+1})$ в списку E . У випадку якщо дана дуга в списку відсутня, то вона додається до нього (), інакше дуга до списку не додається, а подальший пошук з вершини v_{i+1} припиняється.

Послідовність формування списку E при обході вершин орграфу G (рис. 3.22) наведена на рис. 3.23.

Після закінчення формування списку E виконується розрахунок $L_{\text{пов}}$, шляхом сумування довжин всіх дуг включених до списку. При цьому якщо серед цих дуг знаходяться суміжні (кінцева вершина однієї дуги є початковою вершиною іншої) з спільною вершиною $v_i \in V_C$ (ВК), то їх сумарна довжина ΣL коригується

$$, \quad (3.44)$$

де L_n, L_{n+1} – довжини суміжних дуг e_n і e_{n+1} ;
 T – тангенс кривої спільної вершини ВК;
 K – довжина кривої спільної вершини ВК.

Рисунок 3.23 – Послідовність формування списку дуг E графа G

Для визначення T і K використовуються параметри R та φ (див. п. 3.4.1) і вирази

$$, \quad . \quad (3.45)$$

Так, наприклад, для схеми на рис. 3.22 суміжними дугами є дуги i зі спільною вершиною 201. При параметрах вершини $R=300$ м та $\alpha=(6+20/60+25/3600)=6,340278^\circ$ значення $T=11,077$ м і $K=22,132$ м. Довжини суміжних дуг e_n і e_{n+1} складають

$$m_i$$

м. Отже загальна довжина

цих дуг дорівнює м.

Отримане значення довжини вказаних суміжних дуг враховується при визначенні $L_{\text{пов}}$.

Будівельна довжина станційних колій $L_{\text{буд}}$ на відміну від $L_{\text{пов}}$ не містить довжин стрілочних переводів і визначається за формулою

$$, \quad (3.46)$$

де n_i – кількість стрілочних переводів i -го типу;

$l_{\text{стр } i}$ – довжина стрілки i -го типу;

m – кількість типів стрілочних переводів.

В результаті розрахунків повної $L_{\text{пов}}$ і будівельної $L_{\text{буд}}$ довжин станційних колій схеми, зображеної на рис. 3.22, отримані наступні результати

$$L_{\text{пов}} = 1026,523 \text{ м}, \quad L_{\text{буд}} = 604,864 \text{ м}.$$

Визначення якісних показників схеми станції. Якісні показники проектних рішень важко врахувати при розрахунку приведених витрат по варіантам. Але при відборі конкурентоспроможних варіантів проектних рішень з множини розглядаємих нехтувати даними показниками не рекомендується. Порівняння варіантів з рівнозначними приведеними витратами проектувальник здійснює користуючись якісними показниками розроблених проектних рішень, як правило, інтуїтивно, керуючись власним досвідом. Тому кінцевий результат може бути недостовірним. У цьому зв'язку постає задача отримання якісних показників проектного рішення, які адекватно відповідатимуть конструкції колійного розвитку станції. Для оцінки даних показників і їх порівняння вони повинні бути представлені конкретними числовими значеннями.

До якісних показників можна віднести:

- найбільшу кількість одночасних переміщень в горловині станції n_n ;
- розподіл кількості стрілок на одному маршруті руху $M[n_{\text{сп}}]$ і $\sigma[n_{\text{сп}}]$;

- розподіл суми кутів повороту стрілок на одному маршруті руху $M[\alpha_{сп}]$ і $\sigma[\alpha_{сп}]$;
- розподіл суми кутів повороту кривих на одному маршруті руху $M[\alpha_{кр}]$ і $\sigma[\alpha_{кр}]$;
- розподіл довжин маршрутів руху $M[l_{мр}]$ і $\sigma[l_{мр}]$;

Задачу пошуку найбільшої кількості одночасних переміщень в горловині станції n_n можна вирішити як задачу про максимальний потік на транспортній мережі, рішення якої полягає в знаходженні такого потоку на транспортній мережі, щоб сума потоків із джерела s в стік t буде максимальною.

Перетворення вихідного орієнтованого графу станції G відбувається за рахунок додавання до нього двох вершини – джерела v_s і стоку v_t . Вершина v_s з'єднується дугами з вершинами $v_i \in V_W$ які відповідають початковим вершинам маршрутів руху, а v_t з'єднується дугами з вершинами $v_i \in V_W$ – кінцевими вершинами маршрутів руху. Формування списків початкових **B** та кінцевих **F** вершин маршрутів руху покладається на проектувальника.

Наприклад, для схеми стрілочної горловини на рис. 3.22 задані початкові вершини маршрутів руху 101, 102 і 103, а кінцеві – 104, 105, 106 і 107. У цьому випадку модифікований оргграф G' вказаної горловини станції буде мати вигляд, зображений на рис. 3.24.

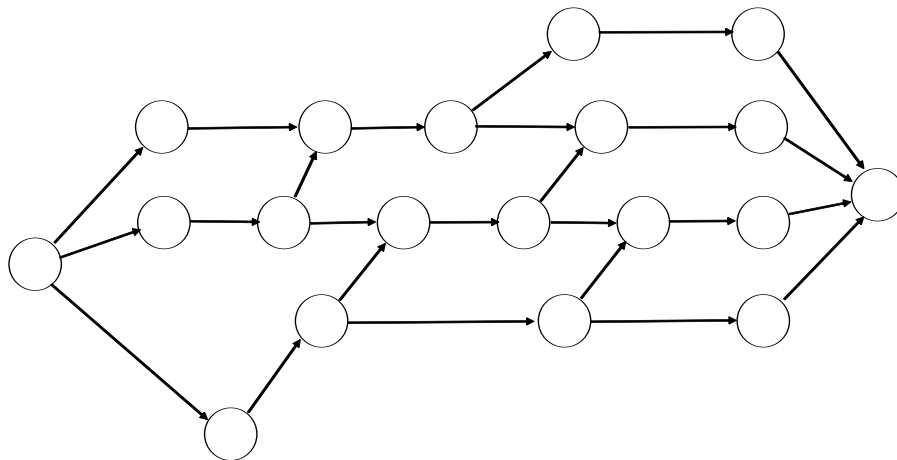


Рисунок SEQ 1 3. SEQ рисунок \s 1 24 – Модифікований орієнтований граф G'

В процесі перетворення оргграфа G орієнтація дуг зберігається, що дозволяє виключити цикли на графі. Далі дугам графа G' присвоюється пропускна здатність $r=1$, що гарантує у процедурі пошуку максимального потоку використання кожної дуги лише один раз. Отримане значення максимального потоку на графі G' буде відповідати найбільшій кількості одночасних пересувань n_n в горловині станції, тобто .

Для визначення максимального потоку на графі G' застосовується алгоритм Едмондса-Карпа [54]:

1) Всім дугам транспортній мережі присвоїти нульовий потік $p_i=0$, $i=1, 2, \dots, z$, де z – загальна кількість дуг на мережі.

2) В залишковій транспортній мережі знайти найкоротший шлях з джерела v_s в стік v_t . Залишковою називається така мережа, яка містить тільки дуги з резервом пропускної здатності , . Визначення шляху виконується за допомогою алгоритму пошуку в глибину [55]. Якщо такого шляху не знайдено, то рішення завершено.

3) Через знайдений шлях пропустити максимально можливий потік. Для цього на ньому визначити дугу з мінімальним резервом пропускної здатності . Далі потік p_i кожної дуги знайденого шляху збільшити на , тобто . В процесі модифікації залишкової мережі дуги, для яких з мережі виключити.

4) Якщо , то збільшити на , тобто .
Перейти до кроку 2.

Для прикладу, на рис. 3.25 наведена послідовність рішення задачі про максимальний потік на графі G' (див. рис. 3.24). Таким чином, найбільша кількість одночасних переміщень в горловині станції складає $n_n = 3$.

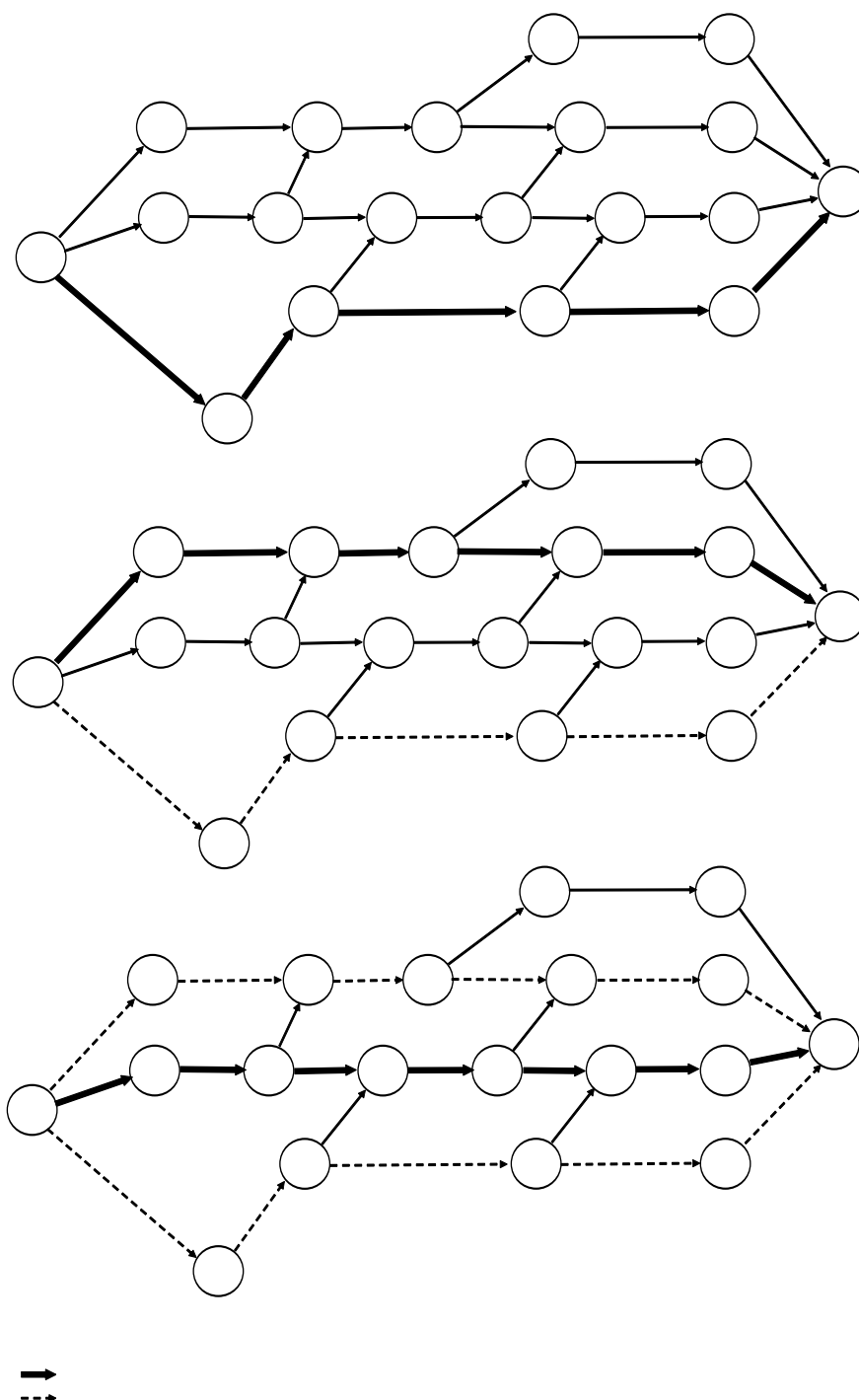


Рисунок SEQ 1 3. SEQ рисунок \s 1 25 – Вирішення задачі про максимальний потік

Якісні показники кількість стрілок $n_{сп}$, сума кутів повороту стрілок $\alpha_{сп}$ і кривих $\alpha_{кр}$ на одному маршруті є дуже важливими, оскільки їх значення впливають на експлуатаційні витрати варіанту проектного рішення, пов'язаними із зношуванням верхньої будови колії. Очевидно, що між якісними показниками і експлуатаційними витратами існує прямий пропорційний зв'язок – при збільшенні значень показників збільшуються експлуатаційні витрати на утримання стрілочних переводів і верхньої будови

станційних колій.

Значення показників $n_{сп}$, $\alpha_{сп}$ і $\alpha_{кр}$ визначається у два етапи. На першому етапі формується список **М** всіх можливих маршрутів на схемі станції між початковими вершинами списку **В** і кінцевими вершинами списку **Г**. Вказана процедура використовує алгоритм пошуку шляху в глибину (див. п. 3.5.2). Кожен маршрут списку **М** представлений структурою

$$, \quad (3.47)$$

де I_m – ідентифікатор маршруту;
 v_p, v_k – початкова та кінцева вершини маршруту;
V – список номерів N_j вершин, включених до маршруту;
 n_m – загальні кількість маршрутів в списку **М**.

Необхідно зауважити, що при формуванні списку **V**, для вершин $v_j \in V_s$ (ЦП), що встановлені з відхиленням набік, номер N_j позначається знаком «-». Так, в результаті пошуку всіх можливих маршрутів руху між початковими вершинами 101, 102 та 103 і кінцевим – 104, 105, 106 та 107 на схемі горловини (див. рис. 3.22) буде отриманий наступний список маршрутів **М**:

На другому етапі виконується аналіз вершин списку **V** знайдених маршрутів $M_i \in M$ та розрахунок числових характеристик (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення) випадкових величин $n_{сп}$, $\alpha_{сп}$, $\alpha_{кр}$ [REF ист_шторм_теорвер_матстат_1970 \h 138]

$$, \quad (3.48)$$

де μ – математичне очікування та середньоквадратичне відхилення випадкової величини x ;

n – обсяг вибірки.

Значення $n_{сп}$ для кожного маршруту визначається підрахунком

кількості вершин в списку **V**, для яких $\alpha_{кр} > \alpha_{сп}$. Сума кутів повороту

стрілочних переводів α_j на маршруті руху визначається сумуванням стрілочних кутів α_j для вершин списку V з $N_j < 0$. При цьому значення α_j залежить від типу стрілочного переводу S (див. п. 3.4.1). Сума кутів повороту кривих $\alpha_{кр}$ на маршруті руху визначається сумуванням кутів ϕ_j (див. п. 3.4.1)

для вершин списку V з

Так, розрахунок числових характеристик величин $n_{сп}$, $\alpha_{сп}$, $\alpha_{кр}$ за формулами (3.48) для схеми горловини (див. рис. 3.22) приведе до наступного результату:

$$\begin{aligned} M[n_{сп}] &= 3,44 & \sigma[n_{сп}] &= 0,73 \\ M[\alpha_{сп}] &= 10,57^\circ & \sigma[\alpha_{сп}] &= 4,74^\circ \\ M[\alpha_{кр}] &= 1,41^\circ & \sigma[\alpha_{кр}] &= 2,80^\circ \end{aligned}$$

Конструкція колійного розвитку станції або її окремої горловини повинна забезпечувати мінімальний пробіг рухомого складу по заданому маршруту руху. Для оцінки якості конструкції горловини або станції використовуються показники $M[l_{мр}]$ і $\sigma[l_{мр}]$. Значення довжини $l_{мр}$ маршруту руху M_i визначається за допомогою його параметрів $v_{п}$, $v_{к}$ і V (3.47). При цьому відстань між $v_{п}$ і $v_{к}$ відповідає сумі відстаней між їх проміжними вершинами. Відстань між суміжними вершинами визначається за допомогою виразу (3.43). Так, розрахунок розподілу довжин маршрутів руху за формулами (3.48) для схеми горловини (див. рис. 3.22) приведе до наступного результату:

$$M[l_{мр}] = 168,96 \text{ м} \quad \sigma[l_{мр}] = 3,06 \text{ м} \quad l_{мр} \in [162,02; 170,94]$$

Визначення раціональних варіантів конструкції колійного розвитку елементів станцій. На заключному етапі процесу проектування нової або реконструкції існуючої станції буде отримана множина проектних рішень $\{R_i\}$, де кожне рішення характеризується набором критеріїв K_j , тобто $R_i = \{K_j\}$. При значній кількості проектних рішень постає складна задача відбору кращих (конкурентоспроможних) варіантів з усієї сукупності, тобто

формування множини $\{R_{opt}\}$. Як правило, вказану процедуру виконує особа, яка приймає рішення (ОПР) або група спеціалістів, спираючись на власний досвід. У цьому зв'язку, з метою прискорення процедури відбору конкурентоспроможних варіантів проектних рішень на основі комплексної оцінки планів колійного розвитку елементів залізничних станцій в дисертаційній роботі розроблено відповідну методику, яка базується на принципах теорії прийняття рішень та методах аналізу ієрархій [80, 103, 141].

Метод аналізу ієрархій (МАІ) призначений для рішення багатокритеріальних задач з кінцевою множиною можливих векторів. Його застосування засноване на експертній інформації про відносну важливість критеріїв у вигляді матриці парних порівнянь. МАІ був запропонований американським математиком Т. Сааті [103, 141]. У теперішній час МАІ

широко застосовується у теорії і практиці багатокритеріального вибору.

Відбір кращих варіантів проектних рішень у відповідності до МАІ передбачає виконання наступних етапів:

- 1) структурування проблеми вибору у вигляді ієрархії «мета → критерії → альтернативи» (рис. 3.26);
- 2) побудова множини матриць парних порівнянь критеріїв ;
- 3) визначення нормованих коефіцієнтів важливості критеріїв ;
- 4) розрахунок комплексного вагового коефіцієнту та відбір кращої альтернативи.

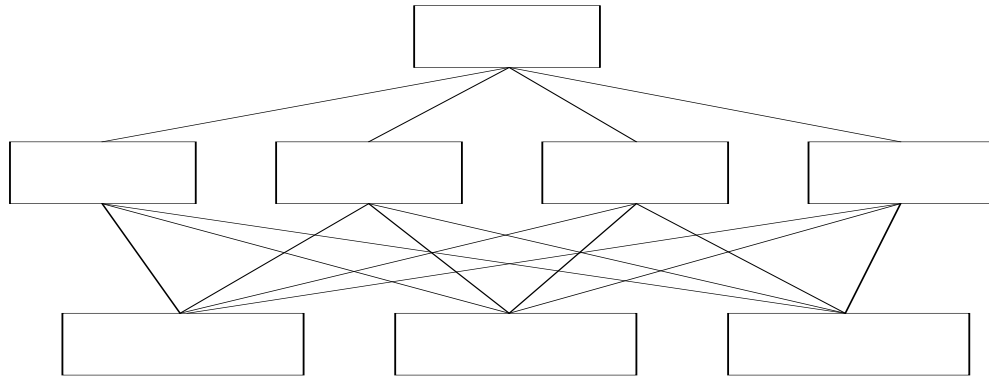


Рисунок 3.26 – Ієрархія МАІ

Основним елементом для представлення рівня взаємовпливу критеріїв у МАІ є матриця парних порівнянь [80]

$$, \quad (3.49)$$

де — число, яке показує у скільки раз вага критерію більше ваги критерію .

Існує декілька методів формування матриці парних порівнянь:

- оціночний метод, який базується на використанні статистичних спостережень [107];
- метод експертних оцінок, в якому ОПР за допомогою встановленої бальної шкали оцінює важливість критеріїв [22];
- параметричний метод, який базується на припущенні, що ОПР може вказати єдине серед трьох лінгвістичних значень критерію, яке йому відповідає [57].

З урахуванням того, що значення кожного критерію відомі заздалегідь до процедури відбору кращого рішення , найбільш приємним є

метод рангових оцінок, розроблений Ротштейном А.П. [101].

Матриця парних порівнянь у відповідності до МАІ повинна відповідати наступним вимогам:

1) Всі елементи матриці парних порівнянь невід’ємні, а її діагональні елементи дорівнюють одиниці, тобто $a_{ii} = 1$, для всіх номерів i .

2) Матриця парних порівнянь зворотно симетрична, тобто для всіх номерів i, j .

3) Матриця парних порівнянь сумісна, тобто рівності мають місце для всіх номерів i, j, k .

4) Ваговий вектор w є власним вектором, який відповідає максимальному власному значенню матриці A .

Для виявлення суперечливості результатів, які отримані при формуванні матриці парних порівнянь використовується кількісна оцінка – індекс погодженості K . Індекс погодженості – кількісна оцінка суперечливості результатів порівнянь, який надає інформацію про ступінь порушення погодженості і визначається за допомогою виразу

$$K = \frac{\lambda_{\max} - n}{n(\lambda_{\max} - 1)} \quad (3.50)$$

Індекс погодженості K порівнюється з випадковим індексом $K_{\text{вип}}$, який був отриман Томасом Саати [103, 141] випадковим чином по шкалі від 1 до 9 зворотно симетричної матриці з відповідними зворотними величинами елементів. Середній показник $K_{\text{ср}}$ наведений у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення середнього показника $K_{\text{ср}}$ в залежності від розміру матриці порівнянь

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,40	1,45	1,49

Значення відношення $K/K_{\text{ср}}$ вважається припустимим. В іншому випадку потрібно перебудувати матрицю порівнянь.

Нормований коефіцієнт важливості критеріїв w_j визначається як

$$\dots \quad (3.51)$$

Власне значення матриці визначається за допомогою виразу

$$\dots \quad (3.52)$$

Процес визначення глобальних пріоритетів для альтернативи можна інтерпретувати як величину корисності

$$\dots \quad (3.53)$$

де – відносна значимість альтернативи з урахуванням значимості критерію .

Таким чином, глобальний пріоритет визначається як сума приватних пріоритетів. Визначені глобальні пріоритети являють собою ваги відносно цільових критеріїв. Вони характеризують альтернативи, які враховуються на нижчому рівні, по оцінці ОПР і сприяють досягненню головної мети.

Приклад відбору кращих проектних рішень з множини можливих варіантів наведений в додатку Г.

Висновки по розділу 3

Отримала подальшого розвитку система структурно-параметричних моделей станції (вхідна, внутрішня, вихідна), а також алгоритмів виконання проектних процедур, які дозволяють автоматизувати процес синтезу колійного розвитку станцій на всіх його етапах. В основу моделей покладено представлення схем станцій у вигляді орієнтованих графів.

Розроблено новий підхід до формування вхідної геометричної моделі станції у інтерактивному графічному вигляді. При цьому для зображення схеми станції використовуються не тільки відрізки, а компоненти, які являють собою вже готові елементи стрілочних горловин, станційних парків тощо. На відміну від існуючого способу формування вхідної геометричної моделі, запропонований дозволяє значно прискорити процес проектування колійного розвитку залізничної станції.

Удосконалені у внутрішній моделі методи розрахунку конструктивних параметрів елементів колійного розвитку залізничних

станцій, що дозволяє формалізувати та виконувати автоматизований синтез спеціалізованих стрілочних вулиць та скорочених з'єднань.

Проектування великих станцій, які складаються з декілька парків, а також розташованих на кривих здійснюється шляхом їх розбиття на окремі блоки, в границях яких колії прямолінійні і горизонтальні. Параметри кожного блоку розраховуються в локальній системі координат, після чого блоки об'єднуються в глобальній системі координат станції. При цьому виконується перетворення координат точок блоків і спряження відповідних колій з'єднувальними кривими.

При проектуванні станційних парків або елементів станцій, розташованих у прямій ділянці особливої уваги набуває задача забезпечення потрібної корисної довжини станційним коліям. У цьому зв'язку розроблений метод автоматизованого розрахунку потрібної корисної довжини колій, який складається з чотирьох етапів: 1) визначення координат точок однієї з горловин парку; 2) визначення координат точок іншої горловини при заданій довжині однієї з колій парку – розрахункової колії; 3) розрахунки корисних довжин колій парку; 4) визначення потрібної зміни довжини розрахункової колії та повторний розрахунок координат усіх точок. Експерименти показали, що використання розробленого методу значно скорочує час на автоматизований синтез планів колійного розвитку залізничних станцій.

Оцінка планів колійного розвитку залізничних станцій виконується з використанням комплексу показників, які дозволяють враховувати конструктивні параметри та якісні особливості варіантів проектних рішень. Розрахунок вказаних показників базується на принципах теорії графів та методах їх аналізу.

Відбір кращих варіантів проектних рішень оснований на методі аналізу ієрархій, який передбачає виконання наступних етапів: 1) структурування проблеми вибору у вигляді ієрархії «мета → критерії → альтернативи»; 2) побудова множини матриць парних порівнянь критеріїв; 3) визначення коефіцієнтів важливості критеріїв; 4) розрахунок комплексного вагового коефіцієнту та відбір кращої альтернативи.

Застосування розробленого методу відбору найкращих альтернатив серед можливих в системі автоматизованого синтезу планів колійного розвитку залізничних станцій дозволяє значно скоротити час на пошук конкурентоспроможних варіантів проектних рішень.

РОЗДІЛ

ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕРГАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ КОНСТРУКЦІЇ ЇЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ І ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація часу знаходження вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускну і переробна спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал. Для рішення вказаної складної та суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка плануємих на станціях змін їх конструкції та технології роботи.

Загальні принципи побудови функціональної моделі станції

Ефективним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів є імітаційне моделювання станційних процесів [12, 77, 88, 140, 142]. Цей метод широко використовується в наукових дослідженнях і може забезпечити моделювання технологічних процесів (ТП) станцій з будь-яким ступенем деталізації. Однією з основних проблем, що виникають при створенні моделей залізничних станцій, є імітація діючих систем управління, основною ланкою яких є людина-диспетчер (ЛД). Очевидно, що без адекватного моделювання вказаних систем одержання достовірної кількісної оцінки показників функціонування станцій неможливе.

Розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій, що враховує вплив людського фактора, присвячена досить велика кількість робіт (див. наприклад [49, 105, 13, 14]).

Так, у роботі [49] наведена методика моделювання діяльності ЛД за допомогою логічних схем алгоритмів (ЛСА) призначена для дослідження завантаження поїзних диспетчерів і чергових по станції. Аналіз діяльності оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) показує, що диспетчер у процесі своєї роботи звичайно вирішує декілька різних задач одночасно, які найчастіше вимагають рішень, що взаємно виключають. Друг друга Побудова ж ЛСА, які враховують усе різноманіття ситуацій у діяльності диспетчера, представляється досить складним завданням.

Для побудови моделі діяльності ЛД в [105] розроблена методика, в основу якої покладені поняття теорії інформації. Діяльність диспетчера розглядається як інформаційний процес і моделюється як послідовність переходів з одного інформативного стану в інше в міру вступу інформації про об'єкт управління. Запропоновану методику рекомендується використовувати для визначення завантаження ЛД.

У роботах [13, 14] запропонована концепція ергатичних моделей, у яких особа, яка виконує моделювання (ОВМ), бере безпосередню участь у процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера. Зазначені моделі по своїй природі найбільш точно враховують біхевіоральні фактори, тобто фактори асоційовані з поведінкою людини. Розроблені моделі детально імітують технологічні процеси станцій і досить ефективні при створенні комп'ютерних тренажерів ОДП [16]. Однак, використання вказаних моделей для кількісної оцінки параметрів станцій ускладнюється досить значними витратами часу, необхідного для моделювання роботи станції протягом заданого періоду часу.

Таким чином, для оцінки параметрів функціонування станцій необхідно створення імітаційної моделі, що враховує, з одного боку, вплив людського фактора, а з іншого – зменшення витрат часу на моделювання роботи станції.

У цьому зв'язку поставлена задача розробки функціональної моделі станції (ФМС), орієнтованої на рішення задачі оцінки техніко-технологічних параметрів станцій.

ФМС будується на основі ергатичної моделі, що дозволяє усунути зазначені вище недоліки. З урахуванням цієї обставини в роботі сформульовані принципи побудови ергатичних моделей, призначених для визначення техніко-експлуатаційних параметрів станцій:

- наявність у ФМС інформаційній моделі станції, яка володіє засобами для оцінки поточної ситуації і передачі управлінських рішень ОВМ у ФМС;
- вибір черговості обслуговування і маршрутів руху транспортних об'єктів особою, яка здійснює моделювання;
- імітація пересувань рухомого состава по станції з відображенням в інформаційній моделі;
- максимальне прискорення системного часу у випадках, коли технологічний процес строго формалізований і не вимагає втручання ОВМ;
- автоматичний перехід у реальний масштаб системного часу на період прийняття рішень ОВМ.

