

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра залізничних станцій та вузлів

ЦИФРОВІ МОДЕЛІ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Конспект лекцій

Харків – 2022

Цифрові моделі залізничних станцій: Конспект лекцій / О. М. Огар, М. Ю. Куценко, Г. І. Шелехань, А. В. Колісник. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 91 с.

Конспект лекцій підготовлено з метою методичного забезпечення здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня з навчального курсу дисципліни «Формування цифрових моделей залізничного транспорту» відповідно до її робочої програми. Він є складовою навчально-методичного комплексу дисципліни.

Конспект лекцій містить теоретичний матеріал, у якому розкриваються поняття і сутність, мета і функції, а також принципи цифрового проєктування і перебудови об'єктів залізничної інфраструктури різних рівнів складності, аналіз напрямів проєктування цифрових моделей як основи подальшого створення автоматизованих систем проєктування залізничних станцій і їхніх елементів.

Конспект лекцій містить практичну частину, покликану допомогти в організації самостійної роботи здобувачів вищої освіти в засвоєнні змісту теми, її складають перелік питань для самоперевірки, список літератури.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освітніх програм «Транспортний сервіс та логістика», «Організація перевезень і управління на транспорті», «Організація правової та експедиторської діяльності», «Митний контроль на транспорті (залізничний транспорт)», «Організація міжнародних перевезень» спеціальності 275.02 – «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» усіх форм здобуття освіти.

Іл. 20, табл. 8, бібліогр.: 20 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри залізничних станцій та вузлів 14 червня 2022 р., протокол № 14.

Рецензент

доц. А. О. Ковальов

ЗМІСТ

Тематичний план	5
Вступ	6
1 Аналіз проблем цифрового моделювання і проєктування транспортних комунікацій	7
1.1 Дослідження в напрямі автоматизації проєктування станцій і вузлів	7
1.2 Можливості типових пакетів систем автоматизованого проєктування для застосування їх при проєктуванні станцій	10
2 Формалізоване подання нормативно-довідкової інформації при автоматизації проєктування станцій	14
2.1 Аналіз інструктивної документації з проєктування схем роздільних пунктів	14
2.2 Формування множини проєктних вимог за ознакою домінуючого фактора	15
2.3 Класифікація нормативних вимог щодо складу елементів	16
2.4 Класифікація мовних конструкцій нормативних вимог проєктування	17
3 Проєктно-вишукувальні роботи як основа створення цифрових моделей залізничних станцій	20
3.1 Технологія проведення вишукувальних робіт	20
3.2 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій	25
4 Застосування базового середовища формування цифрових моделей залізничних станцій при їх проєктуванні та перебудові	29
4.1 Комп'ютерне проєктування стрілочних вулиць і горловин	30
4.2 Аналіз проєктування стрілочних вулиць. Класифікація стрілочних горловин за рівнем складності	36
4.3 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій	39
5 Колійний розвиток станцій як об'єкт цифрового моделювання	44
5.1 Формування алфавіту модульних конструктивів і їх ідентифікація	45

5.2 Карта маршрутів цифрового проєктування колійного розвитку залізничної станції	50
6 Шаблони, модульні конструктиви і варіативні об'єкти проєктування колійного розвитку станцій	53
6.1 Формування множини шаблонів і модульних конструктивів, що генерують схеми станцій	53
6.2 Формування варіативних об'єктів проєктування колійного розвитку	56
6.3 Особливості розроблення систем автоматизованого проєктування залізничних станцій	59
7 Формування техніко-технологічних макрооб'єктів проєктування	60
7.1 Структура макрооб'єкта проєктування	60
7.2 Принципи функціонування техніко-технологічних об'єктів при проєктуванні схем роздільних пунктів	62
8 Ідентифікація типу роздільного пункту з використанням навчальних систем	67
8.1 Розроблення критерію відповідності потужності технічного оснащення станції абстрактному об'єкту	67
8.2 Принципові схеми реалізації навчальних структур	71
9 Розроблення техніко-технологічного забезпечення поїздопотоків у системах автоматизованого проєктування залізничних станцій	72
9.1 Принципова модель взаємодії структури колійного розвитку і технологічних операцій	73
9.2 Формування матриці сполучення технологічних операцій і елементів колійного розвитку	74
9.3 Вибір структури сформулюючих технологічних операцій	77
10 Основи формалізованого подання об'єктів систем автоматизованого проєктування залізничних станцій	80
10.1 Загальна схема формування площини з контрольними точками	80
10.2 Характеристика контрольних точок площини	81
10.3 Базові операції у просторі точок площини	82
10.4 Алгоритм формування структур колійного розвитку і технологічного змісту в просторі об'єктів	84
Питання для самоконтролю	89
Список літератури	90

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№	Тема	Години
1	Аналіз проблем цифрового моделювання і проєктування транспортних комунікацій	2
2	Формалізоване подання нормативно-довідкової інформації при автоматизації проєктування станцій	2
3	Проєктно-вишукувальні роботи як основа створення цифрових моделей залізничних станцій	2
4	Застосування базового середовища формування цифрових моделей залізничних станцій при їх проєктуванні та перебудові	2
5	Колійний розвиток станцій як об'єкт цифрового моделювання	2
6	Шаблони, модульні конструктиви і варіативні об'єкти проєктування колійного розвитку станцій	2
7	Формування техніко-технологічних макрооб'єктів проєктування	2
8	Ідентифікація типу роздільного пункту з використанням навчальних систем	2
9	Розроблення техніко-технологічного забезпечення поїздопотоків у системах автоматизованого проєктування залізничних станцій	2
10	Основи формалізованого подання об'єктів систем автоматизованого проєктування залізничних станцій	2

ВСТУП

Комп'ютерне моделювання є невід'ємною фазою технологічного процесу виготовлення об'єктів промисловості і транспорту. Цифрове моделювання залізничних станцій сьогодні подається як перспективна система, що дозволить підвищити ефективність праці проєктувальника, забезпечить користувача надійним діагностичним інструментом, допоможе перевести галузь знання на новий рівень розвитку.

Разом з активним просуванням інформаційних технологій в інших галузях промисловості спостерігається суттєве відставання залізничного транспорту у плані цифровізації та автоматизації проєктування схем роздільних пунктів залізниці.

Для опису конструкції колійного розвитку станцій використовуються цифрові моделі, засновані на зважених орієнтованих графах, символічному поданні елементів колійного розвитку, алгоритмах формування структур колійного розвитку тощо.

У конспекті подано системи цифрових моделей, що використовуються на окремих етапах моделювання, а також методи їх перетворення. Розроблені такими способами цифрові моделі можуть бути покладені в основу при створенні програмного забезпечення для практичної реалізації автоматизованого проєктування залізничних станцій.

1 Аналіз проблем цифрового моделювання і проєктування транспортних комунікацій

План

1.1 Дослідження в напрямі автоматизації проєктування станцій і вузлів.

1.2 Можливості типових пакетів систем автоматизованого проєктування для застосування їх при проєктуванні станцій.

1.1 Дослідження в напрямі автоматизації проєктування станцій і вузлів

Першими спробами автоматизованого проєктування у промисловості було застосування в 1950-1960-х роках програмних продуктів для відтворення зображень технічних об'єктів і планів офісних інтер'єрів у США, що були громіздкими, дорогими та малоефективними. Із розвитком периферійного комп'ютерного обладнання розширився і спектр застосування автоматизованих систем проєктування [1].

У 1962-1963 роках в колишньому СРСР проводився цілий ряд науково-технічних нарад, присвячених теоретичним і практичним аспектам застосування електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) при проєктуванні станцій і вузлів. Колективами провідних галузевих проєктних організацій розроблені різні програмні рішення, що показали принципову можливість ефективного застосування ЕОМ для розрахунків обсягів земляних робіт за поперечними профілями полотна, визначення елементів поздовжнього профілю головної колії в межах станції в ув'язці з підходами. У 1963 році радянський Науково-дослідний інститут транспортного будівництва намітив розроблення програм для розрахунку координат колійного розвитку станції.

У 1975 році інститут видав посібник з розрахунку станцій методом моделювання на ЕОМ. Основою опису схеми станції є розподіл її на елементи.

Значний обсяг роботи був перенесений з етапу безпосереднього розроблення схеми на підготовчий етап. Застосування програми ставало можливим тільки при коректному

заповненні цілого ряду бланків, розрахункових формул, таблиць, проведенні кодування елементів колійного розвитку станції.

У 1980-ті роки було продовжено етап накопичення кількісного матеріалу. У цей період алгоритмізовані знання набувають форми закінчених структур, які свідчать про те, що склалися досить чіткі і певні уявлення про проблему комп'ютерного моделювання схем станцій. Більшість з них стали використовуватися як методики автоматизованого розрахунку і проєктування.

На цьому етапі спостерігається відхід від методу кодованого подання параметрів і символічної адресації, і більшість робіт розвивають підхід координатного введення елементів станцій. При цьому проєктувальник виконує всі розрахунки, пов'язані з визначенням положення центрів стрілочних переводів, граничних стовпчиків, сигналів, вершин кутів повороту. Отримані результати використовуються як вихідні дані для накреслення колійного розвитку роздільних пунктів. Реалізація цього методу автоматизації проєктування станцій, як показує досвід, є малоефективною через значні витрати часу на підготовку масиву координат.

Третій етап умовно можна визначити як період з 1990-х років і до цього часу. Значних зрушень у напрямі автоматизації проєктування залізничних станцій за останні десять років не спостерігається. Аналіз отриманих результатів показує, що дослідники зіткнулися з досить нетрадиційною проблемою, яка охоплює численні аспекти проєктування, що складно формалізуються. Якість проєктного рішення при традиційних підходах визначається перш за все рівнем кваліфікації проєктувальника. Навички і досвід професіонала вирішують проблему ув'язки структури схеми станції з численними внутрішніми і зовнішніми факторами, а описових процедур досвіду проєктувальника поки не існує.

У цей період починає формуватися єдиний алгоритмічний підхід до інтерпретації вимог проєктування та правил реалізації станційних структур у проєктуванні. Отримують розвиток так звані SCADA-системи, які сприяють впровадженню автоматизованих форм наскрізного розроблення проєктів, що охоплюють усі його етапи та дозволяють отримувати інтегровані

рішення. У 2000 році за допомогою SCADA-системи на основі топографічної зйомки була створена деталізована мнемосхема станції «Кар'єрна» Михайлівського гірничо-збагачувального комбінату і деяких інших промислових підприємств. Електронні схеми станцій дозволяли відстежувати стан складу і окремих локомотивів на екрані дисплея в точці з координатами, визначеними мобільними GPS-приймачами через глобальну супутникову навігаційну систему.

Найважливішим фактором, що перешкоджає швидкому створенню ефективної системи автоматизованого проєктування

Евристичний – такий, що допомагає знаходити, виявляти щось самостійно.

залізничних станцій (САПР ЗСВ), є евристичність самого процесу побудови схеми роздільного пункту. Проте

завдяки цілому ряду теоретичних робіт зростає пізнавальна спрямованість отриманих результатів.

Приблизно в цей же час за кордоном проводяться аналогічні дослідження. Характерним для них є послідовне накопичення матеріалу з проблеми розроблення транспортної САПР. При цьому переважає методичне опрацювання математичних методів формального опису структур колійного розвитку. Використання комбінаторних, топологічних, матричних, графових моделей для відображення суттєвих ознак і коректного графічного подання технічного оснащення станцій і вузлів дозволило сформулювати ряд канонічних вимог, що висуваються до математичних аналогів реальних схем роздільних пунктів [2, 3]. Аналіз цих робіт показує, що спостерігаються два напрями, за якими закордонні вчені проводили свої дослідження в галузі автоматизації проєктування залізничних станцій:

- 1) технічне конструювання колійного розвитку;
- 2) техніко-технологічне моделювання елементів і процесів.