Структура функціональної ергатичної моделі станції

При створенні моделі використані окремі модулі, розроблені раніше [12, 13]. До складу ФМС включені моделі колійного розвитку станції (МКР), керування переміщенням рухомого складу (МКПРС), технологічного процесу (МТП) і інформаційна модель (ІМ). Структура ФМС та схема взаємодії моделей наведені на рис. 4.1.

Необхідно зазначити, що при створенні моделей МКПРС і ІМ, на відміну від існуючих, використаний новий підхід, метою якого є мінімізація часу, необхідного для формалізації технічного оснащення конкретної станції. Це суттєво прискорить тиражування ФМС для станцій залізничної мережі України.

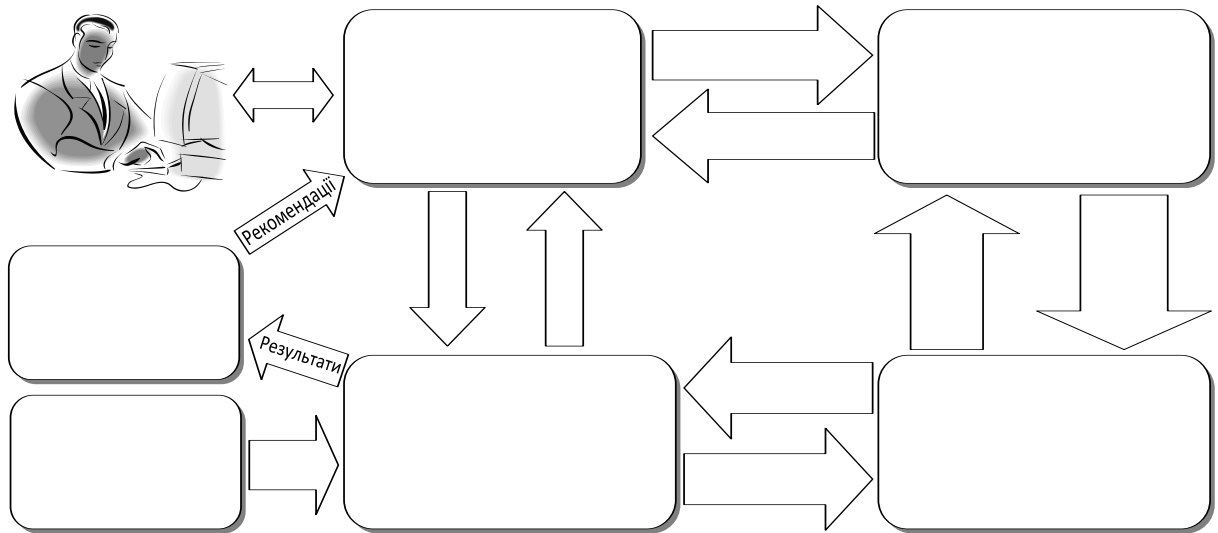


Рисунок 4.1 – Структура функціональної моделі залізничної станції

Модель колійного розвитку. Модель колійного розвитку станції будується на базі геометричної моделі станції, яка була отримана на етапі синтезу (див. розділ 3). У процесі моделювання МКР повинна надавати відповідним модулям (див. рис. 4.1) наступну інформацію: стан і положення стрілочних переводів, стан ділянок колії, положення об'єктів на колійних ділянках, параметри маршрутів руху об'єктів. Крім того, МКР повинна сприймати такі керуючі команди: установити стрілку в задане положення, помістити новий об'єкт на ділянку колії, вилучити об'єкт із моделі колійного розвитку, перемістити об'єкт на задану відстань у заданому напрямку.

Для реалізації вказаних функцій МКР включає геометричну модель плану колійного розвитку (ГМКР) і модель заняття колійних ділянок (МЗД).

ГМКР побудована на основі орієнтованого зваженого графа $G(V, E)$ (див. розділ 3) і відображає состав елементів станції (ділянки колій, стрілочні переводи, світлофори, ізолювані стики і кінці колій), їх взаємозв'язки, геометричні розміри та поточний стан. В орграфі G виділено три підмножини вершин: V_S , V_C , V_Z . Вершини $v_i \in V_S$ відповідають центрам стрілочних переводів; вершини $v_j \in V_C$ – світлофорам; вершини $v_k \in V_Z$ – ізолюваним стикам і кінцям колій. Для поділу множини вершин орграфа G на підмножини, кожному з них виділені непересічні групи номерів: $N_S = \{1, \dots, 199\}$, $N_C = \{200, \dots, 399\}$, $N_Z = \{400, \dots, 999\}$. Дугам орграфа $e \in E$ поставлені у відповідність ділянки колій між окремими вершинами.

Орграф G у пам'яті ЕОМ представляється списком дуг. При цьому кожна дуга орграфа позначається впорядкованою парою вершин $e = (v \rightarrow u)$, де v – початкова, а u кінцева вершина; при цьому прийняте, що всі дуги орієнтовані зліва направо.

МЗК містить відомості про поточне положення об'єктів рухомого складу (поїздів, локомотивів, составів) на коліях станції. Це дозволяє контролювати фактичний стан кожної колійної ділянки (зайнята/вільна), ідентифікувати об'єкти, що перебувають на окремій колійній ділянці, і

моделювати їх рух.

Для моделювання руху об'єктів використовується методика, що базується на припущенні про рівноприскорений (рівноуповільнений) характер пересувань. На кожному кроці ΔT_c виконується коригування параметрів руху (прискорення та швидкості) кожного рухомого об'єкта, на основі чого визначаються його нові координати. У разі встановлення на станції обмеження по швидкості руху, пов'язаного, наприклад, з незадовільним станом колійних ділянок, дуги , які відповідають вказаним ділянкам, доповнюють параметром – максимальна швидкість руху на ділянці. Параметр враховується при моделюванні руху об'єктів по станції.

Модель технологічного процесу. Модель технологічного процесу станції містить дані про об'єкти, що обслуговуються, і використовується для моделювання їх обслуговування, а також імітації заняття і звільнення виконавців. У розробленій моделі станція або її окремий технологічний комплекс розглядається як керована багатофазна багатоканальна СМО [12, 16]. У вказаній СМО вхідний потік утворюють об'єкти, що потребують обслуговування на станції (поїзда, состави, локомотиви). Фазами обслуговування є окремі технологічні операції (закріплення состава, технічний огляд тощо), які виконуються в певній послідовності відповідно до технологічного процесу (ТП). Тривалості операцій ТП моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкта. Обслуговуючими обладнаннями є виконавці технологічних операцій (маневрові локомотиви, сортувальні гірки, бригади ПТО і ін.). Дисципліна обслуговування об'єктів (черговість обробки) встановлюється ОВМ.

Для моделювання технологічних процесів обслуговування об'єктів на станціях використовуються детерміновані скінчені автомати (СА) [REF ист_Трахтенбрат_Конечные_автоматы \h 119]. Детермінований СА забезпечує виконання з кожним об'єктом усього комплексу технологічних операцій відповідно до їх взаємної обумовленості і дозволяє імітувати взаємодію ОВМ із виконавцями.

Модель керування переміщенням рухомого складу

В ФМС процес функціонування електричної централізації реалізований за допомогою розробленої моделі МКПРС, яка вирішує задачі:

- контролює процес готування маршрутів, що виключає можливість ворожих пересувань;
 - передає і приймає мінімум інформації від ОВМ за допомогою ІМ.
- У цьому зв'язку МКПРС виконує наступні функції:
- контролює стан колійних і стрілочних ізольованих секцій (ІС) станції ;
 - імітує перевід стрілок і перемикання світлофорів по маршрутах руху;

- синхронізує стан динамічних елементів ІМ зі станом моделі колійного розвитку на кожному кроці моделювання;
- обробляє команди від моторних елементів інформаційної моделі (кнопок).

МКПРС побудована на основі зваженого орієнтованого графа $G(V, E)$. Множина вершин графа V ділиться на дві підмножини вершин: стрілочні переводи V_s (вершини S -типу) і сигнали V_c (вершини C -типу). Дугам графа $e \in E$ відповідають ізольовані колійні ділянки системи ЕЦ.

У пам'яті ЕОМ граф G представлений списком дуг, де кожна дуга задана початковою і кінцевою вершиною. Орієнтація дуг графа прийнята зліва направо. Для реалізації моделюємих функцій граф схеми G доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи станції і їх функціональні зв'язки в системі станційної автоматики.

Вершинам графа G поставлені у відповідність наступні структури.

Вершинам S -типу

$$, \quad (4.1)$$

де N_s – ідентифікатор стрілочного перевodu в МКР;
 e_1, e_2, e_3, e_4 – дуги, пов'язані з даною вершиною в МКР;
 I – номер ІС, у яку включений даний стрілочний перевід;
 τ – положення стрілочного перевodu ($\tau = 0$ – по прямій колії, $\tau = 1$ – по боковій колії);
 n_s – загальне число стрілок на станції.
 Вершинам C -типу

$$, \quad (4.2)$$

де N_c – ідентифікатор сигналу в МКР;
 e_n – дуга, початком якої є дана вершина в МКР;
 I_n – номер ІС, заняття якої ініціює перекриття сигналу;
 σ_c – стан сигналу ($\sigma_c = 0$ – відкритий, $\sigma_c = 2$ – закритий).
 n_c – загальне число сигналів на станції.
 Кожній дузі графа G у моделі МКПРС поставлена у відповідність структура

$$, \quad (4.3)$$

де N_{py} – номер колійної ділянки в МКР;
 q – номер дуги або вершини, інцидентній даній дузі;
 I – номер ізольованої секції системи ЕЦ, у яку включена дана ділянка;
 $\sigma_{ис}$ – стан відповідної ІС ($\sigma_{ис} = 0$ – ІС вільна, $\sigma_{ис} = 1$ – замкнена в маршруті, $\sigma_{ис} = 2$ – зайнята рухомим складом);

r – загальна кількість ІС на станції.

Для прикладу на рис. 4.2 наведений фрагмент схеми станції в моделі МКПРС.

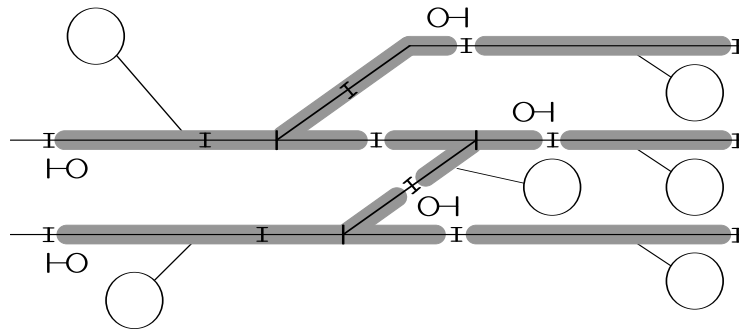


Рисунок 4.2 – Представлення колійного розвитку станції в моделі МКПРС

На кожному кроці системного часу МКПРС здійснює контроль поточного стану всіх ізольованих секцій. При цьому для кожної ІС перевіряється зайнятість рухомим складом колійних ділянок у МЗК. Ізольована секція вважається вільною, якщо всі колійні ділянки, що входять до її складу, не зайняті рухомим складом. При зміні стану секції (замикання, заняття або звільнення) в інформаційну модель передається команда, у якій вказується номер ІС I і її стан $\sigma_{ис}$ (4.3).

Для моделювання переміщень поїздів і маневрових составів по станції необхідний повний список усіх можливих маршрутів $M_i, i=1, \dots, n$. Під маршрутом будемо розуміти список ізольованих ділянок U (4.3), які займає об'єкт при русі по станції. При цьому початковими і кінцевими точками i -го маршруту повинні бути вершини C -типу (сигнали) і відповідні їм ізольовані ділянки U . У цьому зв'язку окремий маршрут представляється структурою

$$, \quad (4.4)$$

де N_m – ідентифікатор маршруту;
 v_n, v_k – відповідно початковий і кінцевий сигнали маршруту;
 U – список ізольованих ділянок, зайнятих у маршруті;
 S – список номерів стрілочних переводів і їх положень у маршруті.

Для побудови вказаного списку маршрутів використовується МКР станції у вигляді орієнтованого графа G . Очевидно, що напрямок початкового v_n і кінцевого v_k сигналів не повинні збігатися. У цьому зв'язку, при пошуку маршруту M_i виконується обхід графа G убік, відповідний до напрямку установки сигналу v_n поки не буде знайдений сигнал v_k із протилежним напрямком дії. При цьому у відповідні списки даного маршруту M_i (4.4) заносяться номери ізольованих ділянок, стрілочних переводів і їх положень у маршруті. Пошук маршрутів здійснюється роздільно в кожній горловині парку станції.

У результаті такого обходу графа G , для кожної вершини v_n формується дерево маршрутів P , де кожному вузлу дерева відповідає

ідентифікатор певної ізольованої ділянки U_l (4.3). При цьому один вузол є коренем дерева, а інші – розбито на $m > 0$ піддерев $P_1, P_2, \dots, P_m$. Вузли, що не мають піддерев (листя), є кінцевими точками маршруту. Упорядкована множина дерев, побудованих від усіх початкових точок маршрутів у горловині, визначимо як ліс. Ліс маршрутів для горловини парку показано на рис. 4.2, представлений на рис. 4.3.

При цьому потрібно відзначити, що деякі вузли, що не мають піддерев (листя), можуть мати однакову нумерацію. Подібні випадки свідчать про наявність у горловині варіантних маршрутів. Загальне число листів у всіх деревах відповідає числу можливих маршрутів n у горловині.

На підставі сформованих дерев P_m одержують списки маршрутів, які надалі класифікуються по категоріям (маршрути прийому, відправлення з розбивкою по напрямках, а також маневрові з поділом по їх спеціалізації – заїзд, насування, перестановка тощо). При цьому маршрути кожної такої групи при необхідності сортують у порядку переваги їх напрямку, враховуючи при цьому варіантні маршрути.

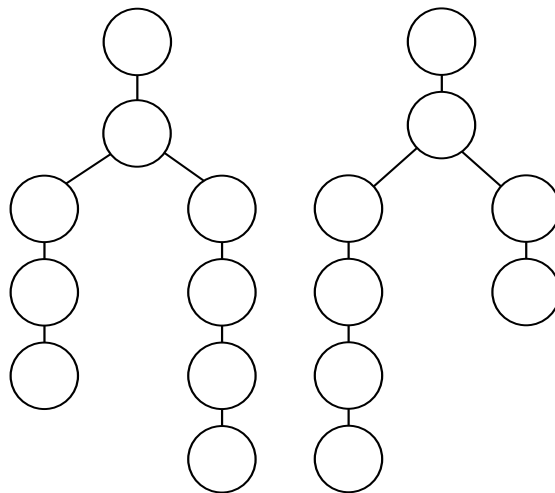


Рисунок 4.3. Ліс маршрутів горловини парку

Інформаційна модель станції

При ергатичному моделюванні залізничних станцій з метою його прискорення, основну частину моделювання технологічного процесу виконує ЕОМ. Однак, при виникненні конфліктних ситуацій, що вимагають прийняття управлінських рішень (вибір колій прийому поїзда, вибір черговості обслуговування составів, вибір локомотива і т.д.), ці дії покладають на ОВМ. У цьому зв'язку ФМС повинна в інтерактивному режимі забезпечити ОВМ можливість контролю поточної ситуації, прийняття рішень і передачі керуючих команд. З цією метою до складу ФМС введена інформаційна модель, яка використовується ОВМ для реалізації вказаних функцій.

Інформаційна модель включає сукупність даних, необхідних ОВМ для контролю та керування об'єктами в моделі станції. У цьому зв'язку ІМ для ФМС приймально-відправного парку вантажної станції України (див. рис. 4.4

, а) представлена у вигляді мнемосхеми парку і набору елементів візуального контролю та керування (див. рис. 4.4, б).

а)

б)

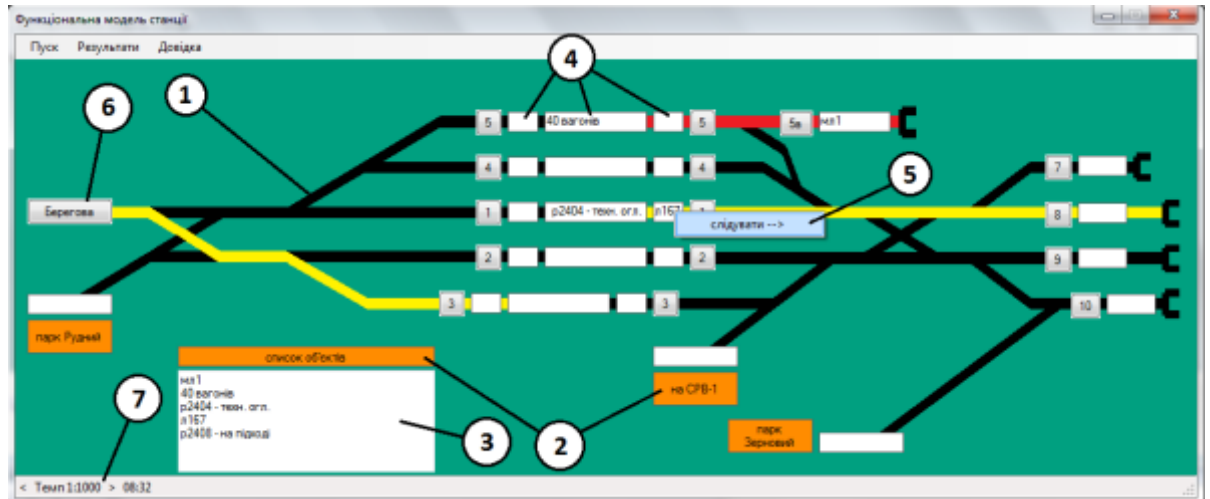


Рисунок 4.4 – Функціональна ергатична модель приймально-відправного парку вантажної станції: а) колійний розвиток парку прийому; б) інформаційна модель

Схема парку зображена у вигляді окремих ліній l (рис., 4.4, б), кожна з яких являє собою окрему ділянку колій. З метою візуального контролю зайнятості ізолюваних стрілочних і колійних секцій, лінії можуть бути трьох кольорів: червоний – секція зайнята рухомим складом, жовтий – секція замкнена в маршруті, чорний – секція вільна. Колір лінії визначається поточним станом ізолюваної секції. Кожна лінія в ІМ представлена структурою

$$, \quad (4.5)$$

де N_D – ідентифікатор ізолюваної секції з моделі МКПРС;

x_1, y_1 – екранні координати початку лінії;

x_2, y_2 – екранні координати кінця лінії;

w_d – ширина лінії в пікселях.

Для виводу в ІМ написів або зображень використовуються спеціалізовані мітки 2 (рис. 4.4, б).

Мітки в ІМ представлені структурою

$$Z = \{x_3, y_3, x_4, y_4, N_Z\}, \quad (4.6)$$

де x_3, y_3 – екранні координати верхнього лівого кута елемента;

x_4, y_4 – відповідно ширина і висота елемента;
 N_z – ім'я файлу із зображенням мітки.

Для обліку об'єктів рухомого складу, що перебувають у парку і на підходах до нього, у ІМ включений динамічний список об'єктів 3 (рис. 4.4, б), який відображає тип і номера об'єктів рухомого складу.

Вікно списку об'єктів представлено структурою

$$L = \{x_3, y_3, x_4, y_4, L_{obj}\}, \quad (4.7)$$

де L_{obj} – список назв об'єктів і їх ідентифікаторів.

Для відображення стану колійних ділянок, на яких можуть перебувати локомотиви або групи вагонів, у ІМ передбачені інформаційні поля 4, у яких вказуються номери локомотивів або ідентифікатори групи вагонів (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б). Інформаційне поле в ІМ представлено структурою

$$Q = \{N_Q, x_3, y_3, w_q, I_{obj}, T_{obj}\}, \quad (4.8)$$

де N_Q – ідентифікатор інформаційного поля;

w_q – ширина інформаційного поля;

I_{obj} – ідентифікатор об'єкта із МКР, дані якого відображаються в полі;

T_{obj} – текст, що відображається в полі.

Керування об'єктами рухомого складу здійснюється за допомогою контекстних меню команд 5 (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б). У цих меню приводиться список команд, які може виконати об'єкт у поточний момент часу. Контекстні меню активізуються при виборі вказаних вище полів тільки в тих випадках, коли об'єкти перебувають на відповідних колійних ділянках в очікуванні виконання певних дій. Контекстне меню в ІМ представлено структурою

$$M = \{L_C, S_C, I_{obj}\}, \quad (4.9)$$

де L_C – список доступних для об'єкта команд, який динамічно оновлюється;

S_C – список сигналів, які посилаються у СА об'єкта, при виборі певної команди.

Для готування маршруту переміщення об'єктів по станції в ІМ передбачені кнопки 6 (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б). Кнопка представлена структурою

$$B = \{N_B, x_3, y_3, x_4, y_4, C_B, F_B\}, \quad (4.10)$$

де N_B – ідентифікатор кнопки, відповідний до ідентифікатора сигналу з моделі МКПРС;

C_B – назва кнопки (текст, що відображається на кнопці);

розвитку станції, її технічного оснащення та технології роботи. ФМС дозволяє за результатами моделювання встановити значення техніко-експлуатаційних показників, які використовуються для аналізу роботи станції, а також для техніко-економічного порівняння і вибору варіантів удосконалення конструкції і технології її роботи.

Керування роботою станції в ергатичній моделі. У процесі моделювання в приймально-відправний парк вантажної станції прибувають поїзди в розформування. Перед прибуттям чергового поїзда в інформаційній моделі з'являється вікно з інформацією про номер поїзда і напрямком, з якого він прибуває (рис. 4.6). При цьому в список об'єктів 3 ІМ (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б) додається номер даного поїзда.

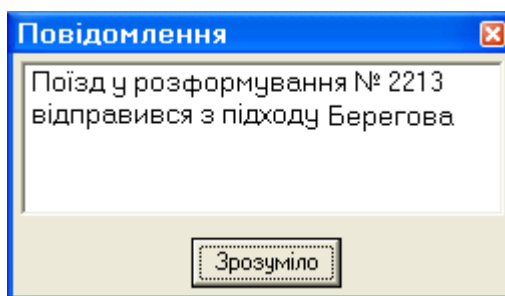


Рисунок 4.6 – Діалогове вікно з інформацією про підхід і номер поїзда

ОВМ керує прибуттям поїзда до парку, вибираючи номер приймально-відправної колії. Для цього необхідно натиснути на кнопку, відповідну певному підходу, а потім на кнопку з номером обраної колії прийому. Наприклад, для прийому поїзда з напрямку «Берегова» на колію №4 необхідно по черзі натиснути кнопки «Берегова» і «4» (див. рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б). Така організація моделі дозволяє суттєво спростити керування прийомом поїздів, при цьому в моделі станції автоматично виконуються всі необхідні дії, пов'язані з готуванням маршруту прийомом на реальній станції без участі ОВМ. Модель перевіряє стани ізольованих ділянок і станційних сигналів, положення стрілочних переводів, включених у маршрут, і, якщо маршрут можливий, то в ІМ лінії 1 (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б), відповідні колійним і стрілочним ізольованим секціям маршруту, фарбуються в жовтий колір. Це дозволяє ОВМ контролювати правильність виконання заданої команди. Якщо дані дії в інформаційній моделі не виконуються, то це свідчить про неможливість реалізації даного маршруту. При наявності варіантних маршрутів у моделі здійснюється їх вибір у порядку переваги.

Після прибуття поїзда його номер відображається в інформаційному полі, розташованому на колії прийому (рис. REF рис4_инфо_модель \h 4.4, б). Надалі в цьому ж полі будуть відображатися технологічні операції, які виконуються з даним составом у поточний момент. Після відчеплення поїзного локомотива від составу, у сусідньому, меншому по розміру, полі відобразиться його номер, а в список об'єктів 3 додасться номер локомотива. Потім з використанням контекстного меню ОВМ повинен надати команду

про слідування поїзного локомотива на тупикову колію №8. Вказані дії відображаються в ІМ для інформування ОВМ.

По закінченню технічного і комерційного огляду составу ОВМ повинен дати команду маневровому локомотиву для виконання заїзду на відповідну колію для причеплення до поїзда. Для цього необхідно в полі, відповідному до поточного положення маневрового локомотива, активізувати контекстне меню, в якому вказаний перелік можливих маршрутів його руху. За допомогою меню ОВМ направляє локомотив по відповідному маршруту. Для контролю маршрут руху маневрового локомотива в ІМ відображається жовтим кольором ліній, які міняють колір спочатку на червоний, при занятті ізольованих секцій, а потім на чорний – при їхньому звільненні. Після причеплення маневрового локомотива ОВМ повинен дати команду для виконання перестановки составу на у відповідний або маневровий район. Для цього в полі, відповідному до поточного положення составу, необхідно активізувати меню команд і вибрати команду «Необхідноувати». Подальші операції по перестановці составу виконуються в автоматичному режимі.

Після того, як гірковий маневровий локомотив закінчить операцію і звільниться, у полі, відповідному до ділянки колії, де знаходиться локомотив, відобразиться його ідентифікатор (наприклад, «мл1»). Далі, залежно від ситуації, яка склалася, ОВМ дає команду локомотиву для виконання подальших дій.

Необхідно відмітити, що в інформаційній моделі відображається тільки колійний розвиток приймально-відправного парку, але в МКР функціональної моделі формалізовано значно більший фрагмент станції. У цьому зв'язку всі технологічні операції, які виконуються на коліях станції, що не відображені в ІМ, в ергатичній моделі виконуються автоматично.

Обробка результатів моделювання. Моделювання роботи станції дозволяє одержати необхідні техніко-експлуатаційні показники станції, яка проектується або реконструюється. З цією метою в моделі фіксуються моменти початку та закінчення кожної технологічної операції з кожним об'єктом (поїздом, локомотивом, составом), які використовуються для визначення простоїв в очікуванні обслуговування об'єктів і затримок окремих пересувань рухомого складу.

Аналіз даних про простої в очікуванні обслуговування дозволяє розглянути варіанти посилення відповідних обслуговуючих пристроїв, а також збільшення числа колій і розвитку горловин станції у випадках простоїв в очікуванні пересувань.

У процесі моделювання фіксується також тривалість заняття основних технічних засобів станції (колій, колійні і стрілочні секції), а також усіх обслуговуючих пристроїв (маневрові локомотиви, бригади ПТКО, оператори станційного технологічного центру тощо). Вказані дані використовуються для розрахунків завантаження елементів станції і наступного аналізу відповідності конструкції станції та технології її роботи заданим розмірам руху, характеру і обсягам переробки.

Статистична обробка вказаних даних, отриманих на множині реалізацій процесу функціонування станції, дозволяє встановити середні значення необхідних техніко-експлуатаційних показників, які необхідні для виконання техніко-економічного порівняння розглянутих варіантів.

При моделюванні технологічного процесу роботи станції моменти настання певних подій (момент прибуття поїзда, момент закінчення закріплення і т.д.) записуються до протоколу. Процес формування записів результатів моделювання в протоколі організований у МТП. Кожний інформаційний рядок протоколу має структуру

$$S_p = \{N_e, T_e, E_s\}, \quad (4.11)$$

де N_e – код події;

T_e – момент настання події у хвилинах;

E_s – рядок коментаря події.

У рядку E_s вказується ідентифікатор об'єкта з метою розмежування однакових подій для різних об'єктів. Фрагмент протоколу результатів моделювання наведений на рис. 4.7.