Вирішуючи проблеми САПР, вітчизняні та закордонні вчені не замикалися тільки на оптимізації геометричних властивостей проєктованих об'єктів, а зв'язували моделі, що розробляються, з технологією.

Унаслідок такої двоїстої орієнтації досліджень у галузі САПР залізничних станцій вченим до цього часу не вдалося отримати остаточного рішення.

Евристика систем автоматизації проектування на сьогодні пов'язується з необхідністю активного і безпосереднього використання «живого досвіду» проектувальника, його безпосередньої участі у процесі завершення і аналізу проектного рішення. У цьому випадку автоматизовані методи стають вторинними і використовуються як засіб та інструмент відтворення результату діяльності людини.

По суті евристична спрямованість процесу проектування роз'єднує мету проектувальника і програмного середовища САПР.

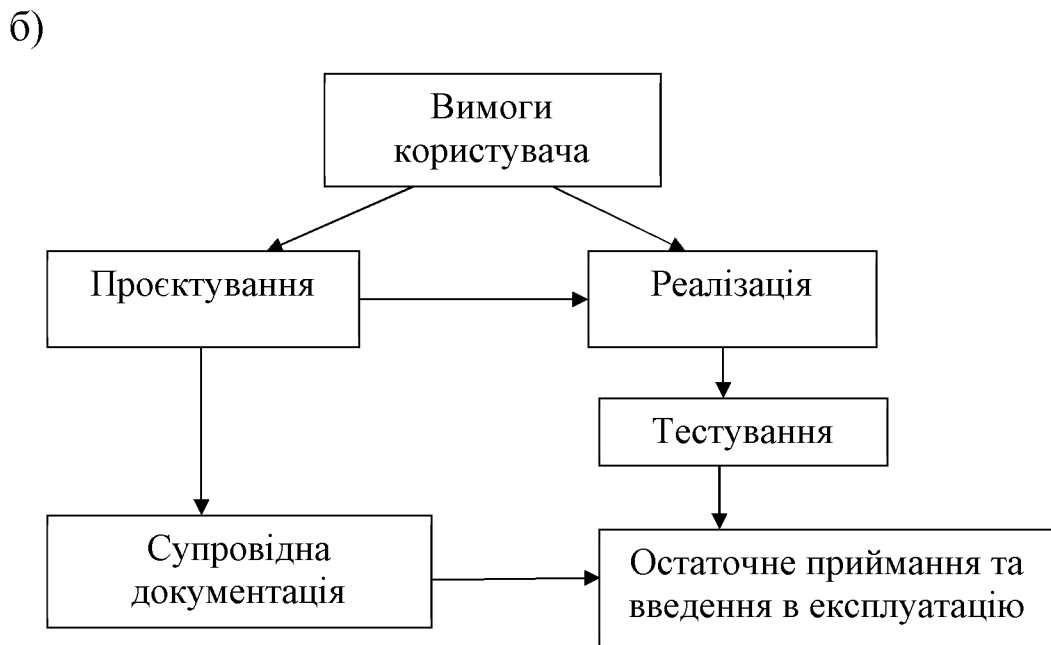
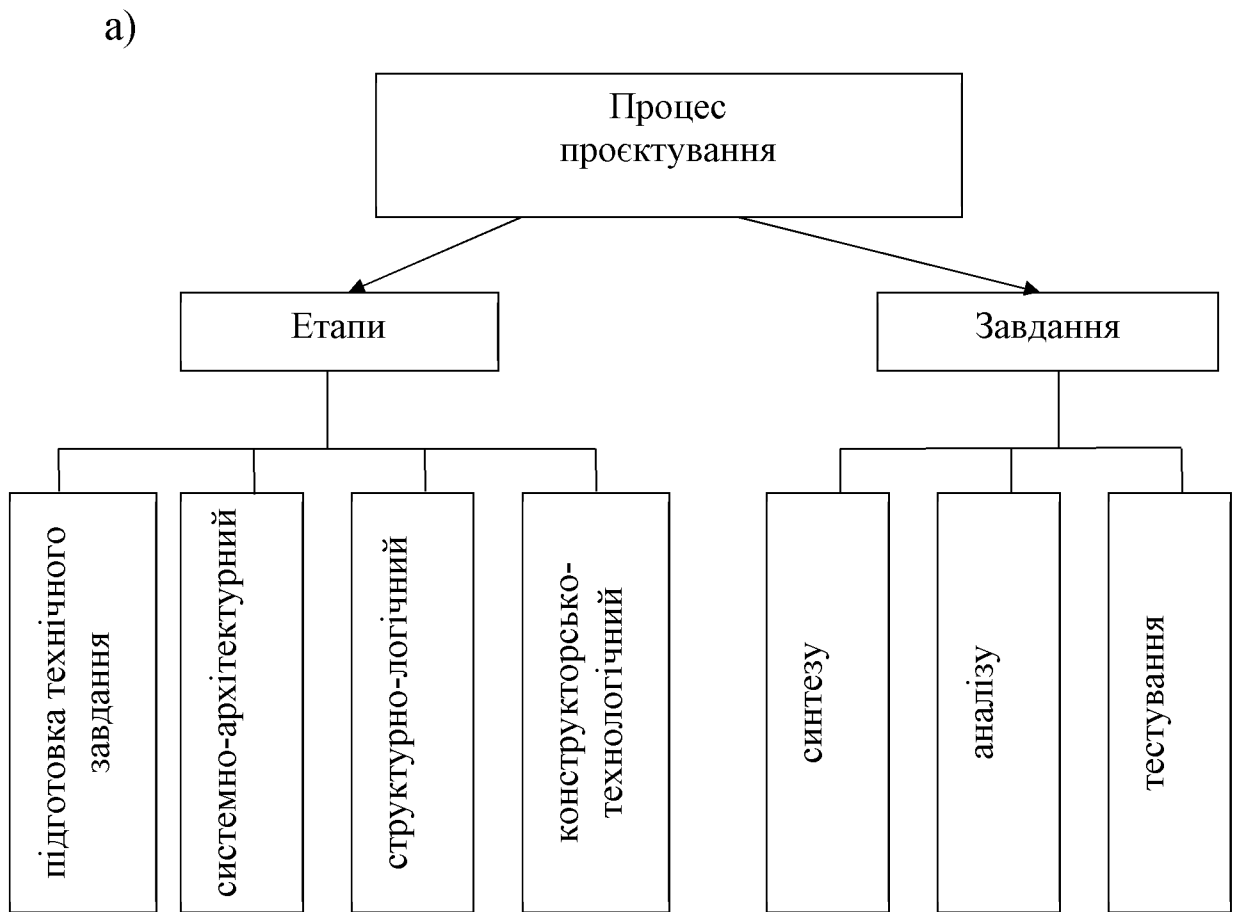
Через відсутність методів формалізації досвіду, знань і навичок професіонала система автоматизації підміняється прямим застосуванням цього досвіду. Зворотний зв'язок з програмною оболонкою, як правило, вже не відновлюється, оскільки проектувальник завершує проектне завдання самостійно. Однак, як показує аналіз, навіть на складних аналітичних етапах проектного процесу може і має підтримуватися тісний зв'язок між проектувальником і програмним середовищем САПР.

Особливістю існуючих підходів до проектування об'єктів є методологічна орієнтація на традиційні методи. Аналіз різних досліджень у галузі транспортних САПР показує, що при вивченні різних проблем автоматизації проектування використовується схема етапної диференціації процесу розроблення проектного рішення (рисунок 1.1).

1.2 Можливості типових пакетів систем автоматизованого проектування для застосування їх при проектуванні станцій

Залежно від орієнтації на вирішення певних завдань програми цифрового моделювання, що функціонують зараз, можна віднести до одного з чотирьох класів:

- автоматизації машинобудівного креслення;
- конструювання друкованих плат та електронних схем;
- автоматизації будівельного проектування та архітектурних робіт;
- комплексного проектування макроструктур.



а) характеристика етапів і завдань; б) схема реалізації проєкту

Рисунок 1.1 – Методологія підходу до проєктування об'єктів

Аналіз можливостей цих пакетів показує, що більшість з них по-різному можуть бути пристосовані для вирішення завдань з автоматизації проєктування схем залізничних станцій. В арсеналі засобів пакети САПР мають геометричні примітиви, що можуть бути в елементному або блочному поданні ідентифіковані як дільниця колії, стрілочний перевід, поїзний або маневровий сигнал, інші елементи колійного розвитку і технічного оснащення роздільного пункту. Великі пакети САПР мають вбудовані мови програмування, що дозволяють розширити істотні можливості автоматизованих систем проєктування, максимально пристосовуючи їх для вирішення конкретних вузькоспеціалізованих завдань.

Однак слід відзначити, що перепрофілювання структури САПР загального призначення є ефективним, якщо проблема проєктування носить систематичний характер, тобто рішення досягається шляхом використання логіко-математичних методів, що висловлюються правильними, завершеними формалізованими

аналогами типового середовища.

Стохастичний – випадковий, імовірнісний.

При цьому відсутня або мінімізована стохастична складова, використовуються

ефективні методи приглушення шумів.

САПР ЗС належить до систем евристичного типу, для яких необхідно розвивати базову структуру аналізу вхідних даних, оскільки подібної системи жодна типова САПР спочатку не має. Складність полягає в тому, що йдеться про інтеграцію в існуючу САПР чужорідних для неї елементів. Так, досить складно встановити зв'язок між функцією відтворення лінії і процедурою розпізнання її як об'єкта, здатного прийняти поїзд установленної довжини, що забезпечує пропускання маневрового локомотива, який має спеціалізацію, що виключає обслуговування поїздопотоків іншого напрямку.

При взаємному поєднанні декількох графічних елементів, що відтворюють структуру горловини або парку станції, необхідна активізація модулів оптимізації колійного розвитку, які забезпечують максимальне скорочення неробочих довжин колій, раціональне укладання стрілочних переводів, контроль міжколій.

Основна ідея САПР залізничних станцій полягає в тому, щоб розробити живе, інтерактивне середовище спілкування

проектувальника і програми. Користувачу потрібен грамотний помічник, а не безвольний виконавець, не здатний аналізувати свої і чужі дії. Поняття «грамотний» для пакета САПР ЗС трансформується в поняття «адаптивний».

Аналізуючи існуючі САПР машинобудівного профілю, можна відзначити, що практично будь-яка з них може бути основою для транспортної системи автоматизованого проектування. Витрати часу на створення моделі об'єкта на екрані дисплея засобами САПР машинобудування виявляються мінімальними. Комп'ютерний прототип масштабується, до нього застосовані функції «гумової нитки», модель може бути спроектована на будь-яку площину. Можливість типової САПР за наявності відповідних модулів розширення дозволяє анімувати зображення. Можна спостерігати динамічну картинку послідовної зміни зв'язків елементів станції при її етапному розвитку.

Однак, незважаючи на зовнішню схожість завдань автоматизації проектування автомобілів і схем залізничних станцій, САПР машинобудування слід віднести до систем кількісного аналізу, а САПР транспортного профілю – до систем якісного

Кваліметрія – галузь практичної та наукової діяльності, пов'язана з розробленням методів вимірювання та кількісного оцінювання якості.