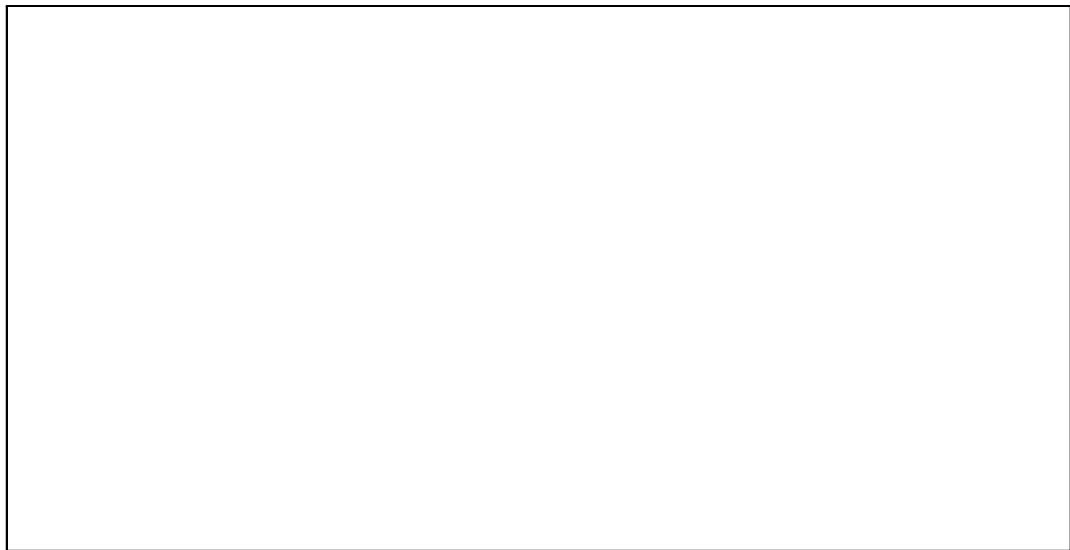


Рисунок 4.7 – Фрагмент протоколу результатів моделювання

За результатами моделювання, вказаними у протоколі, визначаються тривалості простою составів у системі, затримок прийому поїздів, а також виконання окремих операцій. Для цього потрібно одержати відповідні вибірки цих значень для всіх поїздів, оброблених на станції за період моделювання. Значення вказаних величин для кожного складу розраховується по формулі

$$T_{оп} = T_k - T_n, \quad (4.12)$$

де T_k, T_n – моменти, відповідно, подій початкового і кінцевого.

Наприклад, за даними протоколу (див. рис. 4.7) простій поїзда №2853 у парку прийому буде визначатися як $T_9 - T_{504} = 82 - 8 = 74$ хв.

Для автоматизації обробки протоколів розроблена спеціалізована комп'ютерна програм, зовнішній вигляд якої представлений на рис. 4.8.

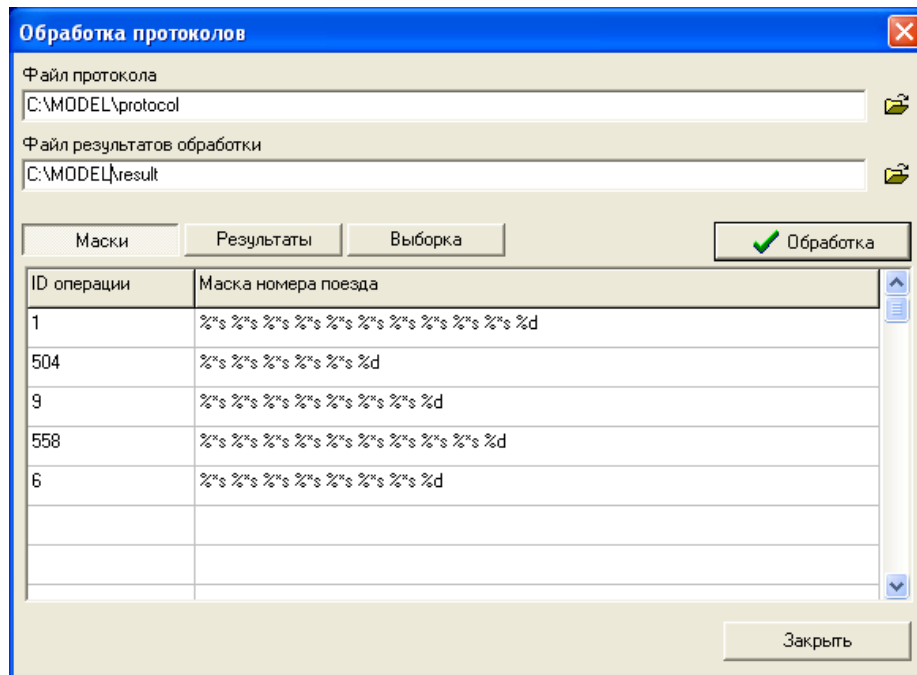


Рисунок 4.8 – Інтерфейс програми обробки протоколів

Дана програма по коду події N_e формує списки однотипних подій і потім визначає різниці моментів настання заданих ОВМ подій для кожного об'єкта відповідно до його ідентифікатора. Отримані дані зберігаються у файлі, фрагмент якого наведений на рис. 4.9. У даному файлі наведені результати розрахунків загального часу простою поїздів у парку приймання, тривалості затримок їх приймання на станцію, а також обробки документів.

Отримані дані використовуються для статистичної обробки і визначення техніко-експлуатаційних показників функціонування станції, які приводяться до середньодобових значень за допомогою виразу

$$\text{---}, \quad (4.13)$$

де T – період моделювання;
 t_i – значення показника i -го об'єкта;
 n – кількість об'єктів, які обслужені за період T .

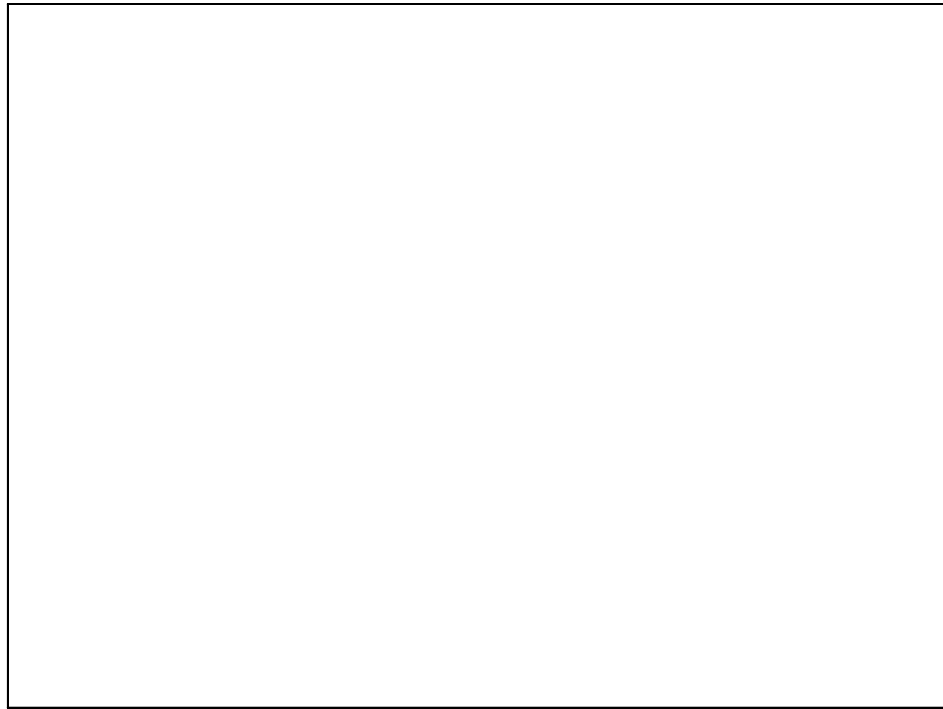


Рисунок 4.9 – Фрагмент файлу даних обробки протоколів моделювання

Середньодобовий час простою вагонів Σmt_v , що надходять у парк для обслуговування визначається за даними про простій окремих составів, отриманих за період моделювання

$$\text{---}, \quad (4.14)$$

де m_i – число вагонів в i -му составі;
 t_i – час знаходження i -го составу в парку;

N_n – число оброблених составів за період моделювання .

Затримки поїздів на підходах до станції оцінюються по числу зупинок у вхідних світлофорів, а також за фактичним часом прийому поїзда. При цьому час затримки t_z визначається як різниця фактичного $t_{пф}$ і нормативного $t_{пн}$ часу приймання $t_{зпф} = t_{пф} - t_{пн}$. Час $t_{пф}$ відлічується від моменту очікуваного появи поїзда на вхідній блок-дільниці, що перебувають за дві блок-дільниці перед вхідним сигналом, до моменту його повної зупинки на колії станції. Необхідно помітити, що фактичний час появи поїзда може не збігатися з очікуваним, якщо в той момент вхідна блок-дільниця зайнята попереднім поїздом.

Як відомо, коефіцієнт завантаження елемента обслуговування визначається розподілом загального часу його заняття виконанням операцій на період моделювання , тобто ψ / . У цьому зв'язку

коефіцієнт завантаження бригади ПТО розраховується по формулі

$$\frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{тех}}}{t_{\text{тех}} \cdot n}, \quad (4.15)$$

де $t_{\text{тех}}$ – тривалість технічного обслуговування і-го составу;

n – число обслугованих составів за період .

Подібним чином визначається коефіцієнт завантаження гіркового локомотива:

$$\frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер}}}{t_{\text{пер}} \cdot n}, \quad (4.16)$$

де $t_{\text{пер}}$ – сумарна тривалість пересувань гіркового локомотива по станції за період .

Завантаження сортувальної гірки за період моделювання визначається по формулі

$$\frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{на}} + \sum_{i=1}^n t_{\text{роз}}}{t_{\text{на}} + t_{\text{роз}}}, \quad (4.17)$$

де $t_{\text{на}}$ – тривалість насування і розпуску і-го складу;

$t_{\text{роз}}$ – тривалість виконання осаджування;

n – число, відповідно, розформованих складів і осаджувань.

Регенеративний метод функціонального моделювання станцій

Загальні принципи регенеративного методу. При моделюванні систем випадкової природи, важливо, щоб отримані результати оброблялись за допомогою переконливого статистичного аналізу. Зокрема, необхідні такі методи оцінювання, які дозволяють користувачу робити обґрунтовані статистичні висновки про модель по результатам моделювання. Ці методи необхідні також і для того, щоб була можливість визначити важливий взаємозв'язок між часом моделювання і рівнем точності оцінок.

Однак до недавнього часу набір статистичних процедур, які використовувалися для аналізу результатів моделювання стохастичних систем, значно обмеженим. Тому проведення адекватного статистичного аналізу, як правило, виявляється занадто складним, що інколи фактично

ігноруються такі важливі фактори, як довірчі рівні і точність оцінок. У прагненні подолати ці проблеми недавно був розвинений новий метод аналізу, називаний регенеративним підходом [45, 47, 56].

При моделюванні роботи станції визначається критерій ефективності її функціонування $E\{W\}$. Вибіркове середнє значення величини W визначається як

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i, \quad (4.18)$$

де N – кількість вимог, які обслужені в системі.

Відомо, що вибіркове середнє $\bar{W}$ прагне до істинного значення $E\{W\}$ з імовірністю 1 при $N \rightarrow \infty$. Такий підхід потребує виконання значних обсягів моделювання і є неприйнятним в рамках поставленої в дисертації задачі – отримання кількісної оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних за допомогою їх ергатичної моделі. Крім того, вибіркове значення $\bar{W}$ в силу початкових умов моделювання є зміщеною оцінкою для істинного значення $E\{W\}$, оскільки на початку моделювання система, як правило, не має ні одної вимоги. У цьому зв'язку для визначення достовірного значення критерію $E\{W\}$ доцільно використання методу регенеративного аналізу, суть якого полягає у наступному.

Набір даних $W_1, W_2, \dots, W_N$ значно корелюють між собою [56], тому їх розбивають на k циклів, тобто

$$(Y_k, \alpha_k), \quad (4.19)$$

де Y_k – сума значень W_i у k -му циклі,
 α_k – кількість обслужених у k -му циклі вимог.

Кожен цикл k починається при однакових умовах моделювання (наприклад, в системі нема ні одної заявки) і система в ці моменти «відновлюється» (регенерує). Таким чином, будуть отримані k незалежних розподілень.

На рис. 4.10, в якості прикладу, наведені декілька вимог, які обслуговуються в системі за певний період часу T . Отриману вибірку результатів моделювання розбито на 3 цикли, причому кожен черговий цикл починається у той момент, коли в системі нема ні одної вимоги.

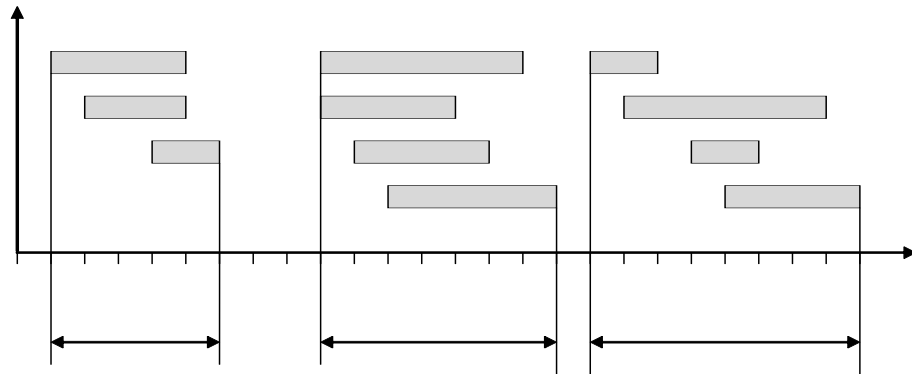


Рисунок 4.10 – Формування циклів регенерації системи

Таким чином, якщо N – загальне число вимог, які обслужені на циклах, то

$$N = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (4.20)$$

Праву частину даного виразу можна записати у вигляді

$$N_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_{ij}, \quad (4.21)$$

Так як кожен з наборів N_i складається з незалежних та однаково розподілених випадкових величин, то в силу закону великих чисел з імовірністю 1 чисельник в (4.21) прагне при $n \rightarrow \infty$ до значення $\bar{N}_i$, а знаменник – до n . Необхідно відзначити, що N_i при $n \rightarrow \infty$.

Отже $N_i \approx \bar{N}_i$.

Таким чином, задача оцінки N_i така ж як і оцінки відношення $\bar{N}_i$. При цьому дане відношення оцінюється по незалежним і однаково розподіленим парам N_{ij} за допомогою побудови довірчого інтервалу

$$N_i \approx \bar{N}_i \pm k \sigma_{N_i}, \quad (4.22)$$

де $\bar{N}_i$ – відповідно, середні значення параметрів Y_k і k ;
 σ_{N_i} – функція стандартизованого нормального розподілення;

– параметр, який залежить від рівня довіри α у відсотках і складає

;

– вибіркова дисперсія від значень Y_k і k ;

k – кількість циклів регенерації.

Аналіз ефективності регенеративного функціонального моделювання станцій. Для оцінки ефективності методу регенеративного аналізу при функціональному моделюванні роботи станцій потрібна їх імітаційна модель. З цією метою за основу прийнята модель залізничної станції зазначена в роботі [10].

В основі моделі покладені принципи представлення технологічного процесу роботи станції, як системи масового обслуговування, у вигляді сітьових графіків [27]. Така модель дозволяє виконувати моделювання роботи станцій без втручання людини в конфліктних ситуаціях.

Структура імітаційної моделі [10] реалізована у вигляді програмного комплексу для ЕОМ «Програмний комплекс для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітьових графіків» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 32786, див. додаток А). З метою спрощення процедури формалізації певного технологічного процесу роботи станції розроблено відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє в інтерактивному режимі візуально формувати сітьовий графік комплексу технологічних операцій.

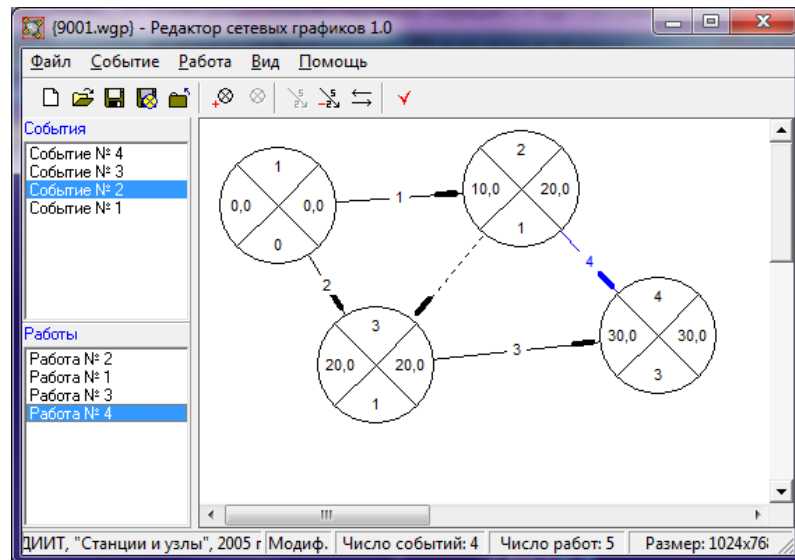
Робочі вікна «Програмного комплексу для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітьових графіків» наведені на рис. 4.11.

За допомогою імітаційної моделі виконано ряд експериментів. При цьому варіювалися наступні вихідні дані:

- вхідний потік вимог λ , вимог/год.;
- кількість обслужених вимог n .

В якості критерію ефективності функціонування системи прийнятий показник t – тривалість знаходження вимоги в СМО. Результати експериментів наведені на рис. 4.12.

a)

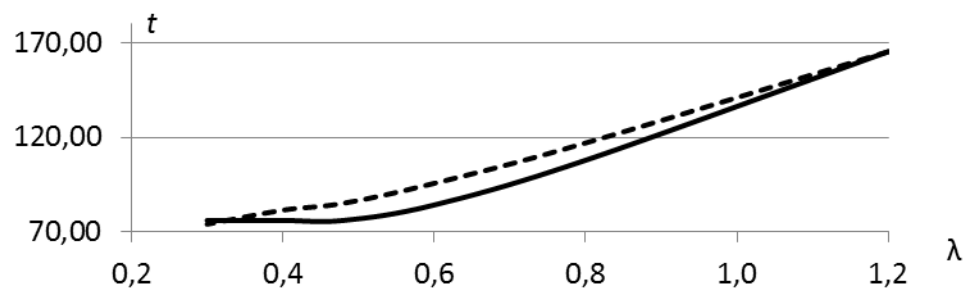


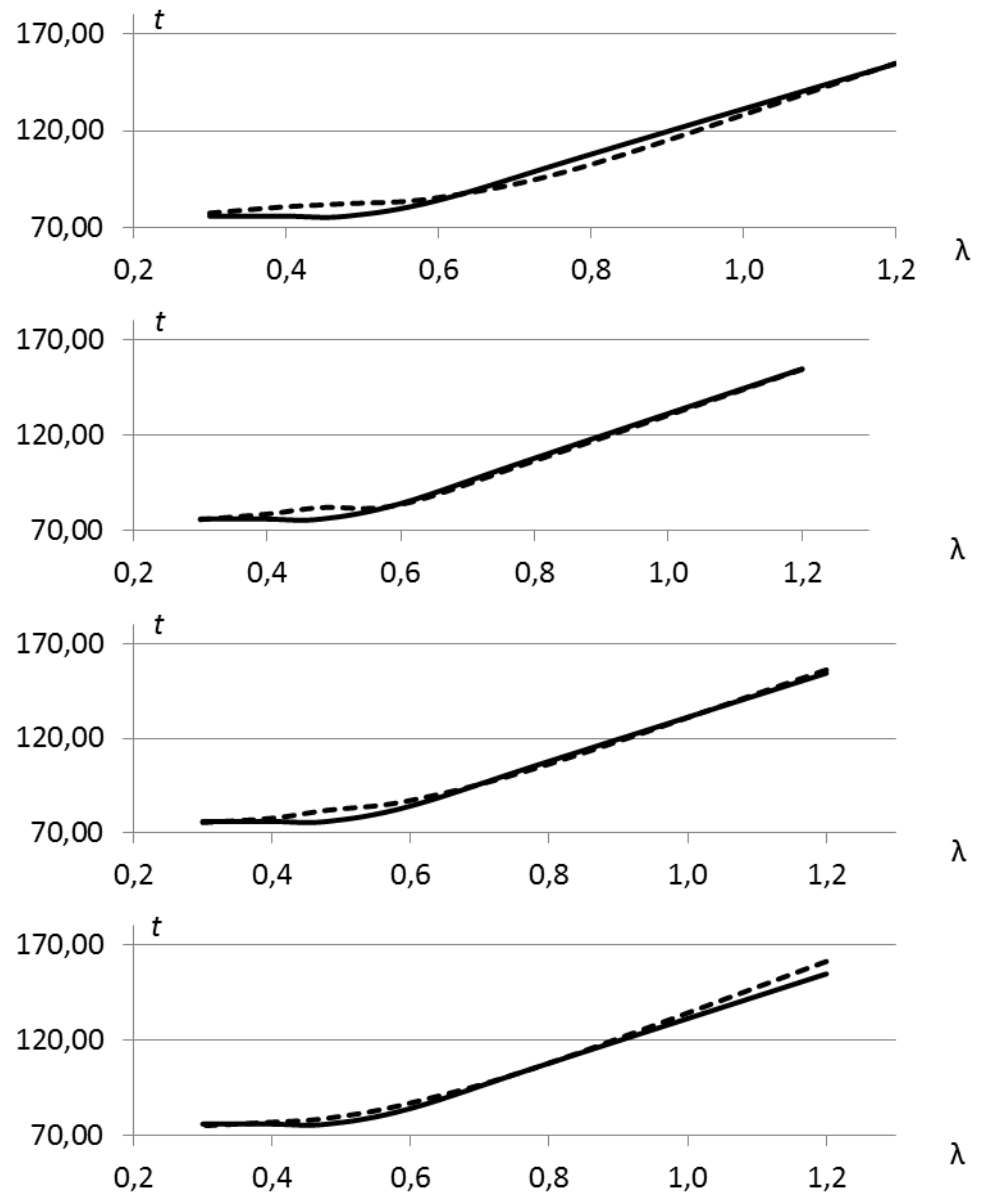
б)

№ п/п	Тпоявл., мин.	Твход., мин.	Тзадерж., мин.	Твыход., мин.	Тзанят., мин.	Работа1
1	29	29 (1)	0	59	30	29-39
2	54	54 (2)	0	84	30	54-64
3	75	75 (1)	0	105	30	75-85
4	93	93 (2)	0	125	32	93-103
5	184	184 (1)	0	214	30	184-194
6	195	195 (2)	0	234	39	195-205
7	210	210 (3)	0	254	44	210-220
8	255	255 (1)	0	285	30	255-265
9	291	291 (1)	0	321	30	291-301
10	302	302 (2)	0	341	39	302-312
11	320	320 (3)	0	361	41	320-330
12	334	334 (1)	0	381	47	334-344
13	346	346 (2)	0	401	55	346-356
14	358	358 (4)	0	421	63	358-368
15	372	372 (3)	0	441	69	372-382
16	418	418 (1)	0	461	43	418-428

Общее число заявок: 64
 Число обслуженных заявок: 62
 Суммарная продолжительность задержек по приему: 0,0 мин
 Средняя продолжительность нахождения заявки в СМО: 44,7 мин

Рисунок 4.11 – Робочі вікна «Програмного комплексу для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітєвих графіків»:
 а) редактор сітєвих графіків; б) імітаційна модель СМО





Умовні позначення:

— результати отримані за допомогою регенеративного методу

- - - - -

— результати отримані традиційним методом моделювання

Рисунок 4.12 – Розподіл значення показника t

Абсолютне відхилення (у відсотках) значень показника t , отриманих різними методами моделювання (за допомогою запропонованого регенеративного методу і традиційного методу моделювання) наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Відхилення (у відсотках) значень показника t , отриманих різними методами моделювання

, вимог/год.	Кількість вимог , обслужених в СМО				
	100	500	1000	2000	3000
1,2	0	0	0	1	4
0,8	8	5	1	1	0
0,6	12	2	1	3	3
0,5	11	8	7	7	4
0,4	7	6	3	2	1
0,3	3	2	0	1	1

Аналіз результатів показав, що при значному періоді моделювання () розбіжність значень показника t не перевищує 5%. Цей факт не суперечить рівню надійності залізничних станцій. Необхідно також зазначити, що використання запропонованого регенеративного методу скорочує період моделювання, необхідний для визначення періоду регенерації системи та розрахунку показників її функціонування.

Таким чином, використання регенеративного методу при функціональному ергатичному моделюванні станцій є доцільним. У цьому зв'язку до складу ФМС включено модуль керування (МК), який під час моделювання роботи станції отримує з МТП дані, необхідні для розрахунку показників її роботи (див. рис. 4.1). Даний модуль призначений для попереднього розрахунку результатів функціонування станції з урахуванням методів регенеративного аналізу і видачі ОВМ рекомендацій щодо можливості припинення процесу моделювання. Експерименти з моделлю показали, що такий підхід дозволяє скоротити період моделювання роботи станції на 30% не порушуючи достовірності отриманих результатів.

Висновки по розділу 4

Для адекватного моделювання станційних процесів необхідно враховувати управлінську діяльність диспетчерського персоналу станцій. У цьому зв'язку одержала подальший розвиток концепція ергатичних моделей залізничних станцій, у яких людина бере безпосередню участь у процесі моделювання і в інтерактивному режимі керує станцією, виконуючи функції диспетчера.

Сформульовані основні принципи побудови функціональних ергатичних моделей, орієнтованих на рішення задачі техніко-технологічної оцінки параметрів залізничних станцій: 1) наявність у ФМС інформаційної моделі станції, яка має засоби для оцінки поточної ситуації і передачі

управлінських рішень ОВМ у ФМС; 2) вибір черговості обслуговування і маршрутів руху транспортних об'єктів ОВМ; 3) імітація пересувань рухомого складу по станції з відображенням в інформаційній моделі; 4) синхронна адаптація ФМС до поточного стану станції, що забезпечить максимальне прискорення системного часу у випадках, коли технологічний процес строго формалізований і не вимагає втручання ОВМ, та автоматичний перехід у реальний масштаб системного часу на період прийняття рішень ОВМ; 5) інтеграція з геометричними моделями станцій і зменшення вихідної інформації для побудови ергатичної моделі за рахунок ускладнення її внутрішньої структури, що значно підвищить рівень тиражування ФМС для станцій з різними технічними параметрами та технологією роботи.

Інформаційна модель станції в процесі моделювання відображає поточну ситуацію на станції і забезпечує сприйняття керуючих дій від ОВМ. Розроблена структура інформаційної моделі з урахуванням нового підходу, спрямованого на прискорення її побудови. Для скорочення тривалості моделювання всі елементи ТП, що не вимагають втручання диспетчера, виконуються в автоматичному режимі з максимальним прискоренням; в інтерактивний режим модель переводиться тільки при виникненні ситуації, що вимагає втручання людини для її рішення. Експерименти з моделлю показали, що при такому підході для моделювання добової роботи станції необхідно близько 10-15 хвилин.

В моделі керування переміщенням рухомого складу маршрути руху реалізовані у вигляді списків, які будуються за допомогою рекурсивного алгоритму, що передбачає обхід орграфа моделі колійного розвитку в заданому напрямку. Такий підхід дозволяє заздалегідь виключити маршрути руху, які не використовуються та встановити їх пріоритетність при автоматичному виборі маршруту руху об'єкту без участі ОВМ.

Розроблена методика визначення техніко-експлуатаційних параметрів станцій за результатами імітаційного моделювання їх роботи. Підготовлено програмне забезпечення для аналізу файлів протоколів моделювання, статистичної обробки їх результатів і визначення чисельних значень техніко-технологічних параметрів станцій.

Запропонований регенеративний метод дозволяє скоротити період моделювання роботи станцій на 30% у порівнянні з традиційними методами. При цьому похибка результатів моделювання не перевищує 5%.

РОЗДІЛ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЧЕРГОВОСТІ ВИКОНАННЯ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ

Ідентифікація функціональної моделі станції

Для рішення практичних задач, спрямованих на підвищення ефективності роботи залізничних станцій, розроблена ергатична модель повинна максимально відповідати реальному об'єкту (станції, окремому парку і т.д.) і відображати як його технічне оснащення, так і технологію роботи. З цією метою необхідно виконати попередню ідентифікацію розробленої моделі з наступною оцінкою її адекватності. Для рішення вказаної задачі, а також для апробації розробленої методики моделювання виконано комплексне обстеження приймально-відправного парку (ПВП) однієї з вантажних станцій України. За результатами обстеження формалізовані технічне оснащення і технологічний процес роботи ПВП, розроблена відповідна інформаційна модель (див. розділ 4), а також визначені чисельні характеристики розподілу випадкових величин, які характеризують вхідний потік поїздів і систему їх обслуговування в ПВП. На підставі цих даних була виконана ідентифікація моделі і оцінка її адекватності.

Аналіз технічного оснащення станції і його формалізація. До технічного оснащення залізничної станції в першу чергу можна віднести її колійний розвиток і систему станційної автоматики.

Колійний розвиток ПВП вантажної станції, яка розглядається (рис. 5.1) налічує п'ять колій, які призначені для:

- прибуття поїздів у розформування;
- накопичення порожніх та навантажених вагонів;
- відправлення сформованих поїздів.