синтезу, яким для ефективного функціонування потрібне застосування особливих кваліметричних підходів.

Можливості типових САПР виявляються досить повними для розрахунку і графічного моделювання схем залізничних станцій, але не забезпечують інтерактивний контроль з боку проектувальника за процесом проектування. Слабкою стороною промислових систем автоматизованого проектування є тільки фактичний візуальний моніторинг розвитку структури об'єкта. Впроваджується стандартний прийом комп'ютерного моделювання: що проектую, те і бачу на екрані. У результаті виявляється, що прямими методами типових САПР можна розробити цілісну структуру візуальної форми і технологічного змісту залізничної станції. Тому потрібна серйозна перебудова базового середовища і доповнення його активними модулями спеціалізованого змісту.

2 Формалізоване подання нормативно-довідкової інформації при автоматизації проєктування станцій

План

2.1 Аналіз інструктивної документації з проєктування схем роздільних пунктів.

2.2 Формування множини проєктних вимог за ознакою домінуючого фактора.

2.3 Класифікація нормативних вимог щодо складу елементів.

2.4 Класифікація мовних конструкцій нормативних вимог проєктування.

2.1 Аналіз інструктивної документації з проєктування схем роздільних пунктів

Предметні знання виражаються за допомогою природної мови, що є основою і вихідним матеріалом для розроблення логічно стрункої моделі інтерпретації предметних знань. Природна мова, маючи багату гаму виразних засобів опису навколишнього світу, разом з тим наповнює його широким спектром важко вловимих відмінностей багатозначного характеру.

Нормативні дані мають ще більш певні характеристики, інтерпретуючи відомості фактографічного характеру, що мають певні числові еквіваленти. Лексика інструктивних положень базується на особливих правилах вибору мовних засобів відображення свого вмісту. При цьому перевагу надають не яскравості і глибині вираження, а точності і визначеності, ясності і однозначності, лаконічності і кількісній інтерпретації. Інструктивним положенням властива концентрація смислового змісту в одній або декількох фразах. Відповідні вимоги виражаються досить стисло. Терміни, що використовуються при цьому, як правило, контекстно незалежні, тобто повторне їх застосування в інших положеннях несе, як правило, те саме семантичне навантаження.

Аналіз основних положень інструктивних документів проєктування роздільних пунктів залізничного транспорту показує, що в них досить часто використовуються семантично нечіткі словоформи типу «як правило», «технічно оснащені»,

«дозволяється», «великий потік», «поступово», які не можуть зберігатися в комп'ютерній базі знань у звичному їх поданні. Вони мають пройти певну обробку, що полягає у звуженні смислового змісту і уточненні предмета, події або дії, на які вказують [4].

Тому в дійсності процес формалізації подається як реалізація багатофазної процедури селекції основного змісту вихідних посилки, фактів, тверджень і висновків.

2.2 Формування множини проєктних вимог за ознакою домінуючого фактора

Вивчення інструктивних положень показує їхню широку різноплановість з точки зору залучення засобів формалізованого опису. Разом з рекомендаціями кількісного характеру (довжина і ширина пасажирських платформ, кількість приймально-відправних колій у парках) інструктивні положення охоплюють типові схемні рішення роздільних пунктів, технологічні вимоги, а також вирази, що складно формалізуються. За ознакою домінуючого фактора в окремому положенні інструктивних вказівок проєктування станцій пропонується виділити три класи проєктних вимог:

- кількісні;
- геометричні;
- технологічні.

Домінанти $Dom_{in}(i)$ належать відповідно до класів кількісних ($i=1$), геометричних ($i=2$) і технологічних ($i=3$) вимог.

Домінанта $Dom_{in}(1)$ визначає кількісні параметри проєктування. З точки зору формалізації розробляється деяка функція, результатом дії якої є одна або декілька кількісних характеристик.

Домінанта $Dom_{in}(2)$ має безпосереднє відношення до процесу проєктування та визначає зовнішній вигляд, геометричне зображення колійної схеми. З цієї категорії вимог можна виділити такі підкатегорії:

- 1) ті, що використовують типові схеми;
- 2) ті, що використовують безумовні типові вимоги описового характеру, що призводять до однозначних схемних рішень;

3) ті, що використовують умовні (варіантні) вимоги описового характеру, що призводять до множини схемних рішень.

Domin (3) носить суто описовий характер технологічного призначення, як правило, опосередковано пов'язаний з відповідними вимогами технічного плану.

2.3 Класифікація нормативних вимог щодо складу елементів

Дослідження показують, що для ефективної роботи САПР ЗС необхідно розробляти три специфічні за структурою бази:

- нормативних даних, жорстко закріплених за чисельним значенням (default-база);
- даних, що підключаються і працюють у прозорому для користувача режимі (латентна база);
- графічних даних, що включають типові схеми станцій, раціональні ув'язки горловин, парків та ін.

Default-база. Створення такої бази полягає в розробленні множини змінних проєктування, прийнятих САПР за замовчуванням. До цих інформаційних одиниць користувач має доступ і може змінити їхні значення в деякому діапазоні, визначеному програмно. База організована як сукупність записів, що складаються з двох полів, – одного текстового константного змісту, другого варіантного, переважного числового формату.

Латентна база. Спільним між default- і латентною базами є

Латентний – такий, що не проявляється зовнішньо; прихований.

те, що програма САПР звертається до цих даних у процесі

автоматизованого проєктування без участі користувача. У цей конкретний момент звернення до бази блокується, що призводить до неможливості доступу проєктувальника до полів баз з метою перегляду або зміни полів. Дані default-бази виявляються відкритими для зміни в діапазоні пропонованого допустимого набору конкретних значень. Латентну базу у звичайному режимі не видно користувачу. Лише після активізації відповідного вікна візуалізації бази за допомогою введення певного набору з клавіатури проєктувальнику пропонується перелік змінних

латентної бази. Вона також має у своєму складі константи, що можуть бути тільки переглянуті.

Графічна база. До графічної бази даних САПР ЗС вводяться типові схеми роздільних пунктів. Вони розглядаються як шаблони, використовувані як заготовки при проєктуванні необхідного колійного розвитку і технічного оснащення. Дані схеми заносяться до графічної бази і зберігаються як жорстка конструкція, що не має ніяких можливостей для зміни користувачем.

2.4 Класифікація мовних конструкцій нормативних вимог проєктування

Вивчення нормативних положень показало, що використовується більше 300 різних мовних конструкцій недостатньо певного змісту. Залежно від підходу до їхнього формального подання пропонується виділити декілька типізованих класів.

1 Шкалометричні параметри. Відбір параметрів, що належать до класу шкалометричних, проводиться за принципом тематичної класифікації. Слова, що позначають предмети, події, факти, що знаходяться між собою у відношенні подібності або суміжності, належать до однієї тематичної групи. Тематична група слів має найголовніше слово, що узагальнює охоплені ним слова і подає їх як видові поняття або частини цілого. Елементи тематичної групи можуть бути ранжовані за ступенем інтенсивності деякої ознаки. До цього класу включаються емпіричні характеристики, що вимірюються за допомогою деякої шкали, що дозволяє перевести проблему оцінювання мовних форм у площину кількісного аналізу. Відповідно до цієї шкали всі лексеми, які ототожнюють деякі близькі за змістом стани системи, процеси або події, що реєструються ДБН В.2.3-19-2008 «Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм» [5], згруповуються до однієї категорії.

Лексема – слово в сукупності його форм і можливих значень у всіх його вживаннях і реалізаціях.

цієї шкали всі лексеми, які ототожнюють деякі близькі за змістом стани системи, процеси або

події, що реєструються ДБН В.2.3-19-2008 «Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм» [5], згруповуються до однієї категорії.

2 Алетичні параметри. В інструкціях з проєктування станцій є досить значна множина неоднозначно визначених елементів, що характеризують можливість або необхідність виконання

нормативних вимог з різним ступенем категоричності. Модальні мовні конструкції можна згрупувати в категорію алетичних висловлювань. Алетичні лексеми «дозволяється», «може бути», «допускається», «рекомендується», «слід», «необхідно» та інші використовуються як самостійні мовні одиниці, що несуть певне смислове навантаження, так і в поєднанні з лінгвістичними конструкціями, що обмежують імперативні властивості результуючого утворення, наприклад «допускається, як правило», «дозволяється у виняткових випадках», «слід по можливості».

З Фокусні параметри. Цей клас мовних конструкцій належить до сполучень, що складно формалізуються. Навіть належачи до однієї категорії, вони досить різні за смисловим змістом. Їх об'єднують тільки умовна семантична спрямованість. Пропонується класифікувати вісім категорій фокусних параметрів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристика фокусних параметрів

Фокус	Перелік параметрів, за ДБН В.2.3-19-2008
<i>1</i>	<i>2</i>
Найвищий ступінь досягнутого рівня	Найбільш повно Найкраща Найбільша Основне призначення Масова Особливо сильно Різко виражені Найбільш раціонально Комплексний розвиток Повна взаємодія Корінна перебудова
Гравітаційні	Концентрація Компактність Кооперування Згущене прибуття Зосередження по можливості

Продовження таблиці 2.1

<i>1</i>	<i>2</i>
Сприятливі	Поточність Плавність Надійність Безпека Захист Раціональність Оснащеність
Несприятливі	Обмежена Неточна Малодіяльні Складно
Зв'язок з іншими елементами	Аналогічно Таке саме Внаслідок У поєднанні Відповідним Перехідний етап
Нормовані	Експлуатаційні умови Норми проектування Характер роботи Допустиме завантаження Нормальна робота Достатня довжина Визначені розрахунком Прийнята система обслуговування Сучасні технологічні процеси Встановленої довжини
Динамічні	Можливі зміни на перспективу Дещо відрізняється Подовження діляниць обертання Перспективна норма
Акцентуючі	Особлива увага Особливі завдання Основні Особливості графіка Менша кількість

4 Мережецентричні параметри. Цей клас нечітко визначених мовних понять, що використовуються в інструкціях [6-8], може бути формалізований тільки побудовою семантичних мереж і розробленням відповідних правил, що визначають зміст таких лінгвістичних конструкцій. Зокрема до класу мережецентричних належать «і т. д.», «тощо», «а також», «не перешкоджає», «крім того», «незалежно», «резервувати» та ін.

Програмне середовище САПР порівняно з проєктувальником має один серйозний недолік: воно позбавлене досвіду і практичних навичок, якими володіє професіонал.

Ліквідувати цей недолік можна тільки одним-єдиним способом – оснастити програму певною системою відтворення досвіду проєктування, якою для середовища САПР є насичена база предметних знань.

3 Проєктно-вишукувальні роботи як основа створення цифрових моделей залізничних станцій

План

3.1 Технологія проведення вишукувальних робіт.

3.2 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій.

3.1 Технологія проведення вишукувальних робіт

Проєктне вишукування – це обов’язкова частина інженерного проєктування, спрямована на комплексне дослідження умов проєктування об’єктів при досягненні поставлених завдань (рисунок 3.1). За ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» [9], інженерне вишукування забезпечує вивчення природних і техногенних умов на території будівництва, розроблення прогнозів взаємодії об’єктів будівництва з навколишнім середовищем, розроблення всіх видів проєктів, у тому числі інженерної підготовки територій.