Тупикові колії № 7 і №9 використовуються для відстою поїзних локомотивів та заїзду маневрових локомотивів під состави при їх перестановці. До ПВП станції примикають чотири підходи:

- підхід Ч (перегін між ПВП і сусідньою станцією Берегова);
- парки «Рудний» і «Вугільний»;
- станція розвантаження вагонів №1 (СРВ-1);
- парк «Зерновий».

У правій частині парку розташована витяжна колія №10а, до якої примикає парк «Зерновий». В даному парку виконується процес розформування составів з зерновими вантажами методом осаджування.

Рисунок 5.1 – Схема приймально-відправного парку вантажної станції

На основі аналізу схеми парку (рис. 5.1) та з урахуванням методики, викладеної в розділі 3, виконано параметризований синтез колійного розвитку ПВП вантажної станції. На основі отриманої вихідної моделі станції (див. п. 3.4.1) формалізована конструкція ПВП і побудована відповідна модель його колійного розвитку (див. п. 4.2.1). Основні принципи і порядок формалізації МКР викладені в роботі [28].

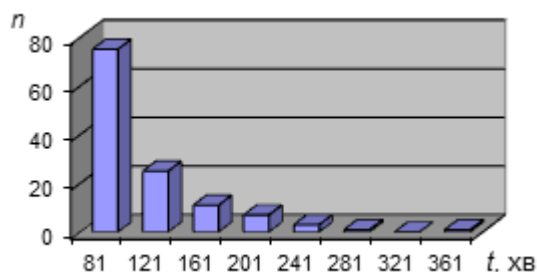
Для побудови МКПРС приймально-відправного парку (див. п. 4.3) виконано аналіз функціонування елементів станційної автоматики і телемеханіки та їх формалізація на етапі автоматизованого синтезу колійного розвитку ПВП. На основі даних вихідної моделі станції (розділ 3) побудована МКПРС.

Текст відповідних файлів даних з описом параметрів МКР і МКПРС наведені у додатку Д.

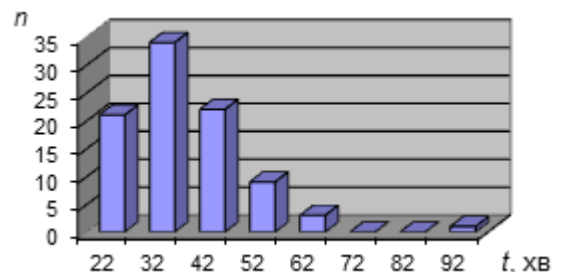
Визначення параметрів вхідного потоку. Приймально-відправний парк станції є системою масового обслуговування, вхідними заявками якої є поїзди або маневрові состави, що в нього прибувають. У цьому зв'язку для моделювання потоку заявок необхідно виконати статистичну обробку моментів прибуття, напрямків та категорій поїздів.

В ПВП можуть прибувати поїзди різних категорій або маневрові состави з чотирьох підходів. Інтенсивність вхідного потоку заявок характеризується середньою величиною інтервалу їх надходження. Інтервал між заявками з кожного напрямку є випадковою величиною з деяким законом розподілу. Гістограми розподілу інтервалів між поїздами або маневровими составами для всіх підходів наведені на рис. 5.2.

а)



б)



в)

г)

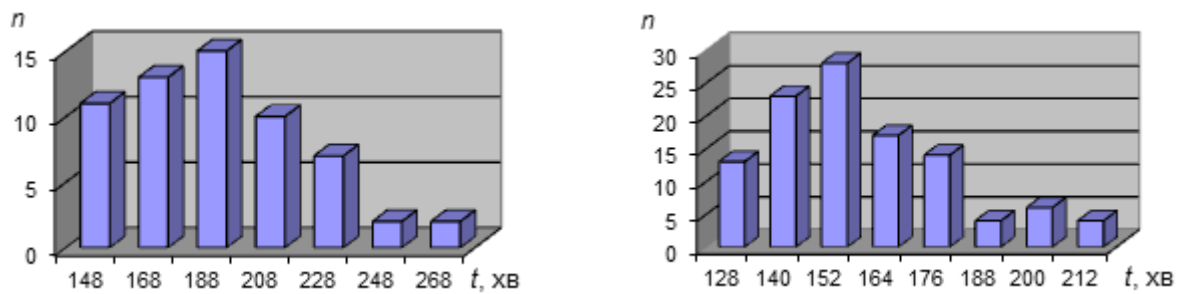


Рисунок 5.2 – Гістограми розподілу випадкової величини інтервалу між поїздами (маневровими составами), що прибувають з:
а) підходу ст. Берегова; б) парку «Рудний»; в) СРВ-1; г) парку «Зерновий»

За характером розподілу висунута гіпотеза про те, що інтервали між поїздами (маневровими составами) розподілені за законом Ерланга. Перевірка гіпотези про закон розподілу випадкових величин інтервалів виконана за допомогою критерію згоди Пірсона χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - p_i)^2}{p_i} \quad (5.1)$$

де p_i – теоретична ймовірність попадання випадкової величини в i -й розряд, що розрахована за прийнятою гіпотезою про закон розподілу;
 n – загальна кількість спостережень.

Результати перевірки висунутих гіпотез приведені в табл. 5.1. Перевірка гіпотези за критерієм Пірсона показала, що немає підстав відхиляти гіпотезу про розподіл інтервалів між поїздами по закону Ерланга.

Таблиця 5.1 – Перевірка гіпотези про розподіл випадкової величини інтервалу між вимога за законом Ерланга

Підхід	хв	хв	хв.	хв.				Результат
ст. Берегова	41	340	91,67	49,46	1	3,21	11,10	гіпотеза підтверджена
парк «Рудний»	12	86	30,78	11,98	2	5,47	11,10	гіпотеза підтверджена
СРВ-1	128	255	179,00	31,08	3	4,77	9,50	гіпотеза підтверджена
парк «Зерновий»	116	212	151,73	21,66	3	6,43	11,10	гіпотеза підтверджена

Ймовірність прибуття вимог кожної з можливих категорій визначається за формулою

$$, \quad (5.2)$$

де N_{ij} – середньодобова кількість поїздів j -ї категорії, що прибувають з i -го підходу.

Результати статистичної обробки вхідних потоків вимог наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати статистичної обробки вхідних потоків вимог

Підхід	Характеристики інтервалів між поїздами			Ймовірності категорій вимоги		
	, хв.	k	I_{min} , хв	розформ.	маршрут	ман. сост.
ст. Берегова	91,67	1	41	0,3	0,7	-
парк «Рудний»	30,78	2	12	-	-	1,0
СРВ-1	179,00	3	128	-	-	1,0
парк «Зерновий»	151,73	3	116	-	-	1,0

Визначення характеристик составів поїздів, що надходять у розформування. Основними параметрами составів є кількість вагонів у них $N_{ваг}$ і кількість відцепів N_v . Як показав аналіз результатів спостереження над роботою ПВП кількість вагонів у составі поїзда є випадковою величиною.

В табл. 5.3 наведено статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини $N_{ваг}$ кількості вагонів у складі поїздів, що прибувають у розформування в ПВП вантажної станції.

Таблиця 5.3 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини кількості вагонів у складі поїзда $N_{ваг}$

Розряд, ваг.				Параметри
26 – 32	4	0,031	1,54	2
32 – 38	3	0,079	3,94	
38 – 44	6	0,168	8,42	
44 – 50	8	0,242	12,12	
50 – 56	13	0,235	11,74	
56 – 62	16	0,245	12,24	

За характером розподілу випадкової величини $N_{ваг}$ висунута гіпотеза про її розподіл за нормальним законом. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $7,51 < 7,80$. Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини $N_{ваг}$ наведено на рис. 5.3.

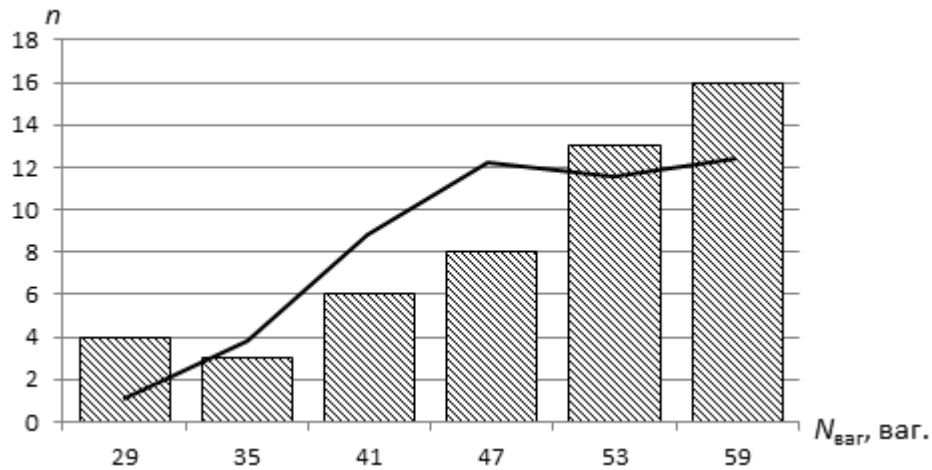


Рисунок 5.3 – Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини $N_{\text{ваг}}$

Статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини $N_{\text{в}}$ кількості відчепів у складі поїздів, що прибувають у розформування на станцію наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини кількості відчепів у складі поїзда $N_{\text{в}}$

Розряд , відч.				Параметри
4 – 8	4	0,078	3,92	2
8 – 12	10	0,208	10,42	
12 – 16	18	0,327	16,37	
16 – 20	11	0,259	12,97	
20 – 24	6	0,104	5,18	
24 – 28	1	0,023	1,15	

За характером розподілу випадкової величини $N_{\text{в}}$ висунута гіпотеза про її розподіл за нормальним законом. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $7,51 < 7,80$. Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини $N_{\text{в}}$ наведено на рис. 5.4.

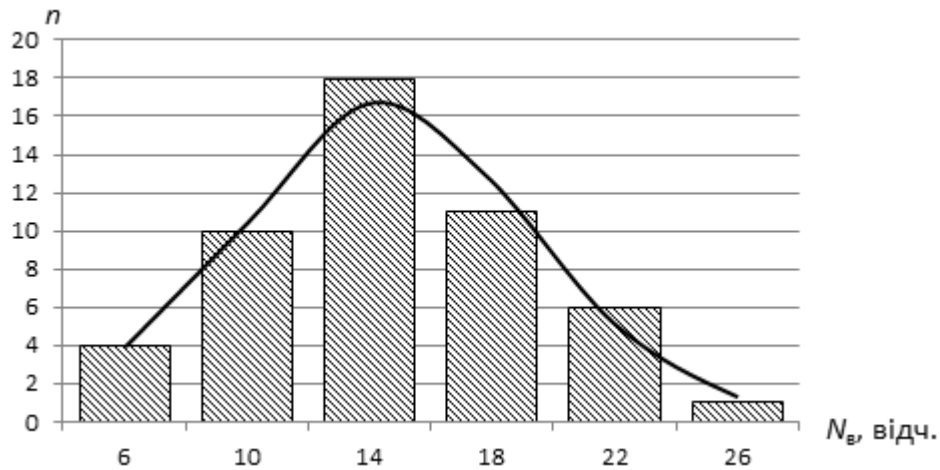


Рисунок 5.4 – Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини N_v

Визначення тривалості технологічних операцій, що виконуються в приймально-відправному парку. В приймально-відправному парку станції з поїздами, що прибувають у розформовування, виконуються операції, які передбачені технологічним процесом її роботи. Для адекватної імітації технологічного процесу необхідно визначити параметри розподілу випадкових величин тривалості цих операцій. З метою отримання характеристик законів розподілу випадкових величин тривалості обслуговування була виконана статистична обробка результатів хронометражних спостережень за роботою ПВП.

Після прибуття поїзда в ПВП виконується закріплення состава поїзда. Закріплення виконується зі сторони вхідної горловини парку. Процес закріплення включає видачу ДСП команди на закріплення (звичайно надається завчасно і не впливає на тривалість закріплення), прохід сигналіста вздовж состава, взяття і укладання гальмових башмаків та доповідь сигналіста про закінчення операції закріплення. Тривалість доповіді d складає близько 0,3 хв. і має незначний розкид. Тривалість, що припадає на укладання одного гальмового башмака τ_z , є випадковою величиною і залежить від великої кількості випадкових факторів (місце зупинки поїзда, розташування башмаків вздовж колії, довжина вагонів, погодні умови, швидкість руху сигналіста та ін.).

Для визначення закону та параметрів розподілу величини τ_z виконано статистичну обробку значень

$$, \quad (5.3)$$

де t_z – відповідно тривалість закріплення состава i -го поїзда;
 n_0 – кількість гальмівних башмаків, що укладається під состав.

Статистична обробка результатів спостережень показала, що випадкова величина τ_3 має нормальний розподіл з параметрами $M[\tau_3]=0,97$ хв, а $D[\tau_3]=0,095$ хв².

Після закріплення состава та його огороження виконується технічний та комерційний огляд. Технічний огляд у ПВП виконується однією бригадою ПТО, що складається з двох груп. Зняття огороження состава та доповідь про закінчення технічного огляду виконується після завершенню огляду обома групами. Таким чином, середня тривалість огляду одного вагона групою ПТО може бути визначена за формулою

$$, \quad (5.4)$$

де $N_{\text{ваг}}$ – кількість вагонів у составі поїзда;
 $k_{\text{гр}}$ – кількість груп в бригаді ПТО;

– тривалість огляду одного вагона бригадою ПТО.

Статистична обробка результатів спостережень показала, що випадкова величина має нормальний розподіл з параметрами $M[\]=0,98$ хв, а $D[\]=0,18$ хв².

Операції, що виконуються під час прибирання гальмових башмаків подібні до операцій по закріпленню составів. В результаті статистичної обробки результатів спостережень визначено, що середня тривалість, яка припадає на прибирання одного гальмового башмака розподілена за нормальним законом з параметрами $M[\text{приб}]=0,87$ хв, $D[\text{приб}]=0,091$ хв².

В парку «Зерновий» виконується розформування составів. Для моделювання тривалості даної операції виконано статистичні спостереження, при яких фіксувалися тривалість розформування, кількість вагонів і кількість відчепів в маневрових составах. Аналіз статистичних даних показав, що ці величини взаємопов'язані, тому методами двофакторного регресійного аналізу встановлений зв'язок між ними

Результати статистичної обробки основних технологічних операцій в приймально-відправному парку станції наведені в додатку Е.

Оцінка адекватності моделі

Для оцінки адекватності розробленої моделі виконано статистичний аналіз випадкових величин часу знаходження вагонів на вантажній станції, отриманих за допомогою хронометражу на реальній станції та методом моделювання. З цією метою досліджені вибірки значень простоїв (у годинах),

отриманих в результаті спостережень на станції , і в

результаті моделювання , . В результаті обробки статистичних даних встановлено, що випадкова величина X підпорядкована закону Ерланга (див. Додаток Е) з параметрами $M[X]=24,40$ год. та $k=1$.

Така ж гіпотеза була висунута про розподіл випадкової величини Y .

Для аналізу використовувалась вибірка значень , отриманих в результаті моделювання роботи станції; об'єм вибірки . Результати розрахунку статистичних параметрів розподілу наведені в додатку Е.

Отримані параметри складають $M[Y]=25,28$ год., $k=1$ та .

При рівні значимості і кількості ступенів свободи

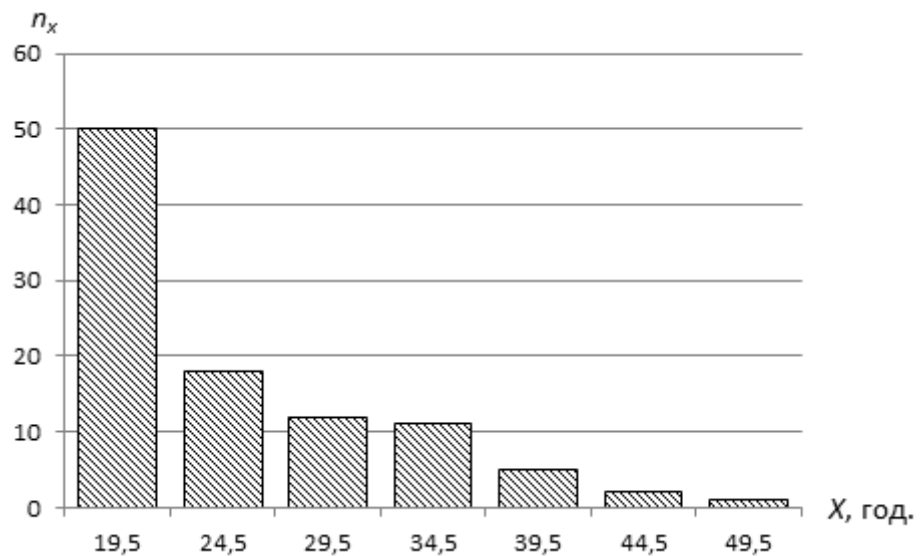
квантіль ; так як розраховане за даними

моделювання значення , результати моделювання

, не суперечать основній гіпотезі Н. Отже, можна стверджувати, що випадкова величина часу знаходження вагонів на станції Y , яка отримана за результатами моделювання, також розподілена по закону Ерланга.

Гістограми розподілу випадкових величини X і Y наведені на рис. 5.5.

а)



б)

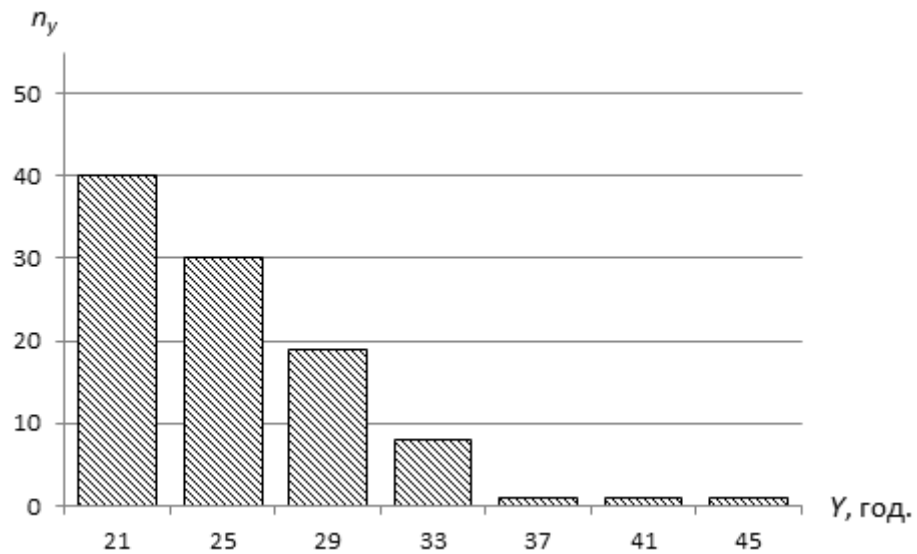


Рисунок 5.5 – Розподіл часу знаходження вагонів на станції:
а) за результатами хронометражу; б) за результатами моделювання

Таким чином, в результаті статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X і Y підпорядковуються закону Ерланга з дуже близькими параметрами: для станції та для моделі оцінки математичного

очікування, відповідно рівні год. і год.; оцінки середнього квадратичного відхилення – год. і год. Отримані статистичні параметри свідчать про близькість результатів моделювання результатам спостереження.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність моделі по даним наведених вибірок виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї і тієї ж генеральної сукупності. З цією метою використано X -критерій Ван-дер-Вардена [110], який призначений для перевірки гіпотези H на умову, що функції розподілу і двох генеральних сукупностей однакові ($H: =$); конкуруюча гіпотеза $H_1: \neq$. Значення критерію Ван-дер-Вардена визначаються з допомогою виразів

$$, \quad , \quad (5.5)$$

де $r(x_i), r(y_j)$ – ранги, які відповідають елементам вибірок і .

Ранги являють собою номери елементів обох вибірок, що розташовані у порядку зростання ($r \in [1, n_x + n_y]$). В наведених виразах – функція, зворотна функції нормального розподілу з параметрами $(0,1)$. В результаті розрахунку вказаних статистик для вибірок x_i та y_j отримані значення $X = -11,1198$ та $Y = 11,1198$ (виконується умова $X + Y = 0$ [110]).

При перевірці гіпотези H_0 проти конкуруючої гіпотези H_1 : $\neq$ обирається двостороння критична область; при цьому гіпотеза H_0 відкидається, якщо

При великих значеннях $n\mu_x + n\mu_y$ наближене критичне значення можна знайти як

$$-\sqrt{\frac{2 \ln 2}{n}} \quad , \quad (5.6)$$

де z_q – квантіль порядку q нормального розподілу $N(0,1)$.

Для визначення значень Q_n використовується вираз

$$Q_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{1}{1 - \frac{i}{n}} \quad , \quad (5.7)$$

Для вибірок x_i і y_j , які розглядаються, $n=100+100=200$, а наближене значення Q_{200} дорівнює 0,954. Тоді на рівні значимості $\alpha=0,05$ значення

не перевищують Q_{200} . Так як $Q_{200} < Q_{\text{н}} = 0,954$, основна гіпотеза H_0 про належність вибірок x_i та y_j до однієї генеральної сукупності не суперечить експериментальним даним і може бути прийнята.

Таким чином, розроблена ергатична функціональна модель залізничної станції адекватна реальній і її можна використовувати для подальших досліджень.

Проблеми техніко-економічного керування на залізничному транспорті

В сучасних умовах, які характеризуються нестабільністю обсягів перевезень, необхідністю зниження собівартості переробки вагонів і експлуатаційних витрат залізничного транспорту, виникає необхідність підвищення ефективності роботи залізничних станцій. В якості основних напрямків підвищення роботи залізничних станцій можна виділити удосконалення їх конструктивних параметрів і технології роботи. У цьому зв'язку особливу актуальність здобуває проблема ефективного техніко-економічного керування станціями, основне завдання якого – приймати економічно обґрунтовані рішення як при оперативному керуванні, так і при плануванні організаційно-технічних заходів (ОТЗ), спрямованих на підвищення ефективності роботи станцій [23].

Аналіз сучасних методів підвищення ефективності техніко-економічного керування на залізницях. Останнім часом для рішення вказаної проблеми на залізничному транспорті розробляються і впроваджуються сучасні

системи підтримки прийняття рішень (СППР), які на основі аналізу наявної інформації про об'єкт керування (станції, диспетчерській дільниці і т.п.) пропонують для ОПР найбільш раціональний (у більшості випадків найбільше економічно вигідний) варіант його дій по керуванню даним об'єктом [33, 58, 62, 63, 143]. Однією з основних проблем, що виникають при розробці такого роду систем, є проблема прогнозування техніко-експлуатаційних показників функціонування об'єкта при реалізації того або іншого управлінського рішення. Так, у роботах [62, 63] розглядається методика побудови СППР для оптимізації розподілу матеріально-технічних і фінансових ресурсів між підрозділами залізничної мережі. При цьому проблема прогнозування результатів роботи окремих підрозділів залізної дороги вирішується з використанням апарата нечіткої логіки. При вирішенні оптимізаційних задач по ефективному розподілу обмеженого ресурсу СППР використовує спеціальну базу даних, яка формується на основі статистичних даних про роботу об'єктів залізничної мережі [62].

Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій у різних умовах може служити імітаційне моделювання станційних процесів на ЕОМ. У роботах [33, 58] розглянуті СППР, що дозволяють прогнозувати роботу залізничних станцій у тих або інших умовах, на підставі чого ухвалювати обґрунтовані рішення по керуванню їх функціонуванням. В основі кожної із запропонованих СППР лежить імітаційна модель станції, що використовує при моделюванні дані про техніко-технологічні параметри станції, а також інформацію про прогнозовані умови роботи.

Заслугове також уваги досвід залізниць Німеччини [143]. Тут розроблений моделюючий імітаційний комплекс Railsys, який використовується для оцінки ефективності капіталовкладень у розвиток інфраструктури залізничних станцій і ділянок. У комплекс Railsys входять імітаційні моделі різних станцій і ділянок залізничної мережі. Кожна така модель відображає технічне оснащення і технологію роботи певного об'єкта. Передбачені спеціальні засоби редагування моделей, які дозволяють вносити в них зміни відповідно до планованих при модернізації станції або ділянки ОТЗ.

Однією з основних проблем, що виникають при створенні моделей залізничних станцій, є імітація діючих систем керування, основною ланкою яких є людина-диспетчер. Очевидно, що без адекватного моделювання вказаних систем неможливе одержання достовірної кількісної оцінки показників функціонування станцій. Разом з тим, як показав аналіз (див. розділ 1), у цей час не існує методик, що дозволяють адекватно моделювати діяльність диспетчера, що управляє станцією. У цьому зв'язку при розробці СППР, призначених для дослідження і оптимізації роботи залізничних станцій, доцільно використовувати ергатичні моделі, у яких людей бере безпосередню участь при моделюванні, виконуючи функції диспетчера. Такі моделі найбільше точно враховують фактори пов'язані з поведінкою людини, і дозволяють у процесі моделювання імітувати процеси прийняття управлінських рішень.

Постановка задачі удосконалення технічного оснащення станцій і технології їх роботи. У рамках рішення поставленої в дисертації задачі комплексного удосконалення залізничних станцій розроблена функціональна ергатична модель станції апробована при визначенні комплексу раціональних техніко-технологічних параметрів приймально-відправного парку (ПВП) однієї з вантажних станцій України (рис. 5.6).

Аналіз конструкції колійного розвитку ПВП і технології його роботи дозволив виявити певні недоліки. Так, існуючі приймально-відправні колії парку №2, 4 і 5 не обладнані контактною мережею, що ускладнює подачу по цим коліям поїзних локомотивів (електровозів) з тупикових колій №8 і 9 у вхідну горловину ПВП. Такі операції виконуються за допомогою додаткових маневрових локомотивів (тепловозів), які подають поїзні локомотиви під готові до відправлення состави.

Рисунок 5.6 –
Схема колійного
розвитку
приймально-
відправного
парку станції
з
можливими
варіантами
реконструкції
колійного
розвитку

Разом з недоліками в конструкції колійного розвитку та технічному оснащенні станції в умовах поступового збільшення обсягів переробки (рис. 5.7) виникла необхідність у поетапній розбудові ПВП – будівництві приймально-відправних колій №24, 26 і 28, які забезпечать потрібну переробну спроможність вантажної станції.

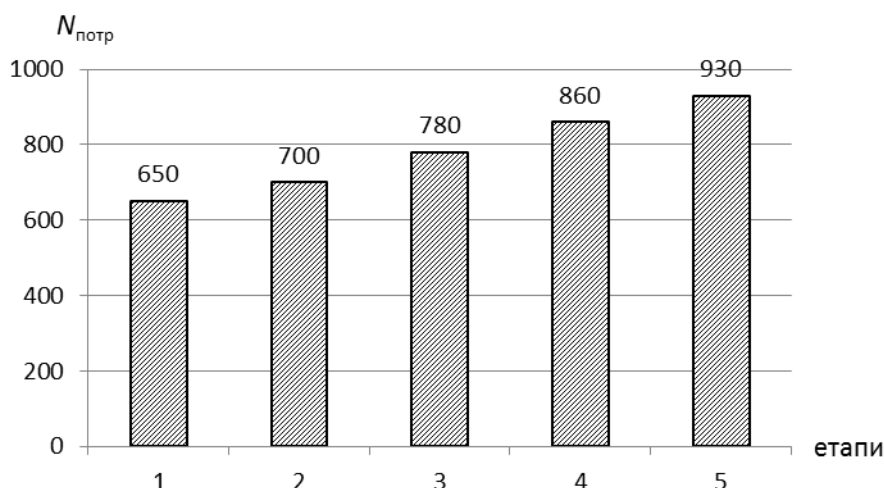


Рисунок 5.7 – Поетапний зріст потрібної переробної спроможності станції

За допомогою ФМС приймально-відправного парку можна одержати кількісні значення параметрів, що характеризують кожний з можливих варіантів ОТЗ, спрямованих на удосконалення конструкції і технології його роботи. Кожний варіант можна укрупнено охарактеризувати двома інтегральними показниками: кількісним – витрати на реалізацію варіанта і якісним – переробна спроможність. У більшості випадків на реалізацію ОТЗ, на кожному етапі виділяється певний ліміт ресурсів (грошових, матеріальних, трудових і т.п.). Необхідно зазначити, що після виконання всього комплексу ОТЗ вантажна станція повинна забезпечувати встановлену переробну спроможність. При цьому виникає проблема вибору певної черговості виконання ОТЗ, яка забезпечить мінімальні приведені витрати, пов'язані з реалізацією варіантів ОТЗ і функціонуванням залізничної станції. Для рішення поставленої задачі в дисертації розроблена методика, яка базується на принципах динамічного програмування [7].