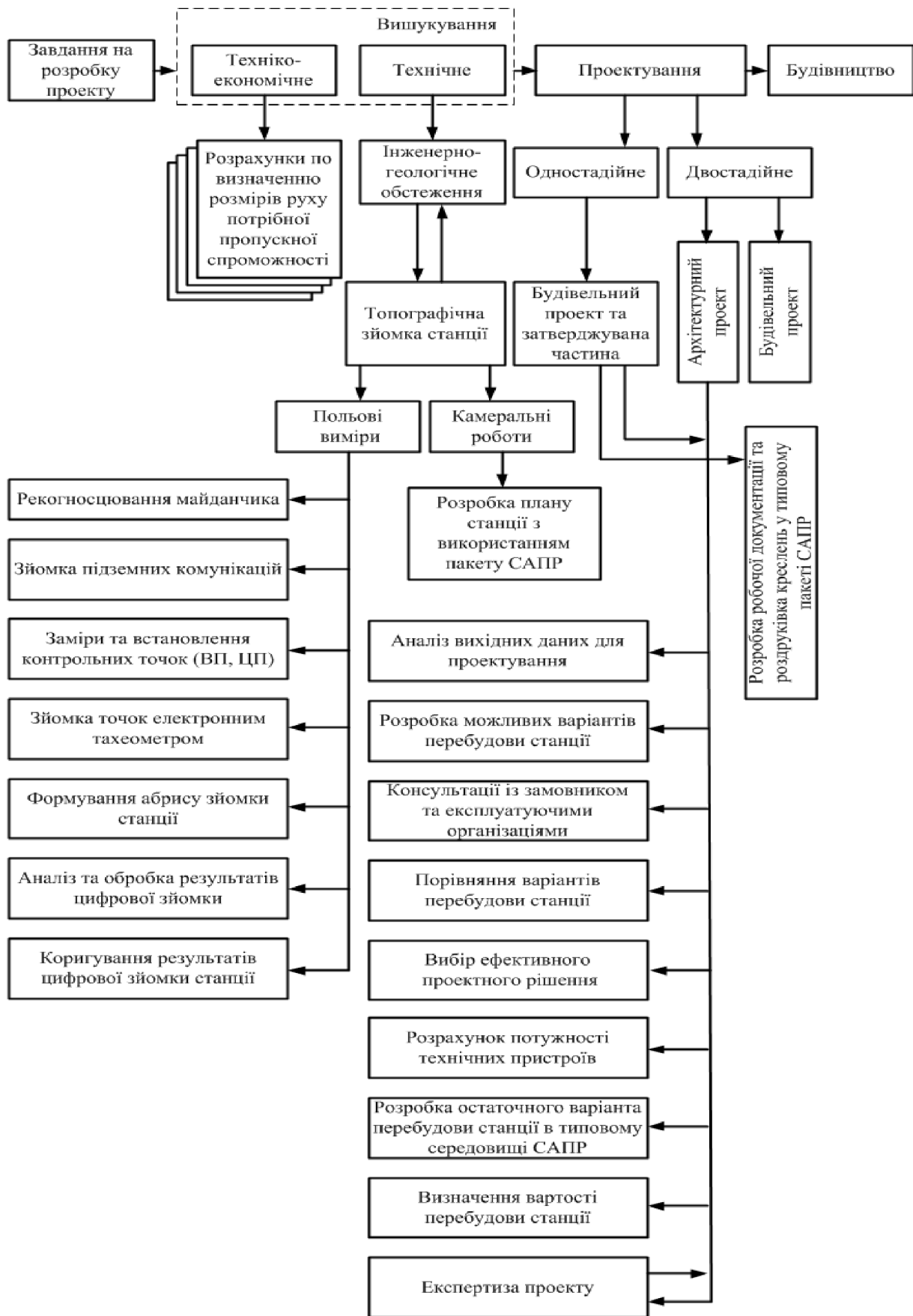


Рисунок 3.1 – Вишукувальні і проектні роботи на залізничних станціях із застосуванням інформаційно-цифрових технологій

Будівництво або реконструкція будь-якого об'єкта транспортної інфраструктури, незалежно від призначення і виду конструкції, починається з розроблення проєктних документів. Для цього проводяться інженерні вишукування – процедури, що полягають у виявленні та обробці даних, необхідних для повного забезпечення точною інформацією про умови місцевості та фактори впливу на об'єкти. У результаті таких досліджень на залізничному транспорті будуть отримані достовірні відомості про станційну площадку, що стануть основою для складання проєктної документації, а також відомості для визначення оптимальних розмірів залізничної станції та взаємного розташування її структурних частин, встановлення її основних параметрів, розроблення технології роботи станції.

Основу вишукувальних і проєктних робіт на кожному етапі складають завдання на розроблення проєкту і результати зйомки станції [10].

Якість результатів топографічної зйомки визначає тривалість і ефективність проєктних рішень. Технічні вишукування та проєктні роботи проводяться з застосуванням інформаційно-цифрових технологій. Геодезична зйомка проводиться за допомогою цифрових тахометрів, а її результати у вигляді креслень проєктів заносяться до типових пакетів автоматизації проєктування.

На етапі технічних вишукувань проводяться польові роботи з вивчення території та збору інформації.

Метою польових робіт є визначення точного взаємного положення стрілочних переводів, сигналів, координат точок ділянок прямих і криволінійних ділянок, будівель і споруд. Особливої уваги потребують операції, пов'язані зі встановленням контрольних точок зйомки. Як правило, такими точками є центри стрілочних переводів. Точки зйомки розміщуються строго на осях колій. Одночасно зі зйомкою електронним прибором проводиться

Абрис – схематичне зображення об'єкта з контурами, що базується на даних польової зйомки місцевості і є основою для розроблення топографічного плану.

створення абрису роздільного пункту для орієнтування в результатах зйомки, програмна обробка отрима-

них даних, їх контроль на дисплеї та корегування за необхідності.

Сучасні електронні прибори здатні визначати координати контрольних точок із точністю понад 0,01 мм. Кількість точок визначається складністю об'єкта. Так, для горловини парку сортувальної станції їхня кількість може сягати 100 і більше на кожні 100 м колій. За координатами контрольних точок колійного розвитку відтворюється електронний образ роздільного пункту.