Необхідно відмітити, що методи динамічного програмування у сучасних умовах достатньо широко застосовуються при рішенні задач, пов'язаних з визначенням раціональної етапності розвитку або реконструкції об'єктів залізничного транспорту. Так, у роботах [38, 120, 121] методами динамічного програмування вирішується задача поетапної модернізації технічного оснащення залізничних станцій з метою їх адаптації до заданих розмірів руху. У [130] на основі динамічного програмування розроблені методики по визначенню оптимальної етапності реконструкції роздільних пунктів для пропуску довгосоставних вантажних поїздів на двоколійних

лініях.

Методика визначення раціональної черговості виконання реконструктивних заходів на станції

Постановка задачі визначення черговості виконання реконструктивних заходів на станціях. При формалізації задачі станція або її окрема підсистема розглядається як складна система, яка складається з множини елементів – колійний розвиток, система

обслуговування, система керування та ін. Комплекс заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування станції, у загальному випадку передбачає проведення робіт на кожному такому елементі у певній черговості

$$, \quad , \quad (5.8)$$

де – можливий ОТЗ на певному елементі станції (реконструкція горловин, зміна числа колій, кількості виконавців технологічних операцій і ін.);

n – загальна кількість ОТЗ.

На реалізацію кожного із заходів комплексу потрібні певні витрати. З іншого боку, реалізація заходу дозволяє одержати певне значення показника ефективності функціонування системи.

Необхідно відмітити, що інвестиції на реалізацію заходів, виділяюся, як правило, не одноразово, а поетапно. У цьому зв'язку виконання загального

комплексу ОТЗ розбивається на етапи загальною тривалістю.

Конкретні значення показників і можуть бути отримані за результатами моделювання роботи станції. Таким чином, сумарні витрати по відповідній черговості виконання комплексу ОТЗ визначаються як

$$. \quad (5.9)$$

Значення показника ефективності по всім варіантам буде однаковим і складе

$$. \quad (5.10)$$

Набір можливих варіантів складає множину

Рішенням задачі є така підмножина, для елементів якої виконується умова

(5.11)

Вказана задача у викладеній постановці є задачею динамічного програмування [7]. При постановці задачі визначення раціональної черговості виконання ОТЗ, спрямованих на удосконалення конструкції і технології роботи ПВП вантажної станції, кожний варіант ОТЗ оцінювався по двом показникам: – приведені витрати при реалізації даного заходу, млн. грн./рік; – переробна спроможність приймально-відправного парку, яка може бути досягнута при реалізації ОТЗ, вагонів/добу.

Методика рішення задачі визначення раціональної черговості виконання реконструктивних заходів на станціях. Приймально-відправний парк станції розглядається як фізична система S , стан якої характеризується набором певних техніко-технологічних показників. Процедура зміни стану ПВП в момент t є управлінням, в результаті якого реалізується m -ий варіант ОТЗ і виконується перехід системи S із стану i в стан j . Кожному періоду t експлуатації системи в стані i відповідає певна величина приведених експлуатаційних витрат. Для переходу системи ПВП в наступний стан потрібні інвестиційні вкладення у розмірі.

Рішення поставленої оптимізаційної задачі зводиться до пошуку такого набору управлінь (, , , ,), який би забезпечив за розрахунковий період T мінімум величини приведених витрат, пов'язаних з функціонуванням ПВП вантажної станції, тобто

(5.12)

де – відповідно інвестиційні вкладення і експлуатаційні витрати у момент t , грн.;

– коефіцієнт дисконтування витрат, який при постійній нормі дисконту дорівнює $\frac{1}{(1+r)^T}$ (r – величина дисконтної ставки, r – період розрахунку, роки).
 Обмеження цієї задачі полягають у наступному.
 Сумарна вартість реалізації обраного комплексу ОТЗ в i -му стані системи не повинна перевищувати загальної величини інвестиційних вкладень, передбаченої на t -му кроці, тобто:

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} \leq C_t, \quad (5.13)$$

де Y – кількість можливих ОТЗ в i -му стані системи.

Величина кроку t повинна бути не меншою за тривалість, значення якої залежить від часу на підготовчій операції та виконання ОТЗ, тобто:

$$t \geq t_{\min}, \quad (5.14)$$

Переробна спроможність системи на t -му кроці повинна забезпечувати задане значення та бути не меншою, ніж на попередньому кроці, тобто

$$C_t \geq C_{t-1}. \quad (5.15)$$

Задача вибору черговості виконання ОТЗ вирішується у два етапи. На першому етапі виконується процедура вибору умовно-оптимальних переходів з використанням рекурентного співвідношення

$$C_{ij} = \min_{k \in \{1, \dots, n\}} \{C_{ik} + C_{kj}\}, \quad (5.16)$$

де C_{ij} – мінімальні загальні приведені витрати в i -му стані ПВП у кінці $(t-1)$ -го кроку;

C_{ij} – приріст критерію ефективності на t -му кроці при переході від i -го до j -го варіанту ОТЗ;
 z – загальна кількість ОТЗ.

На другому етапі по умовно-оптимальним рішення визначається безумовно оптимальне рішення. Можливі ОТЗ, стани ПВП та переходи між ними представлені у вигляді графу, який зображений на рис. 5.8.

При значній кількості варіантів ОТЗ та кроків t побудова такого графу є складною процедурою. У цьому зв'язку в дисертаційній роботі розроблено відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати процес формування графу станів системи в залежності від черговості виконання варіантів ОТЗ та визначити їх раціональну послідовність з умови мінімізації приведених витрат, пов'язаних з функціонуванням станції.

Рисунок 5.8 – Граф станів ПВП вантажної станції за період T в залежності від черговості виконання варіантів ОТЗ

Кількісна оцінка техніко-технологічних показників станції на основі її функціонального ергатичного моделювання

Вихідні дані для моделювання роботи станції. Апробація розробленої методики оптимізації була виконана при виборі раціональних черговості виконання організаційно-технічних заходів в приймально-відправному парку вантажної станції, схема якого наведена на рис. 5.6. Для усунення виявлених недоліків в конструкції і технології роботи ПВП (див. п. 5.1.1) був розглянутий ряд можливих реконструктивних і організаційних заходів :

- 1) оснащення контактною мережею колій №2, 4 і 5;
- 2) будівництво колій №24 і 26;
- 3) оснащення контактною мережею колій №24 і 26;
- 4) будівництво колії №28;
- 5) оснащення контактною мережею колії №28.

Необхідно відмітити, що деякі варіанти ОТЗ неможливо виконати раніше за виконання інших. Так, наприклад, неможливо обладнати

контактною мережею колію №28 (варіант 5) до її фактичного будівництва (варіант 4). Таким чином, отримано множину варіантів

, які відрізняються черговістю виконання ОТЗ на станції (табл. 5.5).

Для одержання техніко-експлуатаційних показників, які характеризують функціонування ПВП по кожному з намічених варіантів, виконане моделювання роботи парку з використанням розробленої ергатичної моделі ПВП станції. Для кожного варіанта при певних початкових умовах виконана серія експериментів, за результатами яких визначені середні значення показників функціонування ПВП, у т.ч.: середній час знаходження вагонів на станції T_n , середній простій поїздів на сусідніх станціях T_z , переробна спроможність станції N_n , завантаження виконавців технологічних операцій.

Обробка результатів моделювання. Витрати на реалізацію кожного варіанта можуть бути визначені відповідно до рекомендацій [69]. Величина річних приведених витрат по варіанту ОТЗ складає

$$, \quad (5.17)$$

де – інвестиційні вкладення на t -му етапі модернізації ПВП, млн. грн.
 .;

– річні експлуатаційні витрати, млн. грн.;

– коефіцієнт дисконтування витрат.

Таблиця 5.5 – Множина варіантів виконання реконструктивних заходів на станції

1	1	2	4	3	5
2	1	2	4	5	3
3	1	2	3	4	5
4	1	4	2	3	5
5	1	4	2	5	3
6	1	4	5	2	3
7	2	1	4	3	5
8	2	1	4	5	3
9	2	1	3	4	5
10	2	4	1	3	5
11	2	4	1	5	3
12	2	4	3	1	5

13	2	4	3	5	1
14	2	4	5	1	3
15	2	4	5	3	1
16	2	3	1	4	5
17	2	3	4	1	5
18	2	3	4	1	5
19	4	1	2	3	5
20	4	1	2	5	3
21	4	1	5	2	3
22	4	2	1	3	5
23	4	2	1	5	3
24	4	2	3	1	5
25	4	2	3	5	1
26	4	2	5	1	3
27	4	2	5	3	1
28	4	5	1	2	3
29	4	5	2	1	3
30	4	5	2	3	1

Інвестиційні вкладення включають витрати, пов'язані з реконструктивними заходами на станції

, (5.18)

де

- загальна довжина колій, що будуються у ПВП, км;
- загальна довжина колій, що обладнуються контактною мережею, км;
- загальна кількість додаткових стрілочних переводів, що укладаються в ПВП;
- вартість спорудження 1 км станційних колій, млн. грн.;
- вартість обладнання 1 км станційних колій контактною мережею, млн. грн.;
- вартість укладання одного стрілочного переводу, млн. грн.;

Експлуатаційні витрати по варіанту містять у собі витрати, пов'язані з утриманням технічних засобів, а також витрати, пропорційні розмірам руху

, (5.19)

де

- витрати на утримання, відповідно, станційних колій, контактної мережі та стрілочних переводів, млн. грн.;

– витрати, пов’язані з простоем вантажних поїздів на підходах до станції, млн. грн.;

– витрати, пов’язані з простоем вагонів на вантажній станції, млн. грн.

Витрати, пов’язані з утриманням технічних засобів, визначаються за допомогою виразів

$$, , , \quad (5.20)$$

де – вартість утримання 1 км станційних колій, млн. грн./рік;

– вартість утримання 1 км контактної мережі, млн. грн./рік;

– вартість утримання одного стрілочного перевodu, млн. грн./рік.

Загальні річні експлуатаційні витрати, пов’язані з простоем вантажних поїздів на підходах до станції, визначаються як

$$, \quad (5.21)$$

де – середній час затримки прийому поїздів до парку, години;

– середньодобова кількість поїздів, що прибувають у ПВП станції;

– вартість 1 поїздо-години простою, грн.

Загальні річні експлуатаційні витрати, пов’язані з простоем вантажних вагонів на станції, визначаються як

$$, \quad (5.22)$$

де – середньодобовий сумарний час простою вагонів, що надходять на станцію для обслуговування, години;

– вартість 1 години простою вагона на станції, яка визначається у відповідності до [43], грн.

Для визначення значення експерименти з моделлю по кожному варіанту виконувалися при різній інтенсивності вхідного поїздопотоку. При цьому максимально можливі значення переробної спроможності визначалося по експерименту із граничним значенням , при якому був досягнутий критичний рівень насичення системи обслуговування ПВП [116]. Граничне значення інтенсивності фіксувалося, коли при його подальшому збільшенні добова кількість обслужених поїздів у ПВП не змінювалася.

Тривалість кожного етапу складає 0,5 років, а загальна тривалість всього періоду – 2,5 роки.

В результаті моделювання роботи ПВП при різній черговості виконання ОТЗ отримані приведені витрати у різних станах реконструкції вантажної станції (табл. 5.6).

Для порівняльного аналізу показників функціонування вантажної станції виконано моделювання її роботи в умовах поступового зростання добового вагонопотоку , який перероблюється на станції. При цьому на станції не передбачається ніяких реконструктивних заходів, спрямованих на підвищення її переробної спроможності. Результати розрахунку приведених витрат по етапам зростання обсягів переробки наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.6 – Результати розрахунку приведених витрат в залежності від черговості виконання ОТЗ

№ з/р				ваг. ,	млн. грн. ,
1	1	1	2	720	10,275
2	2	1	3	780	13,839
3	4	1	4	720	11,318
4	2	2	5	850	14,024
5	4	2	6	790	11,104
6	1	3	5	850	9,423
7	4	3	7	850	10,494
8	3	3	8	840	9,772
9	1	4	6	790	10,044
10	2	4	7	850	13,646
11	5	4	9	755	9,661
12	4	5	10	920	10,976
13	3	5	11	910	9,686
14	2	6	10	920	13,769
15	5	6	12	825	9,77
16	1	7	10	920	9,527

закінчення табл. 5.6

17	3	7	13	910	9,316
18	5	7	14	885	9,092
19	1	8	11	910	10,011
20	4	8	13	910	11,09
21	1	9	12	825	10,833
22	2	9	14	885	14,351
23	3	10	15	980	9,248
24	5	10	16	955	9,532
25	4	11	15	980	11,406
26	2	12	16	955	14,792
27	1	13	15	980	9,957
28	5	13	17	945	9,583
29	1	14	16	955	10,19
30	3	14	17	945	9,916
31	5	15	18	1015	9,729
32	3	16	18	1015	10,061
33	1	17	18	1015	10,386

Таблиця 5.7 – Результати розрахунку приведених витрат на різних етапах зростання обсягів роботи

	ваг.	млн. грн.	млн. грн.	млн. грн.
0,5	650	—	10,217	9,654
1,0	700	—	12,262	11,587
1,5	780	—	14,909	14,088
2,0	860	—	18,211	17,208
2,5	930	—	25,050	23,670
Разом				76,207

Графічна інтерпретація рішення задачі вибору раціональної черговості виконання ОТЗ, спрямованих на підвищення ефективності функціонування вантажної станції, методом динамічного програмування наведена на рис. 5.9.

Рисуно
к 5.9 –
Вибір
чергов
ості
викона
ння
реконс
трукти
вних
заходів
у ПВП
станції

методо
м
динамі
чного
програ
муванн
я

Аналіз результатів рішення задачі вибору раціональної черговості виконання реконструктивних заходів на станції. За допомогою методів динамічного програмування у вихідній множині виділена множина , яка включає лише варіанти з мінімальними приведеними витратами, тобто . Отримана множина складається лише з 10-го варіанту (див. табл. 5.5), тобто , при цьому , а млн. грн. Варіант

відповідає наступній послідовності виконання заходів :

- 1) будівництво колій №24 і 26;
- 2) будівництво колії №28;
- 3) оснащення контактною мережею колій №2, 4 і 5;
- 4) оснащення контактною мережею колій №24 і 26;
- 5) оснащення контактною мережею колії №28.

Вказана раціональна черговість виконання ОТЗ на станції забезпечить потрібну її переробну спроможність на кожному етапі зростання добового вагонопотоку, що підлягає переробці, при цьому загальні приведені витрати складатимуть 52,837 млн. грн. за весь період або 21,1348 млн. грн./рік.

При найгіршій черговості виконання ОТЗ на станції загальні приведені витрати складатимуть 56,665 млн. грн. за період або 22,666 млн. грн./рік.

Таким чином, отримане раціональне рішення дозволяє скоротити приведені витрати, пов'язані з реконструкцією і функціонуванням станції, по відношенню до найгіршого рішення в середньому на 1,53 млн. грн./рік (7%), а по відношенню до початкового стану ПВП – на 9,35 млн. грн./рік (31%). По дібне рішення може бути отримане для технічних станцій будь-якої складності, а розроблена методика та моделі можуть бути покладені в основу сучасної системи підтримки прийняття рішень для керівництва залізниці.

Висновки по розділу 5

У сучасних умовах ринкової економіки особливу увагу здобуває проблема ефективного техніко-економічного керування залізничними станціями, основна задача якого полягає у прийомі науково і економічно обґрунтованих рішень при плануванні організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування залізничних станцій.

Для рішення практичних задач, спрямованих на підвищення ефективності роботи залізничних станцій, розроблена ергатична модель повинна максимально відповідати реальному об'єкту. У цьому зв'язку на основі комплексного обстеження реальних об'єктів виконано ідентифікацію моделі залізничної станції.

При побудові моделі однієї з залізничних станцій України виконано комплексне обстеження приймально-відправного парку станції, за результатами якого формалізовані його технічне оснащення і технологічний процес роботи, розроблено відповідну інформаційну модель, а також визначені параметри законів розподілу випадкових величин, які характеризують вхідний потік поїздів і систему обслуговування. Встановлено, що випадкові величини тривалості виконання окремих технологічних операцій підпорядковані нормальному закону розподілу. У той же час, для деяких випадкових величин тривалості операцій, значення яких залежить від параметрів об'єктів, які обслуговуються, на основі регресійного аналізу були отримані аналітичні вираження для моделювання тривалості цих операцій.

Адекватність моделі ПВП станції підтверджена на основі статистичного аналізу вибірок значень часу знаходження вагонів на станції, які були отримані на реальній станції та у результаті моделювання її роботи. За допомогою критерію Ван-дер-Вардена встановлено, що ці вибірки належать одній генеральній сукупності, внаслідок чого можна затверджувати, що розроблена ергатична модель адекватна реальній станції.

Розроблена функціональна ергатична модель апробована при визначенні раціональної черговості виконання реконструктивних заходів на одній з залізничних станцій України. З цією метою на основі комплексного обстеження ПВП були виявлені недоліки в конструкції його колійного розвитку і технічному оснащенні, а також розроблені 5 заходів для їх усунення. За результатами моделювання роботи станції були отримані значення приведених витрат і переробної спроможності станції по кожному з 30 варіантів, які відрізняються черговістю виконання ОТЗ.

Задача вибору раціональної черговості виконання організаційно-технічних заходів, спрямованих на удосконалення техніко-технологічних параметрів станцій формалізована і вирішена як задача динамічного програмування.

На основі рішення оптимізаційної задачі отримана раціональна черговість виконання ОТЗ на станції, яка передбачає скорочення приведених витрат по відношенню до найгіршої черговості на 7% або 1,53 млн. грн./рік. У той же час скорочення витрат по відношенню до початкового стану станції складає 31% або 9,35 млн. грн./рік.

Розроблена методика, моделі і відповідне програмне забезпечення можуть бути покладені в основу сучасної системи підтримки прийняття рішень для керівництва залізниць. Така система дозволить здійснювати ефективне техніко-економічне керування інфраструктурою залізничного транспорту України.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичну задачу підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі науково обґрунтованих методів комплексної оцінки їх технічного оснащення та технології роботи. Основні наукові результати і висновки дисертації полягають у наступному:

1. Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі підвищення ефективності функціонування залізничних станцій показав, що існуючі методики базуються на використанні аналітичних, графічних і імітаційних моделей, які, як правило, орієнтовані на рішення вузькоспеціалізованих задач і в багатьох випадках тільки для конкретної станції. Для вирішення вказаної проблеми необхідна розробка системи інтегрованих геометричних та функціональних моделей для параметричного синтезу та аналізу залізничних станцій. При цьому здобула подальший розвиток концепція ергатичних функціональних моделей станцій, в яких людина приймає безпосередню участь у процесі моделювання, виконуючи функції диспетчера.

2. Дослідження технічного стану залізничних станцій України виявили суттєві недоліки в їх конструкції і відмінність від типових рішень. Аналіз довжини колій в приймально-відправних парках станцій показав, що близько 33% з них мають корисну довжину меншу за 850 м. Разом з цим, в парках де яких залізничних станцій середнє квадратичне відхилення корисної довжини колій перевищує 140 м, що свідчить про недосконалу конструкцію стрілочних горловин станцій. Аналіз технічного стану колійного господарства станцій виявив значний знос приймально-відправних колій, що спричиняє зниження рівня безпеки та швидкості руху по станції – близько 50% колій мають обмеження по швидкості руху до 10 км/год.

Дослідження кількості колій показали їх надлишок на більшості сортувальних станціях, що забезпечує додатковий резерв переробної спроможності, але призводить до значних витрат на утримання колій. Разом з тим, на деяких вантажних станціях України спостерігається дефіцит кількості приймально-відправних колій, що негативно впливає на ефективність їх функціонування.

3. Розроблена система структурно-параметричних моделей залізничних станцій та процедура формування вхідної геометричної моделі станції в інтерактивному графічному вигляді дозволяють скоротити час побудови схем станцій в ЕОМ на 10-20%.

4. Розроблена методика відбору раціональних варіантів проектних рішень, яка оснований на використанні методів аналізу ієрархій, дозволяє істотно прискорити аналіз та відбір конкурентоспроможних варіантів конструкції плану колійного розвитку станцій для подальшого вибору раціонального варіанту.

5. Удосконалена ергатична модель залізничних станцій забезпечує синхронну адаптацію до поточного стану станції, що дозволяє виконати моделювання її добової роботи за 10-15 хвилин.

6. Запропонований регенеративний метод дозволяє скоротити період моделювання роботи станцій на 30% у порівнянні з традиційними методами. При цьому похибка результатів моделювання не перевищує 5%.

7. Перевірка адекватності удосконаленої ергатичної моделі залізничної станції з використанням Х-критерію Ван-дер-Вардена підтвердила гіпотезу про приналежність одній генеральній сукупності вибірок часу знаходження вагонів на станції, що були отримані на реальній станції та за результатами моделювання її роботи.

8. Оптимізаційні задачі вибору раціональної черговості виконання реконструктивних заходів раціонально вирішувати з використанням методу динамічного програмування. При цьому необхідна техніко-економічна оцінка кожного комплексу планованих організаційно-технічних заходів може бути отримана за допомогою розробленої функціональної ергатичної моделі станції. Показано, що раціональна черговість виконання реконструктивних заходів на розглянутій станції дозволяє скоротити річні приведені витрати, пов'язані з її функціонуванням, на 1,53 млн. грн./рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акулиничев В.М. Проблемы автоматизации проектирования ж.д. станций и узлов / В.М. Акулиничев, В.И. Бодюл, В.В. Голубев // Вопросы проектирования и технология транспортных узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 674. - М.: МИИТ, 1980. - с. 3 - 9.
2. Акулиничев В.М. Основы автоматизации проектирования железнодорожных станций и узлов / В.М. Акулиничев, М.М. Алаев // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 735. - М.: МИИТ, 1983. - с. 3 - 14.
3. Алаев М.М. Формализация элементов схем станций для расчетов на ЭВМ. // Проблемы наращивания мощности станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 765. - М.: МИИТ, 1985. - с. 58 - 59.
4. Антонов К. В. Автоматизированные расчеты при проектировании планов парков путей на станции // Пути повышения производительности труда, сокращения сроков проектирования и строительства транспортных сооружений: Сб. научн. тр. - М.: ЦНИИС, 1986. - с. 133 - 135.
5. Барлоу Р. Математическая теория надежности: Пер. с англ. / Под ред. акад. АН СССР Б.В. Гнеденко – М.: Сов. радио, 1969. – 430 с.
6. Б. дел Рио. Определение на ЭЦВМ пропускной способности станций по горловинам / Б. дел Рио, В.М. Мирошниченко // Сб. Кибернетика и транспорт. - М.: Наука, 1968. - с. 207 - 231.
7. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965.
8. Березовий М.І. Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України / М. І. Березовий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вип. 6/3 (42). – С. 60-66.
9. Бобровский В.И. Структурные модели путевого развития железнодорожных станций для автоматизированного проектирования // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте.- 1997.-№3.-с.58-63.
10. Бобровский В.И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций. Автореф. дис. докт. техн. наук: ДНУЗТ. - 2002. - 36 с.
11. Бобровский В.И. Определение положения предельных столбиков и сигналов при автоматизированном проектировании железнодорожных станций / В.И. Бобровский В.И., Д.Н. Козаченко // Залізничний транспорт України. - 2004 - №4, - с. 14 - 16.
12. Бобровский В.И. Технично-економічне управління залізничними станціями на основі ергатических моделей / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Информационно–управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – №6. – С. 30-42.
13. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. // Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія

«Транспортні системи і технології», Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – с. 80-86.

14. Бобровский В.И. Эргатические модели сортировочных горок // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2001. - №5. - с. 7 - 11.

15. Бобровский В.И. Имитационное моделирование роспуска составов в тренажерах горочных операторов // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - № 4. - с. 112.

16. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно-диспетчерского персонала // Мат. моделювання. - 2000. - №2(5). - с. 68 – 71.

17. Бобровский В.И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: Монография // В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкин – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156с.

18. Бобровский В.И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей / В.И. Бобровский, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкин // Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2007. – Вип. 16. – С. 50-57.

19. Бобровский В.И. Формализованное представление и расчет планов путевого развития крупных железнодорожных станций / В.И. Бобровский, В.В. Малашкин // Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2010. – Вип. 31. – С. 226-231.

20. Бобровский В.И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 38. - Харків: ХарДАЗТ, 1999. - с. 35 - 42.

21. Бобровский В.И. Моделирование системы управления пропуском поездов через пересечения // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. - Вип. 33. - Харків: ХарДАЗТ, 1998. - с. 71 - 79.

22. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования. – Рига: «Знание», 1990. – 184 с.

23. Бочаров А.П., Кранц И.М., Кривоший Б.А. Проблемы технологического управления эксплуатационной работой железных дорог Украины //Залізничний транспорт України. – 2001. – №2 – с. 11-14.

24. Бузанов С.П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств / С.П. Бузанов, А.М. Карпов, М.А. Рыцарев - М.: Транспорт, 1965.-232с.

25. Быкадоров А.В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания. //Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. - №146. с. 63 – 80

26. Венгерский Е. Вероятностные методы в проектировании транспорта. – Пер. с польск. – М.: Транспорт, 1979. – 314 с.
27. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: «Советское радио». – 1972. – 552 с.
28. Вернигора Р.В. Повышение эффективности функционирования железнодорожных станций как эргатических систем: Дисс. канд. техн. наук: 05.22.20. – Днепропетровск, 2008. – 230 с.
29. Ветухов Е.А. Определение уровня загрузки станций методом моделирования их работы на ЭЦВМ / Е.А. Ветухов, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 1969. – №7. – с.34-37.
30. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
31. Головнич А.К. Автоматизированное проектирование железнодорожных станций. - Гомель: БелГУТ, 2001. – 202 с.
32. Головнич А.К. Основы теории автоматизированного проектирования: Отчет о НИР / Белорусский государственный университет транспорта. № ГР 20001396. Гомель, 1997 – 197 с.
33. Гончарук С.М. и др. Автоматизированная система технико-экономического выбора варианта технологического процесса работы станции // Повышение эффективности работы ж.д. тр-та Сибири и Дальнего Востока. Сб. трудов науч.-практ. конф. Хабаровск: ДВГУПС – 1999. – с.60-61.
34. Грунтов П.С., Захаров В.А. Решение практических задач с помощью моделирования работы станций // Железнодорожный транспорт. – 1979. – №1. – с.22-25.
35. Грунтов П.С., Захаров В.А. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ. Гомель. 1981. – 152 с.
36. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
37. ДБН В.2.3-19-2008 Споруди транспорту залізниць колії 1520 мм. Норми проектування.
38. Ефименко Ю.И., Тулякова Н.В. Оптимизация путевого развития технических станций в условиях рыночной экономики // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог в современных условиях: Межвуз. сб. научн. тр. – СПб.: ПГУПС, 1999. – С. 115-121.
39. Жардемов Б. Б. Системные принципы построения схем железнодорожных станций и узлов. Методы исследования и оценки // Транспорт: Наука, техника, управление. - ВИНТИ. - 1999. - № 5. - с. 40 - 48.
40. Железнодорожные станции и узлы промышленного транспорта: Учебник для ВУЗов / В.М. Акулиничев, Л.П. Колодий, Н.Г. Мищенко, В.А. Сидяков / Под ред. В.М. Акулиничева. - М.: Транспорт, 1986. - 352 с.
41. Жук Е. Имитационное моделирование работы сортировочной станции при составлении графика движения поездов // Вестник ВНИИЖТа. – 1995. - №3. – с.45-46.

42. Загарий Г. И., Федюшин Ю. М. Моделирование процесса перевозок на железных дорогах Украины с помощью расширенных сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 4. - с. 52 - 56.
43. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги: Тарифне керівництво №1 - Київ. – 2009
44. Ивницкий В.А. Миркин А.Г. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования// Вестник ВНИИЖТа. – 1990. - №7. – с. 7-10.
45. Иглхарт Д.Л. Шедлер Д.С. Регенеративное моделирование сетей массового обслуживания: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984 – 136 с.
46. Имитационные модели в условиях новой информационной технологии управления производственно - транспортными комплексами / Гриценко В. И., Панченко А. А., Назаренко Н. А. - К.: 1986. - 58 с. (Препр. / АН Украины. Ин - т кибернетики; 86 - 23).
47. Калашников В.В. Организация исследования сложных систем на базе агрегативного подхода к моделированию – Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1982, №2, с. 92 – 108.
48. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем. - М.: Транспорт, 1985. - 214 с.
49. Кокурин И.М. Методика количественной оценки деятельности человека-оператора железнодорожных автоматизированных систем управления // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 404. - Л.: ЛИИЖТ, 1977. - с. 73 – 83.
50. Кокурин И.М. Улучшение условий труда дежурных по станции при МРЦ // Железнодорожный транспорт. – 1974. - №6. – с. 32-35.
51. Кокурин И.М. Формализация расчета загрузки железнодорожных операторов // Вестник ВНИИЖТа. – 1983. - №5. – с.51-54.
52. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.12.2006 №651-р.
53. Корешков В.Н. Способ представления схемы сортировочной станции в ЭВМ // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1985. - с. 91 - 96
54. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ. - М.: Вильямс, 2006. – 1296 с.
55. Кристофидис Н. Теория графов. Алгоритмический подход. - М.: Мир, 1978.
56. Крэйн М. Введение в регенеративный метод анализа моделей: Пер. с англ. Н.Я. Ривеса / М. Крэйн, О. Лемуан; Под ред. В.В. Калашникова // М.: Наука, 1982 – 104 с.
57. Кузьмин В.Б. Параметрическое отношение лингвистических значений переменных и ограничений // Модели выбора альтернатив в

нечеткой среде. – Рига, 1980, с.75-76

58. Кутах А.П., Фурсова Т.И. Система имитационного моделирования оценки эффективности новых технологий и организации перевозок на железнодорожном транспорте // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – №6 – с.156-166.

59. Лещинский Е.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1977. - 176 с.

60. Липский В. Комбинаторика для программистов. - М.: Мир, 1988. - 213 с.

61. Ломотько Д.В. Дослідження зміни часу знаходження місцевих вагонів у харківському вузлі / Д.В. Ломотько, Я.В. Запара // Зб. наук. праць. – 2009. – №17. – С. 9-16.

62. Ломотько Д.В. Формування нечіткої бази знань та системи підтримки прийняття рішення у підрозділах залізниць // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2006. – №2 – с. 52-58.

63. Ломотько Д.В. Використання апарату нечіткої логіки для оптимізації розподілу обмеженого ресурсу на залізничному полігоні // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2006. – №4 – с. 10-14.

64. Майкл Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++. - М.: Издательство БИНОМ, 1997. - 304 с.

65. Малашкин В.В. Техничко-економическая оценка схем путевого развития железнодорожных станций на основе их многоуровневого параметрического анализа / В.В. Малашкин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Л.: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, – 2010. – Вип. 1. – С. 106-113.

66. Малашкін В.В. Аналіз технічного стану приймально-відправних парків сортувальних станцій України / В.В. Малашкін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Вип 6/3 (54). – С. 55-59.

67. Мацкель С.С. Статистическое моделирование транспортных процессов в узлах. // Вопросы разработки систем автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 203/47. - Ташкент: ТашИИТ, 1987. - с. 59 - 69.

68. Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. – Киев: Киевгипротранс, Вып. 100, 1985 – 32с.

69. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. - М.: ВПТИТРАНССТРОЙ, 1988. - 468 с.

70. Миркин А.Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. - №3. – с. 7-10

71. Мирошніченко В.М. О машинном представлении схем крупных железнодорожных станций // Сб. Кибернетика и транспорт. - М.: Наука, 1968. - с. 178 - 206.

72. Мирошниченко В.М. Некоторые вопросы автоматизации проектирования железнодорожных станций с помощью ЭЦВМ: Автореф. дис... канд. техн. наук: 434/ ХИИТ. - К., 1969. - 25 с.
73. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Использование ЭВМ при расчете плана горочной горловины сортировочного парка // Применение вычислительной техники в учебном процессе: Труды вузов МПС. - Вып. 591. - М.: МИИТ. - 1977. - с. 140 - 147.
74. Муха Ю. А., Бобровский В. И. Моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 90/6. - Днепропетровск, 1969. - с. 53 - 63.
75. Муха Ю.А., Бобровский В.И., Попов С.А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 181/10. - Днепропетровск. - 1976. - с. 23 - 40.
76. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири - К» сортировочного процесса на горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 194/11. - Днепропетровск, 1977. - с. 53 - 102.
77. Нагорный Е. В. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция – прилегающие участки» с помощью сетей Петри / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98-103.
78. Нагорный Е. В., Алешинский Е. С. Моделирование функционирования комплекса “Сортировочная станция - прилегающие участки ” с помощью сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - № 2. - с. 98 - 103.
79. Нагорный Е.В., Бутько Т.В., Титов Н.Ф. Моделирование технологического процесса обработки вагонов, информации и перевозочных документов экспортно-импортного вагонопотока по прибытию на передаточных пограничных станциях // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ, 1998. - Вип. 33.- с. 125-129.
80. Ногин В. Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие. – СПб.: Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с.
81. Образцов В. Н. К вопросу о проектировании станций и их расчете / В. Н. Образцов // Избранные труды. – М. Издательство академии наук СССР , 1955. – Т. 1. – С. 77-121.
82. Олейников А.М. Оптимизация проектных решений элементов схем станций с помощью ЭВМ / А.М. Олейников, М.М. Алаев // Тезисы докладов IX областной научно - практической конференции. - Куйбышев: КИИТ. - 1985. - с. 14 - 15.
83. Олейников А.М. Основные принципы проектирования схем станций с помощью ЭВМ / А.М. Олейников, М.М. Алаев, В.Н. Корешков // Тезисы докладов IX областной научно - практической конференции. -

Куйбышев: КИИТ. - 1985. - с. 15 - 16.

84. Основы эксплуатационной работы железных дорог: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.А. Кудрявцев, В.И. Ковалев, А.П. Кузнецов и др.; Под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.

85. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

86. Павлов В.Е. Элементы оптимального проектирования плана горловины автоматизированной сортировочной горки. // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов: Сб. научн. тр. ЛИИЖТа. - Вып. 314. - Л.: Транспорт, 1971. - с. 148 - 155.

87. Падня В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте. - М.: Транспорт, 1968. – 208 с.

88. Персианов В. А. Расчет железнодорожных узлов методом моделирования их работы на ЭЦВМ / В. А. Персианов, Н. С. Усков, И. Е. Четыркина // Транспортные узлы. – М.: Транспорт. – 1996. – С.420-446.

89. Персианов В.А. Моделирование транспортных систем / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.

90. Пилипченко П. А. Структурное моделирование работы сортировочной станции // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 497. - М.: МИИТ. - 1975. - с. 60 - 61.

91. Подиновский В.В. Парето оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.

92. Покавкин В.А. Нормирование показателей работы и загрузки устройств сортировочных станций // Железнодорожный транспорт. – 1972. - №11. – с. 14-17.

93. Пособие по проектированию промышленных железнодорожных станций (к СНиП 2.05.07-85). – М.: СТРОЙИЗДАТ. – 1990.

94. Правдин Н. В., Головнич А. К. Оценка структуры отдельного пункта с использованием САПР // Транспорт: Наука, техника, управление. - ВИНТИ. - 1999. - № 5. - с. 22 - 29.

95. Правдин Н. В., Головнич А. К. Компьютерное представление нормативных требований для проектирования станций // Железнодорожный транспорт. - 2000. - № 6. - с. 70 - 73.

96. Прашил Я., Садлонь Л. Имитационная модель работы дежурного по промежуточной станции // Совершенствование управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 716. - М.: МИИТ, 1982. - с. 120 - 127.

97. Проектирование железнодорожных станций и узлов / Справ. и метод. руководство / Под ред. Козлова А.М., Гусевой К.Г. - М.: Транспорт, 1981. - 592 с.

98. Расчеты соединения путей на ЭВМ / Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. - К.: Киевгипротранс, 1981. - 23 с.
99. Рекомендований технологічний процес роботи вантажної станції: Затв. наказом Укрзалізниці від 17.12.2004 р. № 249-Ц. – К.: НВП Поліграф сервіс, 2005. – 224 с.
100. Родимов Б.А. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок / Б.А. Родимов, В.Е. Павлов, В.Д. Прокинова - М.: Транспорт, 1980. - 96 с.
101. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации; Винница “Универсум-Винница”, 1999-320с.
102. Руководство по расчету станций методом моделирования на ЕС ЭВМ / М.: ЦНИИС, 1984. - 110 с.
103. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
104. Савченко И.Е. Железнодорожные станции и узлы / Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский И.И. 121- М.: Транспорт, 1980. - 479 с.
105. Сапунов Н.А. Об оценке количества информации в системе управления сортировочной станцией // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 364. - Л.: ЛИИЖТ, 1973. - с. 80 – 91.
106. Сапунов Н.А., Кожевников А.И., Столяров А.С. Улучшить подготовку дежурных по станциям // Железнодорожный транспорт. – 1997. - №1. – с. 16-19.
107. Сваровский С.Т. Аппроксимация функций принадлежности значений лингвистической переменной // Математические вопросы анализа данных. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1980. – с.127-131.
108. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. - М.: Транспорт, 1979. - 239 с.
109. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. (Исследование операций на станциях). – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.
110. Таблицы по математической статистике / Мюллер П., Норман П., Шторм Р. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 278 с.
111. Таль К.К., Пономарева Л.Ф. Методика расчета соединений путей на ЭВМ / К.К Таль, Л.Ф Пономарева // Вопросы проектирования железных дорог: Сб. научн. тр. ЦНИИС. - Вып. 63. - М.: Транспорт, 1967. - с. 142 - 156.
112. Таль К.К. Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станции и узлов. // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 47. - М.: ЦНИИС - 1971. - с. 56 - 96.
113. Таль К.К. О классификации методов моделирования, используемых для расчета станций и узлов. // Вопросы проектирования и расчета железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 90. - М.: ЦНИИС, 1976. - с. 74 - 90.
114. Типовий технологічний процес роботи сортувальної станції. ЦД-0017: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.

115. Типовий технологічний процес роботи дільничної станції. ЦД-0018: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.
116. Тишкин Е.М., Климанов В.С. Закономерности насыщения устройств сортировочных станций вагонами // Вестник ВНИИЖТа. – 1980. - №2 – с.6-9.
117. Томилина Г.С. Схемы горловин участковых станций с минимальными затратами на ремонт стрелочных переводов и подвижного состава // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1987. - с. 74 - 78.
118. Томилина Г.С. Необходимые условия для автоматизации проектирования станций. // Вопросы совершенствования системы автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 214/54. - Ташкент: ТашИИТ, 1989. - с. 29 - 30.
119. Трахтенбрат Б.А. Конечные автоматы. М.: Наука, 1970. – 400с.
120. Тулякова Н.В. Оптимизация этапности развития станций с использованием электронных таблиц // Совершенствование и автоматизация процессов управления перевозками на железнодорожном транспорте: Сб. научн. тр. – СПб.: ПГУПС, 1998. – С. 80-86.
121. Тулякова Н.В. Оптимизация технического состояния и технологического обеспечения железнодорожных станций в современных условиях // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: Сб. научн. тр. – СПб.: ПГУПС, 2002. – С. 141-146.
122. Тютюнов Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.08/ БелГУТ. - Гомель, 1995. - 16 с.
123. Ульяненкова Н. В., Храбров В. В. Современные тенденции рационального использования технического оснащения грузовой станции // Транспорт: Наука, техника, управление. - ВИНТИ. - 1999. - № 5. - с. 65 - 66.
124. Федотов В.А. Определение продолжительности простоя вагонов на станции в ожидании обслуживания методом моделирования на ЭВМ. // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 497. - М.: МИИТ. - 1975. - с. 143 - 149.
125. Федотова Т.Н. Статистическое моделирование работы сортировочных станций на ЭВМ. // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1978. - с. 60 - 67.
126. Федотова Т.Н. Имитация работы парков сортировочной станции на ЭВМ. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1978. - с. 68 – 72
127. Федотова Т.Н. Моделирование транспортных систем с приоритетами // Вопросы проектирования железнодорожных станций: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 589. - М.: МИИТ, 1978. - с. 97 - 107.
128. Федюшин Ю. М. Применение сетей Петри для моделирования процессов управления на железнодорожном транспорте // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте . - 1996. - № 3, 4. - с.

7 - 12.

129. Фоли Дж., вэн Дэм А. Основы интерактивной машинной графики: В 2-х книгах. Кн. 1. - М.: Мир, 1985. - 368 с.

130. Фуфачева М.В. Развитие методов этапного овладения перевозками на двухпутных линиях при обращении длинносоставных грузовых поездов: Дисс. канд. техн. наук: 05.22.08. – Иркутск, 2010. – 147 с.

131. Чернов В.Н. Формализация схем железнодорожных станций для графического отображения на ЭВМ / В.Н. Чернов, В.С. Пивоваров // Вопросы совершенствования системы автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 214/54. - Ташкент: ТашИИТ, 1989. - с. 8 - 13.

132. Шабалин Н.Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях. // Железнодорожный транспорт. - 1971. - №5. - с. 64 – 65.

133. Шавзис С.С. Планирование поездообразования: новые подходы и решения. //Железнодорожный транспорт. – 2003. - №8. – с. 43-47.

134. Шафит Е.М., Самков А.Н. Моделирование функционирования системы автоматического управления сортировочным процессом с управляющей ЦВМ //Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа - Вып. 149/5. – Днепро-петровск. – 1973. - с. 3-7.

135. Шафит Е.М., Косорига Ю.А. Оценка эффективности функционирования устройств горочной автоматики на основе стохастического моделирования // Автоматизир. системы управления технологическими процессами на ж.д. станциях: Труды ДИИТа - Вып. 211/9 - Днепропетровск. - 1980 - с.56-61.

136. Шафит Е.М., Жуковицкий И.В., Рыбцов В.Н. Принципы построения де-централизованных систем АРС для сортировочных горок большой мощности // Автоматизированные информационно-управляющие вычислительные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта: Труды ДИИТа. - Вып. 289/18 – Днепропетровск. – 1993. - с. 28-35 .

137. Шафит Е.М., Жуковицкий И.В., Косолапов А.А. Принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами на сортировочной станции // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. - 1996. - №1/2. - с. 36-41.

138. Шторм Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

139. Яновський П.О. Результати аналізу існуючого стану та пропозиції з перспективи розвитку і розміщення на мережі залізниць сортувальних станцій для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року / П.О. Яновський, А.А. Акуленко // Залізничний транспорт України. – 2010. – №1. – С. 28-31.

140. Яновський П. О. Методика визначення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях в умовах функціонування автоматичної

системи моделювання та аналізу експлуатаційної роботи залізниць / П. О. Яновський // Залізнич. транспорт України. – 2008 . – № 2. – С. 25-28.

141. Saaty Thomas L. The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies. – Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 1992. – с. 496.

142. VirtuOS® – Simulieren von Bahnbetrieb / König Helmut // ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2001. 50. – № 1-2, – С. 44-47.

143. Warninghoff C., Ferchland C. Nutzung von Simulationen zur Unterstutzung der betrieblichen Infrastrukturplanung //ETR: Eisenbahntechn. –2004.–№7-8–с.490-498.

ДОДАТОК А
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА
СВІДОЦТВА ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКИХ ПРАВ НА ТВІР

Затверджую:

Директор ТОВ «Металургійний завод

«Дніпросталь»

Г.О. Саудов



17 грудня 2008 р.

Довідка

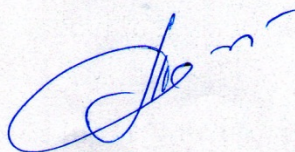
про впровадження результатів дисертаційної роботи Малашкіна В.В., асистента кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

В 2008 р. на замовлення ТОВ «МЗ «Дніпросталь» була виконана науково-дослідна робота «Розробка і аналіз варіантів будівництва зовнішньої під'їзної залізничної колії подачі металевого брухту ТОВ «МЗ «Дніпросталь» (договір №55/0408 від 16 квітня 2008 р., державний реєстраційний номер 0108U008053).

При виконанні науково-дослідної роботи в якості відповідального виконавця звіту приймав участь асистент кафедри «Станції та вузли» ДНУЗТ Малашкін В.В., який розробив методику та інструментальні засоби автоматизованого проектування залізничних станцій, що були використані при аналізі варіантів колійного розвитку станції «Сортувальна-П».

Впровадження результатів дисертаційної роботи дало змогу суттєво розширити кількість конкурентних варіантів та отримати їх точні технічні параметри.

Координатор проекту



О.О. Сегеда

Затверджую:

Начальник технічної служби
Придніпровської залізниці
Бабенко О.В.

«_____» 2007 р



Довідка

про впровадження результатів науково-дослідної роботи кафедри „Станції та вузли” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТУ)

Відповідно до наказу Міністерства транспорту та зв'язку України №27 від 02.02.05 року „Про введення в дію рішення науково-технічної ради від 23.12.2004 року” в 2005-2006 роках кафедрою „Станції та вузли” була виконана науково-дослідна робота №43.00.05.06 „Автоматизація проектування залізничних станцій”.

В НДР розроблено методику автоматизованого проектування колійного розвитку залізничних станцій та вузлів. Створено інтегроване сімейство структурно-параметричних моделей плану станцій та відповідне програмне забезпечення, що підтримує ітераційний процес синтезу раціональної конструкції колійного розвитку залізничних станцій.

Для техніко-економічної оцінки та вибору раціонального варіанту проектних рішень розроблено методику побудови ергатичних функціональних моделей залізничних станцій.

Результати НДР використані для оцінки та вибору варіантів удосконалення конструкції, технічного оснащення та технології станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

В.О. Головний інженер
служби перевезень
Придніпровської залізниці



Іванюк А.В.

Затверджую:

Заступник Генерального директора
ТОВ «Трансінвестсервіс»

начальник залізничного управління

Верлан А.І.

« _____ » 2011 р.



Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи Малашкіна В.В., асистента кафедри Станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

В 2009-2010рр науково-виробничим підприємством «Укртранскад» по замовленню ТОВ «Трансінвестсервіс» виконано науково-дослідну роботу «Розробка технологічного процесу роботи під'їзної колії ТОВ «Трансінвестсервіс» (договір №62 від 01.12.2009р, державний реєстраційний номер 0110U003345). При виконанні науково-дослідної роботи в якості автора звіту приймав участь асистент кафедри Станцій та вузлів ДНУЗТ Малашкін В.В.

В даній науково-дослідній роботі були використані елементи дисертаційної роботи Малашкіна В.В., пов'язані з підвищенням ефективності функціонування під'їзної колії ТОВ «Трансінвестсервіс».

В результаті аналізу отриманих в дисертаційній роботі Малашкіна В.В. даних було прийнято рішення про їх впровадження на під'їзній колії підприємства ТОВ «Трансінвестсервіс».

Затверджую:

Ректор Дніпропетровського

національного університету

залізничного транспорту імені

академіка В. Лазаряна

професор Пшінько О.М.

2011 р.



НЗ-БОДНАР Б Є

Довідка

16 ГРУ 2011

про впровадження результатів дисертаційної роботи Малашкіна В.В., асистента кафедри Станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

З 2008р. в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при проведенні лабораторних робіт з дисципліни «Дослідження операцій» використовується «Ергатична модель залізничної станції», яка розроблена кафедрою Станцій та вузлів ДНУЗТу.

В розробці функціональної моделі станції приймав участь асистент кафедри Станцій та вузлів ДНУЗТу Малашкін В.В., який розробив її інформаційну та функціональні моделі, а також методику кількісної оцінки техніко-технологічних параметрів станції.

Використання ергатичної моделі дозволяє отримати достовірну техніко-економічну оцінку параметрів залізничної станції, а також допомагає студентам отримати досвід, пов'язаний з обґрунтуванням ефективних заходів направлених на удосконалення станції.

Декан факультету УПП,

к.т.н., доцент

Нестеренко Г.І.



УКРАЇНА
Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір
 № 33139

Комп'ютерна програма "Построитель сетки плана-графика работы станции"

(вид, назва службового твору)

**Автор(и) Козаченко Дмитро Миколайович, Коробйова Руслана Геннадіївна,
 Березовий Микола Іванович, Малашкін Вячеслав Віталійович**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

**Авторські майнові права належать Дніпропетровський національний університет
 залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна, 2, м.
 Дніпропетровськ, 49010**

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації

07.05.2010

Голова Державного департаменту
 інтелектуальної власності



М.В.Паладій



УКРАЇНА
Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 32786

Комп'ютерна програма "Програмний комплекс для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітєвих графіків"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Малашкін Вячеслав Віталійович, Вернигора Роман Віталійович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації

09.04.2010

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності



М.В.Паладій

ДОДАТОК Б

РОЗРАХУНОК ПЛАНУ СКОРОЧЕНОЇ ГОРЛОВИНИ

У табл. Б.1 додатка наведена внутрішня модель скороченої стрілочної горловини, схема якої показана на рис. 3.2 (див. п. 3.4). У даній горловині для скорочення її довжини покладена додаткова крива 201 з кутом повороту β і зворотні їй криві 203–207, відповідно, на коліях 3–7. Для завдання розрахункового шляху в канонічній моделі горловини в рядку вершини 201 замість невідомого значення кута α вказаний номер кінцевої вершини розрахункового шляху (207).

У табл. Б.1 також наведені результати розрахунку плану скороченої горловини: параметри кривих, координати точок і відстані між ними.

На рис. Б.1 наведений масштабний план скороченої горловини, отриманий за допомогою програми Saprcnv.exe.

Таблиця Б.1 – Результати розрахунку скороченої стрілочної горловини

Внутрішня модель станції								Результати розрахунків					
Канонічна модель								Результати розрахунків					
* Стрелочные переводы								Таблица элементов кривых					
*N	NP	NB	W	S	T	LP	LB	202	6° 20' 25''	200	11.0772	22.1317	
1	102	2	1	0	0			201	13° 30' 30''	200	23.6863	47.1530	
2	202	201	0	0	0			203	19° 50' 55''	200	34.9930	69.2847	
3	4	5	0	0	0			204	26° 11' 20''	200	46.5210	91.4165	
4	204	203	0	1	0			205	32° 31' 45''	200	58.3499	113.5482	
5	205	6	0	0	0			206	32° 31' 45''	200	58.3499	113.5482	
6	207	206	0	1	0			207	32° 31' 45''	200	58.3499	113.5482	
7	108	0	7	0	0								
*Вершины углов поворота								Таблица расстояний между точками			Таблица координат		
N	NP	NB	W	R	LP	a	a' a''	1 102	300.0000	284.3980	1 100.0000	20.0000	
201	3	0	0	200	0	207		1 2	37.3110	6.2500	2 137.0828	24.1204	
202	103	0	2	200				2 202	306.7891	280.1099	3 225.6208	55.3295	
203	105	0	3	200				2 201	47.3883	8.1000	4 259.1016	71.7961	
204	104	0	4	200				3 4	37.3110	6.2500	5 257.0784	75.3927	
205	106	0	5	200				3 5	37.3110	6.2500	6 294.4446	105.5106	
206	110	0	6	200				4 204	127.3508	65.2277	7 446.9955	166.8000	
207	7	0	0	200				4 203	136.0796	85.4846	202 441.9954	58.0000	
*Концы путей								5 205	116.4291	42.4772	201 183.3152	34.5228	
*N	NP	NB	W	LP				5 6	47.9929	16.9319	203 387.0972	118.0000	
101	1	0	1					6 207	81.9519	8.0000	204 373.3791	128.0000	
102	0	0	1					6 206	75.2971	1.3452	205 355.2418	138.0000	
103	0	0	2					7 108	-46.9955	-62.4545	206 357.9289	146.0000	
104	0	0	4					202 103	-41.9954	-53.0726	207 358.2505	156.9393	
105	0	0	3					201 3	47.1453	8.0000	101 50.0000	20.0000	
106	0	0	5					203 105	12.9028	-22.0902	102 400.0000	20.0000	
107	+7	0	7					204 104	26.6209	-19.9001	103 400.0000	58.0000	
108	0	0	7					205 106	44.7582	-13.5917	104 400.0000	128.0000	
110	0	0	6					206 110	42.0711	-16.2788	105 400.0000	118.0000	
Модель горизонтальных колій								207 7	89.2911	15.3392	106 400.0000	138.0000	
*Опорная стрелка				*Междупутье				101 1	50.0000	34.5410	107 50.0000	166.8000	
*	No	X	Y	*	Wn	Wb	E	107 7	396.9955	381.3935	108 400.0000	166.8000	
	1	100	20		1	2	38.00				110 400.0000	146.0000	
					2	3	60.00						
					3	4	10.00						
					4	5	10.00						
					5	6	8.00						

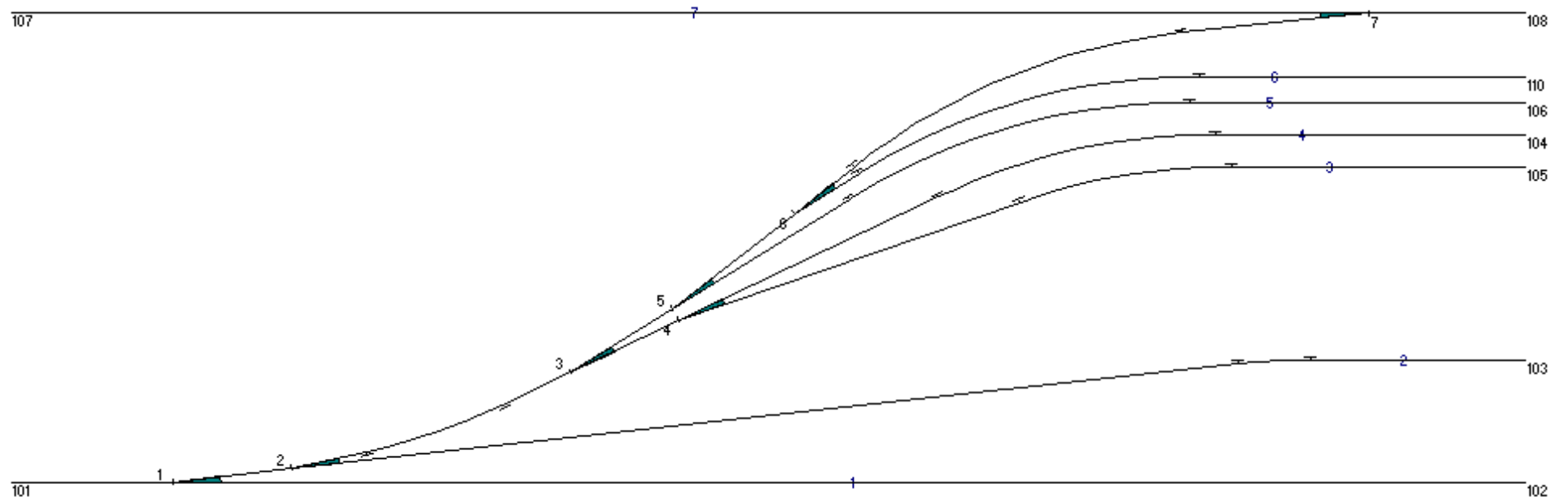


Рисунок Б.1 – Масштабний план скороченої стрілочної горловини

ДОДАТОК В

РОЗРАХУНОК ПЛАНІВ СТІЛОЧНИХ ВУЛИЦЬ

У даному додатку наведені внутрішні моделі стрілочних вулиць, розглянутих у п. 3.5, а також результати їх розрахунку і масштабні плани, отримані за допомогою програми Saprcnv.exe.

Таблиця В.1 – Скорочена вулиця зі збільшеним 1-м міжколійям (7,6115 м), рівним розрахунковому (мінімальному); інші міжколійї однакові. Для кривої з кутом β (201) у канонічній моделі задана розрахункова вершина (202) для його визначення.

Таблиця В.2 – Скорочена вулиця зі збільшеним 1-м міжколійям (10 м), яке більше розрахункового (мінімального); інші міжколійї однакові. Для кривої з кутом β (201) у канонічній моделі задана його величина ($1^{\circ}49'34.2''$), розрахована при $d=6.25$ м и $e=5.3$ м.

Таблиця В.3 – Скорочена вулиця зі збільшеним 1-м міжколійям (6.5 м), яке менше розрахункового (мінімального); інші міжколійї однакові. Для кривої з кутом β (201) у канонічній моделі задана розрахункова вершина (202) для його визначення. Невідомі вставки 2-3, 3-4 повинні бути визначені в результаті розрахунків, із цією метою вони позначені кодом 9999.

Крім того, у додатку наведені внутрішні моделі, результати розрахунків і масштабні плани: стрілочної вулиці під подвійним кутом хрестовини (табл. В.4), концентричної віяльної вулиці з однаковими міжколійями (табл. В.5), неконцентричної віяльної вулиці з однаковими міжколійями (табл. В.6).

Таблиця В.1 – Скорочена вулиця з 1-м міжколійям, яке дорівнює 7,6115 м

Внутрішня модель горловини								Результати розрахунків											
Канонічна модель																			
*Стрелочные переводы								Таблица элементов кривых											
*N	P	B	W	S	T	LP	LB	201	1° 49' 34''	200.00	3.1875	6.3745							
1	102	201	1	0	0			202	1° 49' 34''	200.00	3.1875	6.3745							
*2	3	202	0	1	0	6.25		203	1° 49' 34''	200.00	3.1875	6.3745							
*3	4	203	0	1	0	6.25		204	1° 49' 34''	200.00	3.1875	6.3745							
2	3	202	0	1	0	9999		205	8° 9' 59''	200.00	14.2773	28.5062							
3	4	203	0	1	0	9999													
4	205	204	0	1	0	0	0												
*Вершины углов поворота								Таблица расстояний между точками				Таблица координат							
*N	P	B	W	R	LP	A	A'	A''	1	102	230.0000	214.3980	1	20.0000	20.0000				
201	2	0	0	200	0	202			1	201	26.8895	8.1000	2	73.1013	26.7546				
202	103	0	2	200					2	3	37.3112	6.2502	3	110.0342	32.0546				
203	104	0	3	200					2	202	26.8901	8.1006	4	146.9669	37.3546				
204	105	0	4	200					3	4	37.3111	6.2501	201	46.7250	22.9695				
205	106	0	5	200					3	203	26.8896	8.1000	202	99.9778	27.6115				
*Концы путей								4	205	43.3434	13.4641	203	136.9101	32.9115					
*N	P	B	W	LP				4	204	26.8896	8.1000	204	173.8428	38.2115					
101	1	0	1	0				201	2	26.6465	8.0000	205	189.8708	43.5115					
102	0	0	1	0				202	103	150.0222	146.8347	101	-30.0000	20.0000					
103	0	0	2	0				203	104	113.0899	109.9024	102	250.0000	20.0000					
104	0	0	3	0				204	105	76.1572	72.9697	103	250.0000	27.6115					
105	0	0	4	0				205	106	60.1292	45.8519	104	250.0000	32.9115					
106	0	0	5	0				101	1	50.0000	34.5410	105	250.0000	38.2115					
																106	250.0000	43.5115	
Модель горизонтальных колій								Масштабний план горловини											
*Опорная стрелка				*Междупутья															
*ЦСП	X	Y		*Нижн	Верх	E													
1	20	20		1	2	7.6115													
				2	3	5.3													
				3	4	5.3													
				4	5	5.3													

Таблиця В.2 – Скорочена вулиця з 1-м міжколійям, яке дорівнює 10 м

Внутрішня модель горловини								Результати розрахунків										
Канонічна модель																		
*Стрелочные переводы								Таблица элементов кривых										
*N	P	B	W	S	T	LP	LB	201	1° 49' 34''	200.00	3.1874	6.3743						
1	102	201	1	0	0			202	1° 49' 34''	200.00	3.1874	6.3743						
*2	3	202	0	1	0	6.25		203	1° 49' 34''	200.00	3.1874	6.3743						
*3	4	203	0	1	0	6.25		204	1° 49' 34''	200.00	3.1874	6.3743						
2	3	202	0	1	0	9999		205	8° 9' 59''	200.00	14.2772	28.5061						
3	4	203	0	1	0	9999												
4	205	204	0	1	0													
*Вершины углов поворота								Таблица расстояний между точками				Таблица координат						
*N	P	B	W	R	LP	A	A'	A''	1	102	250.0000	234.3980	1	20.0000	20.0000			
201	2	0	0	200	9999	1	49	34	1	201	26.8894	8.1000	2	89.7459	29.1431			
202	103	0	2	200					2	3	37.3113	6.2503	3	126.6788	34.4431			
203	104	0	3	200					2	202	26.8894	8.1000	4	163.6117	39.7431			
204	105	0	4	200					3	4	37.3113	6.2503	201	46.7250	22.9695			
205	106	0	5	200					3	203	26.8894	8.1000	202	116.6217	30.0000			
*Концы путей								4	205	43.3435	13.4643	203	153.5546	35.3000				
*N	P	B	W	LP				4	204	26.8894	8.1000	204	190.4875	40.6000				
101	1	0	1	0				201	2	43.4617	24.8152	205	206.5157	45.9000				
102	0	0	1	0				202	103	153.3783	150.1909	101	-30.0000	20.0000				
103	0	0	2	0				203	104	116.4454	113.2580	102	270.0000	20.0000				
104	0	0	3	0				204	105	79.5125	76.3251	103	270.0000	30.0000				
105	0	0	4	0				205	106	63.4843	49.2071	104	270.0000	35.3000				
106	0	0	5	0				101	1	50.0000	34.5410	105	270.0000	40.6000				
																106	270.0000	45.9000
Модель горизонтальних колій								Масштабний план горловини										
*Опорная стрелка				*Междупутья														
*ЦСП	X	Y		*Нижн	Верх	E												
1	20	20		1	2	10												
				2	3	5.3												
				3	4	5.3												
				4	5	5.3												

Таблиця В.3 – Скорочена вулиця з 1-м міжколійям, яке дорівнює 6, 5 м

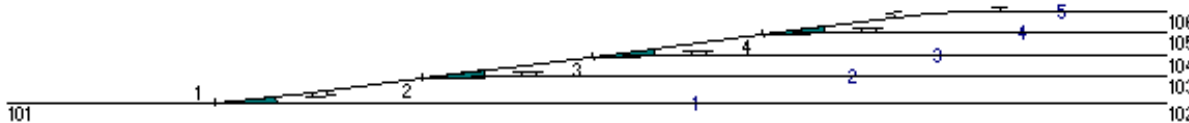
Внутрішня модель горловини								Результати розрахунків							
Канонічна модель															
*Стрелочные переводы								Таблица элементов кривых							
*N	P	B	W	S	T	LP	LB	201	1°	1'	9''	200.00	1.7789	3.5577	
1	102	201	1	0	0			202	1°	1'	9''	200.00	1.7789	3.5577	
2	3	202	0	1	0	9999	0	203	1°	1'	9''	200.00	1.7789	3.5577	
3	4	203	0	1	0	9999		204	1°	1'	9''	200.00	1.7789	3.5577	
4	205	204	0	1	0			205	7°	21'	34''	200.00	12.8624	25.6894	
*Вершины углов поворота								Таблица расстояний между точками							
*N	P	B	W	R	LP	A	A'	A''	Таблица координат						
201	2	0	0	200	0	202			1	102	230.0000	214.3980	1	20.0000	20.0000
202	103	0	2	200					1	201	25.4809	8.1000	2	70.3550	26.0468
203	104	0	3	200					2	3	41.3759	10.3149	3	111.3900	31.3468
204	105	0	4	200					2	202	25.4813	8.1004	4	152.4250	36.6468
205	106	0	5	200					3	4	41.3758	10.3148	201	45.3250	22.8139
								3	203	25.4808	8.1000	202	95.8322	26.5000	
								4	205	44.9142	16.4498	203	136.8668	31.8000	
								4	204	25.4809	8.1001	204	177.9019	37.1000	
*Концы путей								201	2	25.2379	8.0000	205	196.9692	42.4000	
*N	P	B	W	LP				202	103	154.1678	152.3889	101	-30.0000	20.0000	
101	1	0	1	0				203	104	113.1332	111.3543	102	250.0000	20.0000	
102	0	0	1	0				204	105	72.0981	70.3192	103	250.0000	26.5000	
103	0	0	2	0				205	106	53.0308	40.1685	104	250.0000	31.8000	
104	0	0	3	0				101	1	50.0000	34.5410	105	250.0000	37.1000	
105	0	0	4	0								106	250.0000	42.4000	
106	0	0	5	0											
Модель горизонтальних колій								Масштабний план горловини							
*Опорная стрелка															
*ЦСП X Y															
1	20	20													
*Междупутья															
*Нижн Верх E															
			1	2	6.5										
			2	3	5.3										
			3	4	5.3										
			4	5	5.3										

Таблица В.4 – Стрілочна вулиця під подвійним кутом хрестовини

Внутрішня модель горловини								Результати розрахунків							
Канонічна модель															

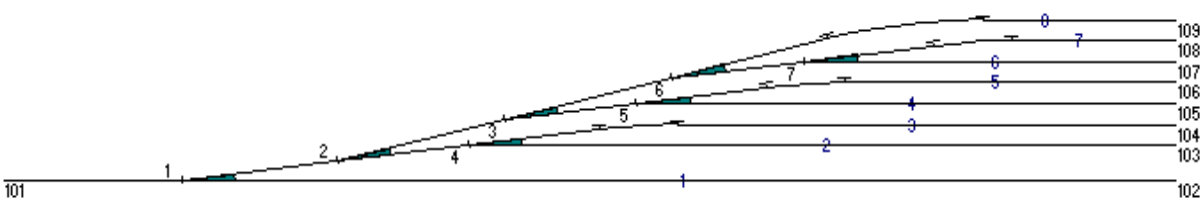
*Стрелочные переводы								Таблица элементов кривых					
*N	P	B	W	S	T	LP	LB	201	6° 20' 25''	200.00	11.0772	22.1317	
1	102	2	1	0	0	0	9999	202	6° 20' 25''	200.00	11.0772	22.1317	
2	4	3	0	0	0	0	9999	203	6° 20' 25''	200.00	11.0772	22.1317	
3	6	5	0	1	0	9999		204	12° 40' 50''	200.00	22.2225	44.2635	
4	201	103	2	1	0			Таблица расстояний между точками					
5	202	105	4	1	0			Таблица координат					
6	204	7	0	1	0			1	50.0000	20.0000			
7	203	107	6	1	0			1 102	280.0000	264.3980			
*Вершины углов поворота								1 2	44.1864	13.1254			
*N	P	B	W	R	LP			2 4	37.3110	6.2500			
201	104	0	3	200				2 3	48.2882	17.2272			
202	106	0	5	200				3 6	48.2883	17.2273			
203	108	0	7	200				3 5	37.3110	6.2500			
204	109	0	8	200				4 201	47.9929	21.3137			
*Концы путей								4 103	199.0011	183.3991			
*N	P	B	W	LP				5 202	47.9929	21.3138			
101	1	0	1					5 105	151.8906	136.2886			
102	0	0	1					6 204	67.0586	29.2340			
103	0	0	2					6 7	37.3110	6.2500			
104	0	0	3					7 203	47.9929	21.3137			
105	0	0	4					7 107	104.7802	89.1782			
106	0	0	5					201 104	151.3017	140.2245			
107	0	0	6					202 106	104.1913	93.1141			
108	0	0	7					203 108	57.0808	46.0036			
109	0	0	8					204 109	76.4400	54.2175			
								101 1	50.0000	34.5410			
Модель горизонтальных колій								Масштабний план горловини					
*Опорная стрелка				*Междупутья									
*ЦСП	X	Y		*Нижн	Верх	E							
1	20	20		1	2	9							
				2	3	5.3							
				3	4	5.3							
				4	5	5.3							
				5	6	5.3							
				6	7	5.3							
				7	8	5.3							
				7	8	5.3							

Таблица В.5 – Концентрична віяльна вулиця з однаковими міжколійями

Внутрішня модель горловини		Результати розрахунків
Канонічна модель		

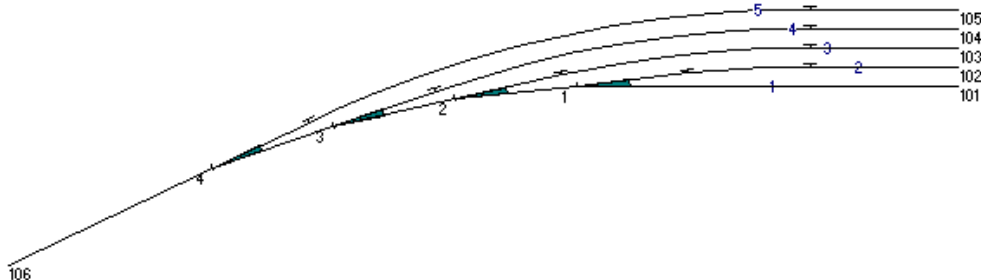
*Стрелочные переводы <table><tr><th>*N</th><th>P</th><th>B</th><th>W</th><th>S</th><th>T</th><th>LP</th><th>LB</th></tr><tr><td>1</td><td>201</td><td>101</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>202</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>4.496742</td></tr><tr><td>3</td><td>203</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>5.105987</td></tr><tr><td>4</td><td>204</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>5.715232</td></tr></table>								*N	P	B	W	S	T	LP	LB	1	201	101	1	1	0			2	202	1	0	1	0	0	4.496742	3	203	2	0	1	0	0	5.105987	4	204	3	0	1	0	0	5.715232	Таблица элементов кривых <table><tr><td>201</td><td>6° 20' 25''</td><td>321.00</td><td>17.7789</td><td>35.5214</td></tr><tr><td>202</td><td>12° 40' 50''</td><td>326.50</td><td>36.2783</td><td>72.2601</td></tr><tr><td>203</td><td>19° 1' 15''</td><td>332.00</td><td>55.6198</td><td>110.2161</td></tr><tr><td>204</td><td>25° 21' 40''</td><td>337.50</td><td>75.9385</td><td>149.3892</td></tr></table> Таблица расстояний между точками <table><tr><td>1</td><td>201</td><td>49.8040</td><td>16.4231</td></tr><tr><td>1</td><td>101</td><td>110.0000</td><td>94.3980</td></tr><tr><td>2</td><td>202</td><td>67.9987</td><td>16.1185</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>35.5577</td><td>4.4967</td></tr><tr><td>3</td><td>203</td><td>87.0356</td><td>15.8138</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>36.1670</td><td>5.1060</td></tr><tr><td>4</td><td>204</td><td>107.0498</td><td>15.5092</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>36.7762</td><td>5.7152</td></tr><tr><td>201</td><td>102</td><td>60.5007</td><td>42.7218</td></tr><tr><td>202</td><td>103</td><td>79.0001</td><td>42.7218</td></tr><tr><td>203</td><td>104</td><td>98.3416</td><td>42.7218</td></tr><tr><td>204</td><td>105</td><td>118.6603</td><td>42.7218</td></tr><tr><td>106</td><td>4</td><td>65.4590</td><td>50.0000</td></tr></table> Таблица координат <table><tr><td>1</td><td>200.0000</td><td>60.0000</td></tr><tr><td>2</td><td>164.6598</td><td>56.0733</td></tr><tr><td>3</td><td>129.3749</td><td>48.1341</td></tr><tr><td>4</td><td>94.6067</td><td>36.1482</td></tr><tr><td>201</td><td>249.4993</td><td>65.5000</td></tr><tr><td>202</td><td>230.9999</td><td>71.0000</td></tr><tr><td>203</td><td>211.6584</td><td>76.5000</td></tr><tr><td>204</td><td>191.3397</td><td>82.0000</td></tr><tr><td>106</td><td>35.4562</td><td>8.1107</td></tr><tr><td>101</td><td>310.0000</td><td>60.0000</td></tr><tr><td>102</td><td>310.0000</td><td>65.5000</td></tr><tr><td>103</td><td>310.0000</td><td>71.0000</td></tr><tr><td>104</td><td>310.0000</td><td>76.5000</td></tr><tr><td>105</td><td>310.0000</td><td>82.0000</td></tr></table>								201	6° 20' 25''	321.00	17.7789	35.5214	202	12° 40' 50''	326.50	36.2783	72.2601	203	19° 1' 15''	332.00	55.6198	110.2161	204	25° 21' 40''	337.50	75.9385	149.3892	1	201	49.8040	16.4231	1	101	110.0000	94.3980	2	202	67.9987	16.1185	2	1	35.5577	4.4967	3	203	87.0356	15.8138	3	2	36.1670	5.1060	4	204	107.0498	15.5092	4	3	36.7762	5.7152	201	102	60.5007	42.7218	202	103	79.0001	42.7218	203	104	98.3416	42.7218	204	105	118.6603	42.7218	106	4	65.4590	50.0000	1	200.0000	60.0000	2	164.6598	56.0733	3	129.3749	48.1341	4	94.6067	36.1482	201	249.4993	65.5000	202	230.9999	71.0000	203	211.6584	76.5000	204	191.3397	82.0000	106	35.4562	8.1107	101	310.0000	60.0000	102	310.0000	65.5000	103	310.0000	71.0000	104	310.0000	76.5000	105	310.0000	82.0000
*N	P	B	W	S	T	LP	LB																																																																																																																																																																		
1	201	101	1	1	0																																																																																																																																																																				
2	202	1	0	1	0	0	4.496742																																																																																																																																																																		
3	203	2	0	1	0	0	5.105987																																																																																																																																																																		
4	204	3	0	1	0	0	5.715232																																																																																																																																																																		
201	6° 20' 25''	321.00	17.7789	35.5214																																																																																																																																																																					
202	12° 40' 50''	326.50	36.2783	72.2601																																																																																																																																																																					
203	19° 1' 15''	332.00	55.6198	110.2161																																																																																																																																																																					
204	25° 21' 40''	337.50	75.9385	149.3892																																																																																																																																																																					
1	201	49.8040	16.4231																																																																																																																																																																						
1	101	110.0000	94.3980																																																																																																																																																																						
2	202	67.9987	16.1185																																																																																																																																																																						
2	1	35.5577	4.4967																																																																																																																																																																						
3	203	87.0356	15.8138																																																																																																																																																																						
3	2	36.1670	5.1060																																																																																																																																																																						
4	204	107.0498	15.5092																																																																																																																																																																						
4	3	36.7762	5.7152																																																																																																																																																																						
201	102	60.5007	42.7218																																																																																																																																																																						
202	103	79.0001	42.7218																																																																																																																																																																						
203	104	98.3416	42.7218																																																																																																																																																																						
204	105	118.6603	42.7218																																																																																																																																																																						
106	4	65.4590	50.0000																																																																																																																																																																						
1	200.0000	60.0000																																																																																																																																																																							
2	164.6598	56.0733																																																																																																																																																																							
3	129.3749	48.1341																																																																																																																																																																							
4	94.6067	36.1482																																																																																																																																																																							
201	249.4993	65.5000																																																																																																																																																																							
202	230.9999	71.0000																																																																																																																																																																							
203	211.6584	76.5000																																																																																																																																																																							
204	191.3397	82.0000																																																																																																																																																																							
106	35.4562	8.1107																																																																																																																																																																							
101	310.0000	60.0000																																																																																																																																																																							
102	310.0000	65.5000																																																																																																																																																																							
103	310.0000	71.0000																																																																																																																																																																							
104	310.0000	76.5000																																																																																																																																																																							
105	310.0000	82.0000																																																																																																																																																																							
*Вершины углов поворота <table><tr><th>*N</th><th>P</th><th>B</th><th>W</th><th>R</th><th>LP</th><th>A</th><th>A'</th><th>A''</th></tr><tr><td>201</td><td>102</td><td>0</td><td>2</td><td>321.0</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>202</td><td>103</td><td>0</td><td>3</td><td>326.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>203</td><td>104</td><td>0</td><td>4</td><td>332.0</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>204</td><td>105</td><td>0</td><td>5</td><td>337.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								*N	P	B	W	R	LP	A	A'	A''	201	102	0	2	321.0					202	103	0	3	326.5					203	104	0	4	332.0					204	105	0	5	337.5																																																																																																																									
*N	P	B	W	R	LP	A	A'	A''																																																																																																																																																																	
201	102	0	2	321.0																																																																																																																																																																					
202	103	0	3	326.5																																																																																																																																																																					
203	104	0	4	332.0																																																																																																																																																																					
204	105	0	5	337.5																																																																																																																																																																					
*Концы путей <table><tr><th>*N</th><th>P</th><th>B</th><th>W</th><th>LP</th></tr><tr><td>106</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr><tr><td>101</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>102</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>103</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>104</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>105</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td></td></tr></table>								*N	P	B	W	LP	106	4	0	0		101	0	0	1		102	0	0	2		103	0	0	3		104	0	0	4		105	0	0	5																																																																																																																																
*N	P	B	W	LP																																																																																																																																																																					
106	4	0	0																																																																																																																																																																						
101	0	0	1																																																																																																																																																																						
102	0	0	2																																																																																																																																																																						
103	0	0	3																																																																																																																																																																						
104	0	0	4																																																																																																																																																																						
105	0	0	5																																																																																																																																																																						
Модель горизонтальных колій								Масштабний план горловини																																																																																																																																																																	
*Опорная стрелка <table><tr><th>*ЦСП</th><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>1</td><td>200</td><td>60</td></tr></table> *Междупутья <table><tr><th>*Нижн</th><th>Верх</th><th>E</th></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>5.5</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>5.5</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>5.5</td></tr><tr><td>4</td><td>5</td><td>5.5</td></tr></table>								*ЦСП	X	Y	1	200	60	*Нижн	Верх	E	1	2	5.5	2	3	5.5	3	4	5.5	4	5	5.5																																																																																																																																													
*ЦСП	X	Y																																																																																																																																																																							
1	200	60																																																																																																																																																																							
*Нижн	Верх	E																																																																																																																																																																							
1	2	5.5																																																																																																																																																																							
2	3	5.5																																																																																																																																																																							
3	4	5.5																																																																																																																																																																							
4	5	5.5																																																																																																																																																																							

Таблица В.6 – Неконцентрична віяльна вулиця з однаковими міжколійями

Внутрішня модель горловини	Результати розрахунків
Канонічна модель	

ДОДАТОК Г

ОЦІНКА ПЛАНІВ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕМЕНТІВ СТАНЦІЙ

Кожний можливий варіант конструкції колійного розвитку залізничної станції або її елементів має набір параметрів

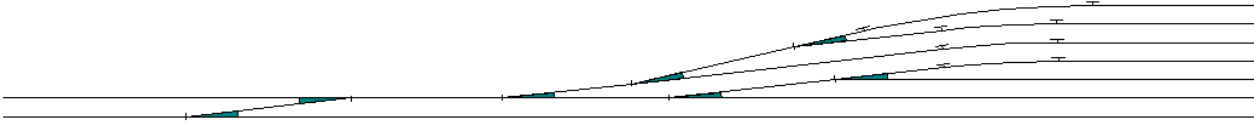
– конструктивних та якісних. Список можливих критеріїв якості при пошуку раціонального варіанту (або декількох варіантів) колійного розвитку залізничної станції наведений в табл. Г.1.

Таблиця Г.1 – Критерії якості проектного рішення

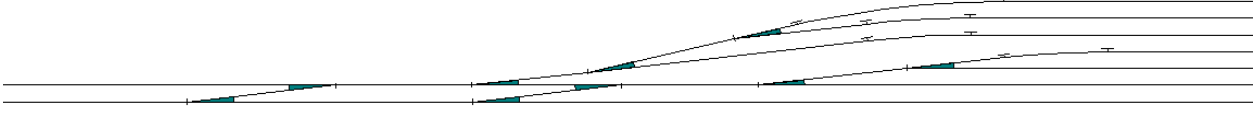
Критерій	Позначення	Характеристика
	Nстр	кількість стрілочних переводів
	Lбуд	будівельна довжина колій
	пп	максимальна кількість одночасних переміщень в горловині станції
	M[нсп]	середня кількість стрілок по маршруту руху
	M[α]	середнє значення суми кутів повороту від стрілок та кривих по маршруту руху
	M[lпр]	середнє значення довжини маршруту руху

Намічені варіанти колійного розвитку стрілочної горловини з 7 колій наведені на рис. Г.1. Приведені варіанти відрізняються сукупністю критеріїв, числові значення яких наведені в табл. Г.2.

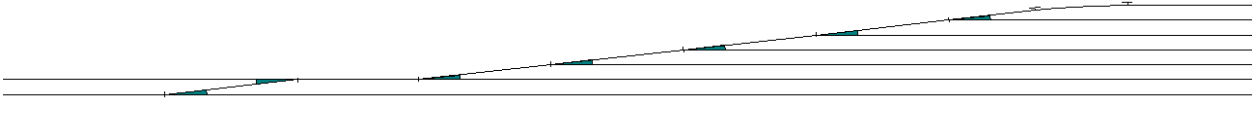
варіант 1



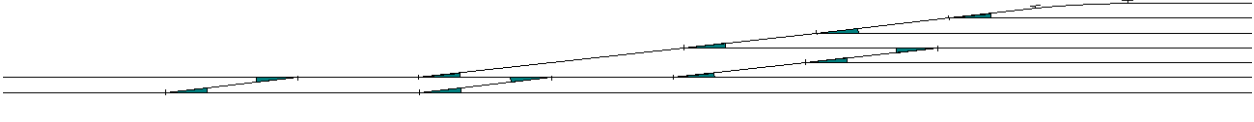
варіант 2



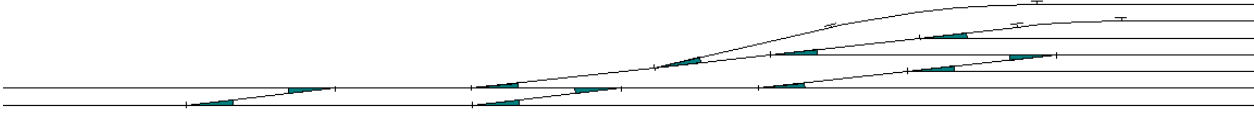
варіант 3



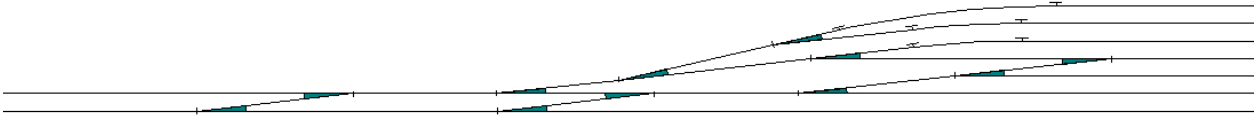
варіант 4



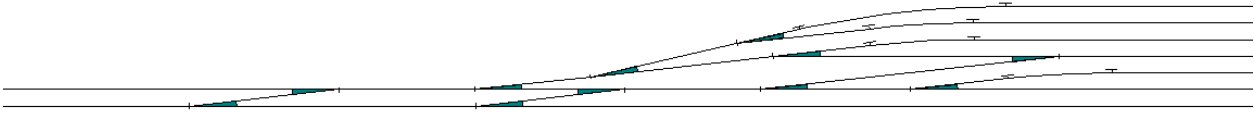
варіант 5



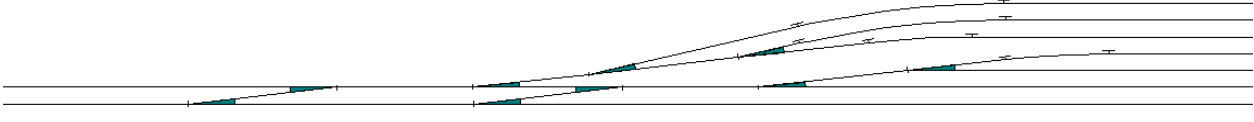
варіант 6



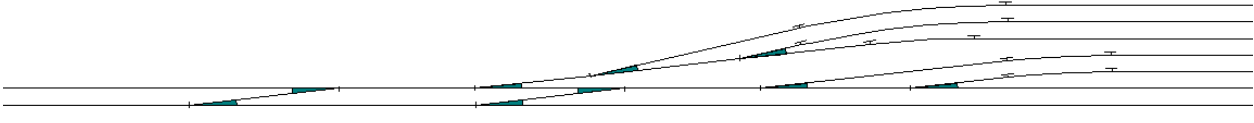
варіант 7



варіант 8



варіант 9



варіант 10

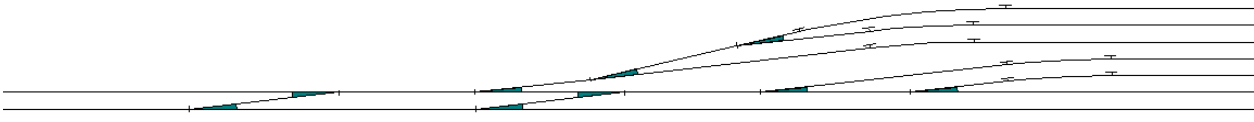


Рисунок Г.1 – Варіанти конструкції колійного розвитку стрілочної горловини
Таблиця Г.2 – Значення критеріїв якості по варіантам

Варіант	Значення критеріїв					
	шт. ,	км ,		шт. ,	град. ,	м ,
1	7	1,263	1	3,89	23,78	244
2	9	1,379	2	4,55	23,78	279,94
3	7	1,649	1	4,91	24,09	280,29
4	11	1,513	2	5,13	24,09	312,5
5	11	1,297	2	5,13	27,26	296,93
6	11	1,238	2	5	27,47	283,41
7	11	1,373	2	4,69	24,84	279,64
8	9	1,378	2	4,5	27,48	278,43
9	9	1,375	2	4,5	25,01	289,7
10	9	1,375	2	4,64	24,84	288,12

При визначенні раціонального варіанту (або декількох варіантів) формується множина матриць парних порівнянь по кожному з критеріїв . При цьому у відповідну позицію матриці () вписується відношення

(де – відповідно числові значення -го і -го критеріїв), якщо значення -го критерію потрібно мінімізувати у отриманій сукупності раціональних рішень (наприклад, кількість стрілочних переводів); у

обернену позицію матриці вноситься значення . У випадку коли значення -го критерію необхідно максимізувати (наприклад, максимальна кількість одночасних переміщень в горловині станції) – значення і в матриці парних порівнянь потрібно обміняти. Результати розрахунків матриць парних порівнянь для всіх критеріїв наведені у табл. Г.3-Г.8.

Таблиця Г.3 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	1,29	1,00	1,57	1,57	1,57	1,57	1,29	1,29	1,29	1,325	0, 1306
2	0,78	1,00	0,78	1,22	1,22	1,22	1,22	1,00	1,00	1,00	1,03	0, 1016
3	1,00	1,29	1,00	1,57	1,57	1,57	1,57	1,29	1,29	1,29	1,325	0, 1306
4	0,64	0,82	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,82	0,82	0,843	0, 0831
5	0,64	0,82	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,82	0,82	0,843	0, 0831
6	0,64	0,82	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,82	0,82	0,843	0, 0831
7	0,64	0,82	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,82	0,82	0,843	0, 0831
8	0,78	1,00	0,78	1,22	1,22	1,22	1,22	1,00	1,00	1,00	1,03	0, 1016
9	0,78	1,00	0,78	1,22	1,22	1,22	1,22	1,00	1,00	1,00	1,03	0, 1016
10	0,78	1,00	0,78	1,22	1,22	1,22	1,22	1,00	1,00	1,00	1,03	0, 1016
Разом											10, 142	1, 0000

Таблиця Г.4 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	1,09	1,31	1,20	1,03	0,98	1,09	1,09	1,09	1,09	1,092	0, 1089
2	0,92	1,00	1,20	1,10	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1	0, 0997
3	0,77	0,84	1,00	0,92	0,79	0,75	0,83	0,84	0,83	0,83	0,837	0, 0834
4	0,83	0,91	1,09	1,00	0,86	0,82	0,91	0,91	0,91	0,91	0,912	0, 0909
5	0,97	1,06	1,27	1,17	1,00	0,95	1,06	1,06	1,06	1,06	1,064	0, 1061

6	1,02	1,11	1,33	1,22	1,05	1,00	1,11	1,11	1,11	1,11	1,114	0, 1111
7	0,92	1,00	1,20	1,10	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,005	0, 1002
8	0,92	1,00	1,20	1,10	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,001	0, 0998
9	0,92	1,00	1,20	1,10	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,003	0,1
1 0	0,92	1,00	1,20	1,10	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,003	0,1
Разом											10, 031	1, 0000

Таблиця Г.5 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,574	0, 0555
2	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
3	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,574	0, 0555
4	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
5	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
6	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
7	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
8	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
9	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
10	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,149	0, 1111
Разом											10, 340	1, 0000

Таблиця Г.6 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	1,17	1,26	1,32	1,32	1,29	1,21	1,16	1,16	1,19	1,203	0, 1199
2	0,85	1,00	1,08	1,13	1,13	1,10	1,03	0,99	0,99	1,02	1,029	0, 1026
3	0,79	0,93	1,00	1,04	1,04	1,02	0,96	0,92	0,92	0,95	0,953	0,095
4	0,76	0,89	0,96	1,00	1,00	0,97	0,91	0,88	0,88	0,90	0,912	0, 0909
5	0,76	0,89	0,96	1,00	1,00	0,97	0,91	0,88	0,88	0,90	0,912	0, 0909
6	0,78	0,91	0,98	1,03	1,03	1,00	0,94	0,90	0,90	0,93	0,936	

												0, 0933
7	0,83	0,97	1,05	1,09	1,09	1,07	1,00	0,96	0,96	0,99	0,998	0, 0995
8	0,86	1,01	1,09	1,14	1,14	1,11	1,04	1,00	1,00	1,03	1,04	0, 1037
9	0,86	1,01	1,09	1,14	1,14	1,11	1,04	1,00	1,00	1,03	1,04	0, 1037
1 0	0,84	0,98	1,06	1,11	1,11	1,08	1,01	0,97	0,97	1,00	1,009	0, 1006
Разом											10, 032	1, 0000

Таблиця Г.7 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	1,00	1,01	1,01	1,15	1,16	1,04	1,16	1,05	1,04	1,061	0, 1059
2	1,00	1,00	1,01	1,01	1,15	1,16	1,04	1,16	1,05	1,04	1,061	0, 1059
3	0,99	0,99	1,00	1,00	1,13	1,14	1,03	1,14	1,04	1,03	1,047	0, 1045
4	0,99	0,99	1,00	1,00	1,13	1,14	1,03	1,14	1,04	1,03	1,047	0, 1045
5	0,87	0,87	0,88	0,88	1,00	1,01	0,91	1,01	0,92	0,91	0,925	0, 0924
6	0,87	0,87	0,88	0,88	0,99	1,00	0,90	1,00	0,91	0,90	0,918	0, 0917
7	0,96	0,96	0,97	0,97	1,10	1,11	1,00	1,11	1,01	1,00	1,015	0, 1013
8	0,87	0,87	0,88	0,88	0,99	1,00	0,90	1,00	0,91	0,90	0,918	0, 0917
9	0,95	0,95	0,96	0,96	1,09	1,10	0,99	1,10	1,00	0,99	1,009	0, 1007
10	0,96	0,96	0,97	0,97	1,10	1,11	1,00	1,11	1,01	1,00	1,015	0, 1013
Разом											10, 016	1, 0000

Таблиця Г.8 – Матриця парних порівнянь для критерію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	векто р пріор итетів	
1	1,00	1,15	1,15	1,28	1,22	1,16	1,15	1,14	1,19	1,18	1,159	0, 1157
2	0,87	1,00	1,00	1,12	1,06	1,01	1,00	0,99	1,03	1,03	1,01	0, 1008
3	0,87	1,00	1,00	1,11	1,06	1,01	1,00	0,99	1,03	1,03	1,009	0, 1007
4	0,78	0,90	0,90	1,00	0,95	0,91	0,89	0,89	0,93	0,92	0,905	0, 0903
5	0,82	0,94	0,94	1,05	1,00	0,95	0,94	0,94	0,98	0,97	0,952	0,095
6	0,86	0,99	0,99	1,10	1,05	1,00	0,99	0,98	1,02	1,02	0,998	

												0, 0996
7	0,87	1,00	1,00	1,12	1,06	1,01	1,00	1,00	1,04	1,03	1,011	0, 1009
8	0,88	1,01	1,01	1,12	1,07	1,02	1,00	1,00	1,04	1,03	1,016	0, 1014
9	0,84	0,97	0,97	1,08	1,02	0,98	0,97	0,96	1,00	0,99	0,976	0, 0974
1 0	0,85	0,97	0,97	1,08	1,03	0,98	0,97	0,97	1,01	1,00	0,982	0,098
Разом											10, 018	1, 0000

Для перевірки суперечливості результатів розраховані власні значення матриць парних порівнянь та індекси погодженості. Результати розрахунків наведені в табл. Г.9.

Таблиця Г.9 – Результати перевірки суперечливості матриць парних порівнянь

Критерій					Висновок
	10,540	0,0600	1,49	0,040	не суперечать
	10,134	0,0148	1,49	0,010	не суперечать
	11,207	0,1341	1,49	0,090	не суперечать
	10,120	0,0133	1,49	0,009	не суперечать
	10,063	0,0070	1,49	0,005	не суперечать
	10,068	0,0075	1,49	0,005	не суперечать

За результатами розрахунків матриці парних порівнянь визначений комплексний ваговий вектор коефіцієнтів (табл. Г.10).

Таблиця Г.10 – Результати розрахунку комплексного вагового вектору

Вар							вектор пріори тетів	
1	0,131	0,109	0,056	0,120	0,106	0,116	0,255	0,1021
2	0,102	0,100	0,111	0,103	0,106	0,101	0,256	0,1025
3	0,131	0,083	0,056	0,095	0,105	0,101	0,239	0,0957
4	0,083	0,091	0,111	0,091	0,105	0,090	0,243	0,0973
5	0,083	0,106	0,111	0,091	0,092	0,095	0,245	0,0981
6	0,083	0,111	0,111	0,093	0,092	0,100	0,248	0,0993
7	0,083	0,100	0,111	0,100	0,101	0,101	0,25	0,1001
8	0,102	0,100	0,111	0,104	0,092	0,101	0,253	0,1013
9	0,102	0,100	0,111	0,104	0,101	0,097	0,255	0,1021
10	0,102	0,100	0,111	0,101	0,101	0,098	0,254	0,1017
Разом							2,498	1,000

Таким чином, в результаті порівняння варіантів колійного розвитку стрілочної горловини можна зробити наступний висновок:

- 1) найкращим є варіант 2 ();
- 2) найгіршим є варіант 3();
- 3) конкурентними по відношенню до найкращого є варіанти 1 і 9 (відповідно і).

ДОДАТОК Д ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ СТАНЦІЇ

Д.1. Синтез колійного розвитку приймально-відправного парку
вантажної станції

								102	0	0	2	0
*Стрелочные переводы								103	17	0	0	0
*N	P	B	W	S	T	LP	LB	104	0	0	7	0
1	2	4	2	1	2	0	0	105	0	0	1	0
2	6	0	1	0	2	9999	0	106	+8	0	0	0
3	2	4	1	1	2	0	0	107	3	0	1	0
4	5	0	2	1	2	0	0	108	1	0	0	0
5	9	201	2	1	2	901	0					
6	11	7	1	0	2	850	0					
7	202	204	4	1	2	0	0	*Опорная стрелка				
8	9	0	3	1	2	0	0	*ЦСП X Y				
9	14	0	2	0	2	0	0	1 20 20				
10	11	0	0	1	2	0	0	*Междупутья				
11	12	0	1	1	2	0	0	*Нижн Верх E				
12	15	13	1	1	2	0	0	3 2 5.35				
13	16	0	2	1	2	0	0	2 1 5.48				
14	13	15	2	0	2	0	0	1 4 9.94				
15	18	0	1	0	2	0	0	4 5 5.53				
16	19	205	2	1	2	74.55	0	1 7 6.5				
17	20	0	10	0	2	0	0	10 2 6.5				
18	105	206	1	0	2	0	0					
19	102	20	2	1	2	0	0					
20	101	0	10	1	2	0	0					

*Вершины углов поворота

*N	P	B	W	R	LP
201	8	0	3	200	0
202	203	0	5	200	0
203	10	0	5	200	0
204	10	0	4	200	0
205	17	0	10	200	0
206	104	0	7	200	0

*Концы путей

*N	P	B	W	LP
101	0	0	10	0

Рисунок Д.1 – Текстовий файл з даними для синтезу колійного розвитку
приймально-відправного парку станції

Д.2. Формування МКР ергатичної моделі приймально-відправного парку вантажної станції

	N	st	e1	e2	e3	e4		
1	1	0	1002	1003	1001	0		
1	2	0	1012	1011	1010	0		
1	3	0	1008	0	1007	1009		
1	4	0	1005	1006	1004	0		
1	5	0	1015	0	1014	1013		
1	6	0	1017	1016	1008	0		
1	7	0	1019	1020	1018	0		
1	8	0	1026	1025	1024	0		
...	...	...	...	...	...	...		
* Светофоры								
3	201	0						
3	202	0						
3	203	0						
3	204	1						
3	205	1						
3	206	1						
...	...	...						
* Секции путей								
	N	S	E	L	Name	ON	OFF	
W								
2	1001	402	1	15.0	-	0	0	0.0
2	1002	1	405	15.0	-	0	0	0.0
2	1003	1	223	15.0	-	0	0	0.0
2	1004	203	4	15.0	-	0	3	0.0
2	1005	4	409	24.0	-	0	0	0.0
2	1006	4	463	24.0	-	0	0	0.0
2	1007	409	3	24.0	-	0	0	0.0
2	1008	3	6	1.0	-	0	0	0.0

Рисунок Д.2 – Фрагмент текстового файлу з даними для формування моделі колійного розвитку

Д.3. Формування МУПРС ергатичної моделі приймально-відправного парку вантажної станції

*code	ID	P->	B->	<-P	<-B	SectID	State
1	1	1002	1003	1001	0	2	0
1	2	1012	1011	1010	0	4	0
1	3	1008	0	1007	1009	6	0
...	...	...	...	...	...	...	...

*Сигналы (code=2) от 201 до 399

*Sect - секция, занятие которой инициирует перекрытие сигнала

*code	ID	P->	isOff
2	201	2001	1
2	202	2009	9
2	203	1004	6
...	...	...	...

*Секции (code=3):

* стрелочные (от 1001 до 1999)

*code	ID	P->
3	1001	1
3	1002	2003
3	1003	223
3	1004	4
3	1005	1007
3	1006	1013
...	...	...

*путевые (от 2001 до 2999)

*code	ID	P->	SectID
3	2001	1001	1
3	2002	203	5
3	2003	1010	3
3	2004	204	6
...	...	...	...

*Маршруты и занятые секции

*Type: 0 – маневровый 1 - поездной

*code	RouteID	Begin	End	Type	Sections
4	1	201	204	1	2001, 1001, 1002, 2003, 1010, 1011, 1009, 1008, 1016, 2004, 2012

*Положение стрелок в маршруте (+ прямо, - набок)

*code	RouteID	SwitchID/Dest		
5	1	1/+, 2/-, 3/-, 6/-		
4	2	201	205	1
5	2	1/+, 2/-, 3/-, 6/+		
4	3	201	206	1

2001, 1001, 1002, 2003, 1010, 1011, 1009, 1008, 1017, 2005, 2013

2001, 1001, 1002, 2003, 1010, 1012, 1014, 1015, 1018, 1019, 2006, 2014

5 3 1/+, 2/+, 5/+, 7/+

Рисунок Д.3 – Фрагмент текстового файлу з даними для формування моделі керування переміщенням рухомого складу

ДОДАТОК Е

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Е.1. Ідентифікація ергатичної моделі станції

Основними технологічними операціями, які виконуються в приймально-відправному парку вантажної станції є закріплення, технічний огляд та прибирання гальмівних башмаків. Разом з цим в парку «Зерновий» виконується розформування составів. Для адекватного імітаційного моделювання вказаних операцій необхідно визначити їх числові характеристики.

Статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини тривалості закріплення составів поїздів, що прибувають на станцію наведені в табл. Е.1.

Таблиця Е.1 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини

Розряд , хв.				Параметри
0,0 – 0,5	4	0,089	6,24	2
0,5 – 1,0	35	0,435	30,45	
1,0 – 1,5	26	0,405	28,33	
1,5 – 2,0	5	0,071	4,98	

За характером розподілу випадкової величини висунута гіпотеза про її розподіл за нормальним законом. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $1,67 < 3,80$.

Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини наведено на рис. Е.1.

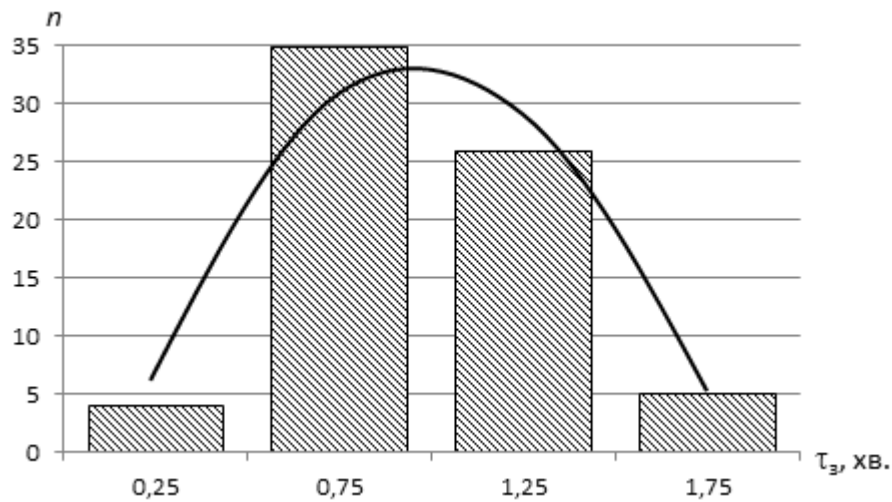


Рисунок Е.1 – Гістограма і графік нормального розподілу
для випадкової величини

Статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини тривалості огляду вагона в складі поїздів, що прибувають на станцію наведені в табл. Е.2.

Таблиця Е.2 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини

Розряд , хв.				Параметри
0,0 – 0,5	11	0,160	11,23	3 хв. 2,0 хв. 0,907 хв. 2
0,5 – 1,0	31	0,429	30,04	
1,0 – 1,5	23	0,336	23,54	
1,5 – 2,0	5	0,074	5,19	

За характером розподілу випадкової величини висунута гіпотеза про її розподіл за нормальним законом. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $0,05 < 3,80$. Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини наведено на рис. Е.2.

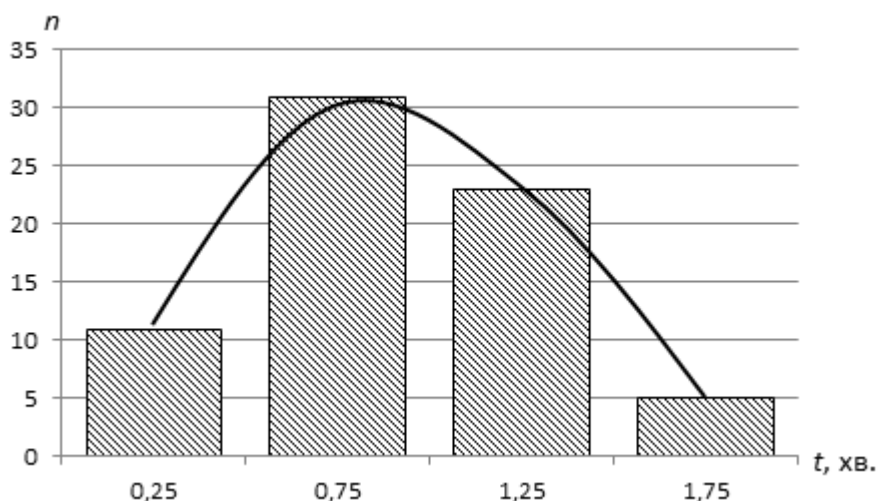


Рисунок Е.2 – Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини

Статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини тривалості гальмівних башмаків наведені в табл. Е.3.

Таблиця Е.3 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини

Розряд , хв.				Параметри
0,0 – 0,3	2	0,043	3,01	2 хв.
0,3 – 0,6	16	0,194	13,59	1,3 хв.
0,6 – 0,9	24	0,375	26,28	0,814 хв.
0,9 – 1,2	21	0,288	20,19	090 хв.2
1,2 – 1,5	7	0,099	6,93	300 хв.
				1,00

За характером розподілу випадкової величини висунута гіпотеза про її розподіл за нормальним законом. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $1,00 < 3,80$.

Гістограма і графік нормального розподілу для випадкової величини наведено на рис. Е.3.

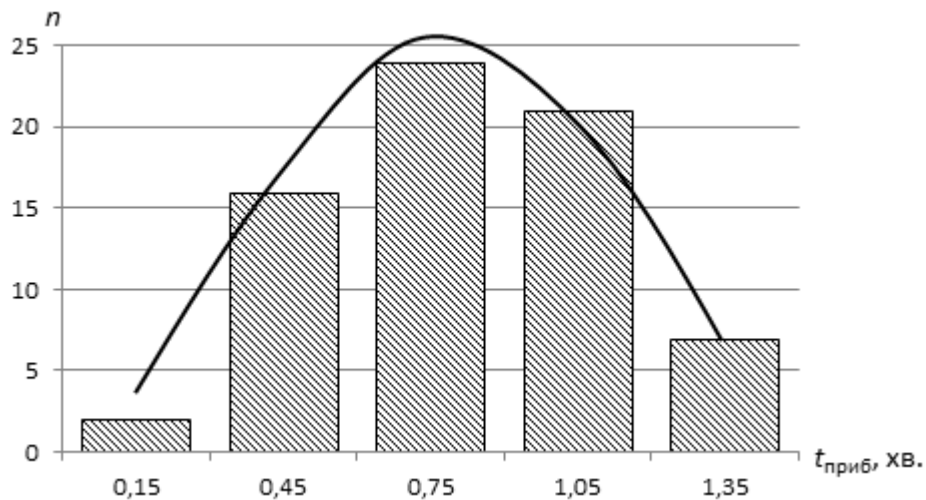


Рисунок Е.3 – Гістограма і графік нормального розподілу
для випадкової величини

Тривалість розформування составів в парку «Зерновий» залежить не тільки від кількості вагонів в маневровому составі , але і від кількості відчепів в ньому. Для встановлення зв'язку між даними величинами виконані натурні спостереження на станції за процесом розформування составів, результати яких наведені в табл. Е.4.

Таблиця Е.4 – Результати натурних спостережень за процесом розформування составів в парку «Зерновий»

№				№				№			
1	25	29	17	13	19	26	14	25	20	28	15
2	11	25	13	14	28	28	16	26	25	25	13
3	25	25	13	15	28	28	16	27	21	27	14
4	18	22	11	16	7	22	11	28	20	25	13
5	18	23	11	17	20	29	16	29	10	23	11
6	6	30	19	18	21	29	16	30	22	21	10
7	28	21	11	19	22	22	11	31	6	24	13
8	21	26	14	20	24	24	12	32	7	26	14
9	6	26	15	21	10	26	14	33	14	26	13
10	6	25	14	22	21	30	17	34	17	28	15
11	23	23	12	23	25	30	17	35	15	29	16
12	20	21	10	24	5	22	13	-	-	-	-

Між отриманими результатами спостережень (див. табл. Е.4) на основі методів двофакторного регресійного аналізу встановлена залежність у вигляді , тобто

При визначенні залежності використано розроблений на кафедрі «Станції та вузли» ДНУЗТу програмний модуль REGR2FAK.EXE.

Е.2. Оцінка адекватності моделі

В табл. Е.5 наведений статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини тривалості знаходження вагонів на станції Х, отриманої у результаті натурних спостережень.

Таблиця Е.5 – Розрахунок параметрів випадкової величини тривалості знаходження вагонів на вантажній станції (результати спостережень)

Розряд , год.				Параметри
17 – 22	50	0,49	52,06	2
22 – 27	18	0,23	24,96	
27 – 32	12	0,16	11,96	
32 – 37	11	0,08	5,73	
37 – 42	5	0,02	2,75	
42 – 47	2	0,02	1,32	
47 – 52	1	0,01	0,63	

За характером розподілу випадкової величини Х висунута гіпотеза про її розподіл за законом Ерланга. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $3,00 < 9,50$.

Гістограма і графік розподілу Ерланга для випадкової величини Х наведено на рис. Е.4.

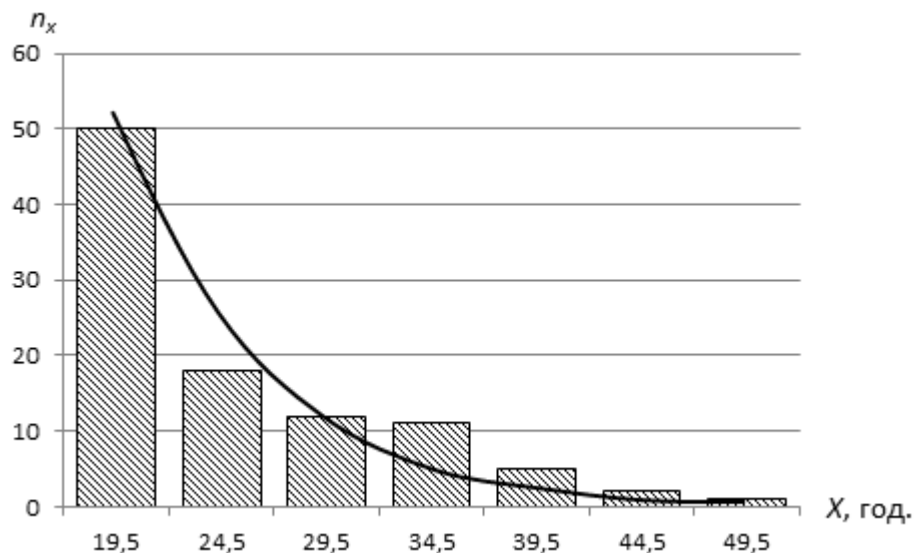


Рисунок Е.4 – Гістограма і графік розподілу Ерланга
для випадкової величини X

В табл. Е.6 наведений статистичний ряд і параметри розподілу випадкової величини тривалості знаходження вагонів на станції Y , отриманої у результаті імітаційного моделювання.

Таблиця Е.6 – Розрахунок параметрів випадкової величини тривалості
знаходження вагонів на вантажній станції (результати моделювання)

Розряд , год.				Параметри
19 – 23	40	0,49	50,55	2
23 – 27	30	0,23	25,00	
27 – 31	19	0,16	12,36	
31 – 35	8	0,08	6,11	
35 – 39	1	0,02	3,02	
39 – 43	1	0,02	1,49	
43 – 47	1	0,01	0,74	

За характером розподілу випадкової величини Y висунута гіпотеза про її розподіл за законом Ерланга. Критичне значення критерію Пірсона

. Таким чином, гіпотеза може бути прийнята так як $5,82 < 9,50$. Гістограма і графік розподілу Ерланга для випадкової величини Y наведено на рис. Е.5.

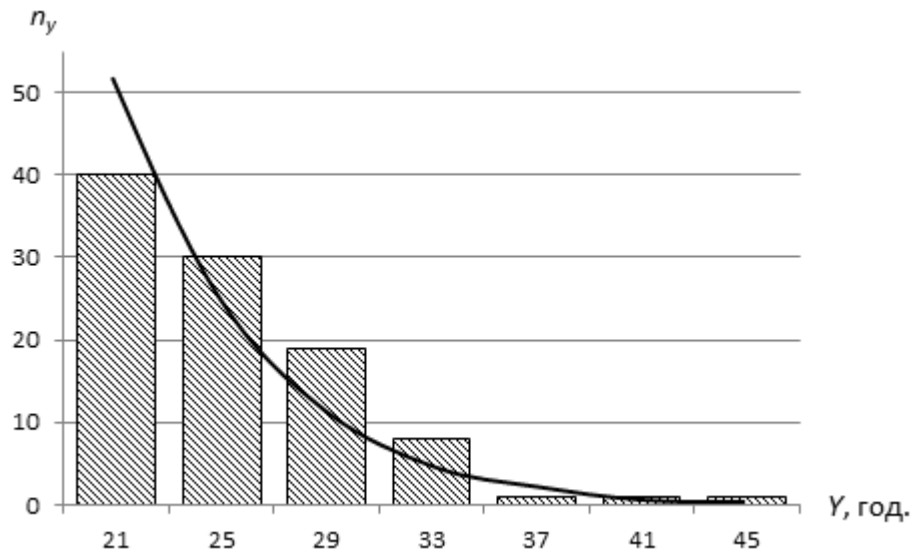


Рисунок Е.5 – Гістограма і графік розподілу Ерланга для випадкової величини Y