Польовим роботам передують розвідувальні заходи, що полягають у підготовці схематичних креслень і подальшому звірянні реального положення контрольних точок для формування уточненої схеми станції при цифровій зйомці.

При перебудові станції проектування проводиться у дві стадії:

1) стадія архітектурного проекту – передбачає розроблення варіантів моделей перебудови, розрахунок основних технічних параметрів станції, визначення вартості та вибір оптимального проекту на основі порівняння;

2) стадія будівельного проекту – охоплює роботи з підготовки креслень за окремими підсистемами, парками та пристроями.

При зйомці застосовують систему прямого кодування властивостей об'єктів, що дозволяє фіксувати зовнішній вигляд, положення, технологічні особливості на рівні символічного опису. Кожна властивість кодується певною кількістю символів, а набір таких символів називають кодом точки.

Розрізняють фіксований і повний коди точки. Фіксований код формується на етапі візуального контролю при польовій зйомці. Повний код – це фіксована частина, доповнена координатами у тривимірному просторі. У цифрових приладах ці коди мають вигляд рядка з чотирьох полів – фіксований код і координати об'єкта, що є ідентифікатором контрольної точки колійного розвитку. Сукупність кодів контрольних точок утворюють кодові карти (рисунок 3.2).

За необхідності проводиться корегування результатів польових робіт як на етапі побудови кодів, так і етапі з'єднання окремих точок зйомки при відтворенні конструкції колійного розвитку. При обробці даних використовують ряд технологій об'єктного відтворення за рівнями.

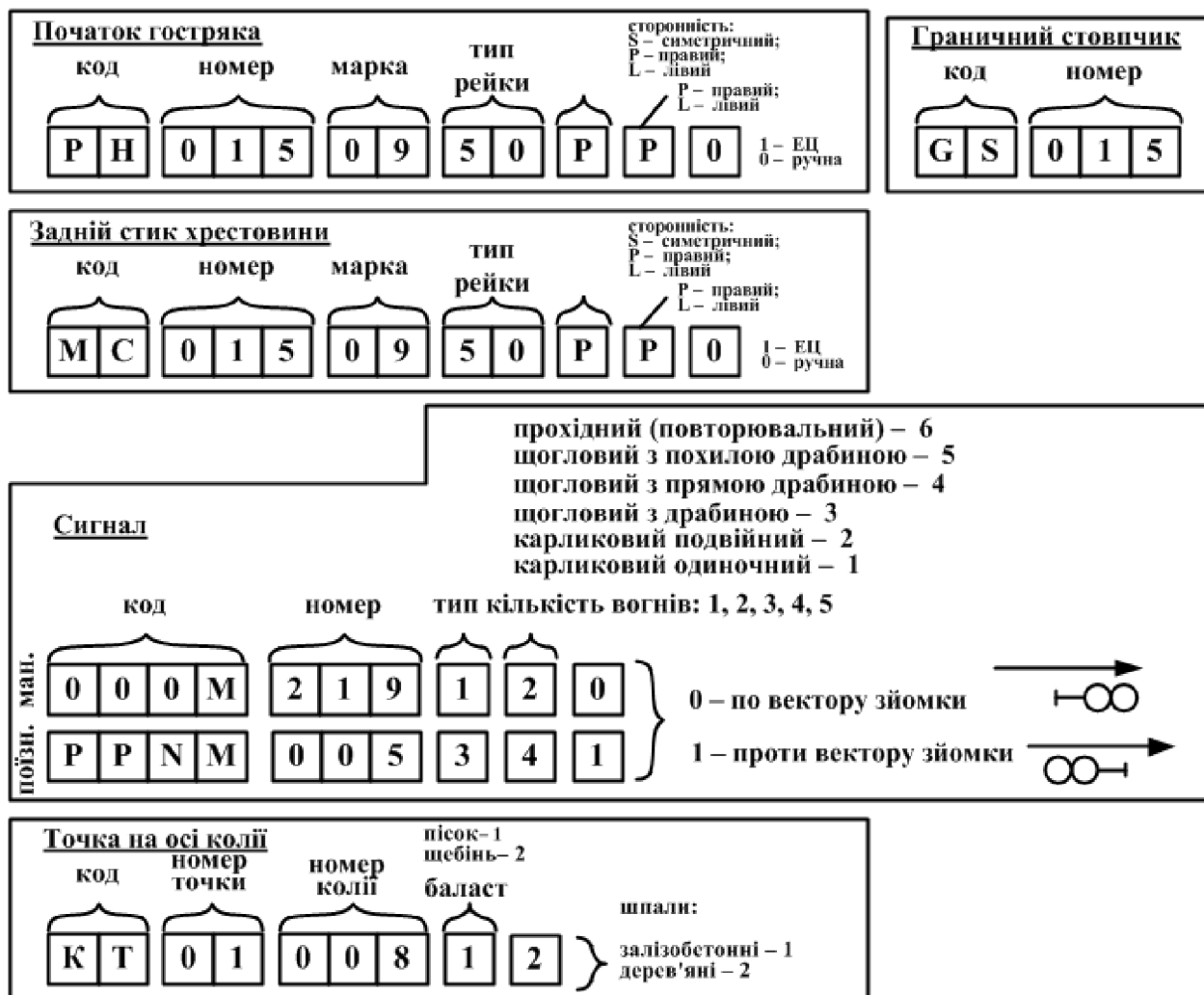


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд кодової карти об'єктів колійного розвитку

Перший рівень – масштабне зображення об'єктів станції за результатами електронної тахеометричної зйомки. Передбачає автоматичне відтворення фрагментів колійного розвитку і технічного оснащення.

Другий рівень – доповнення до першого, що розширює і пов'язує ділянки колій і стрілочні переводи в межах прямих елементів.

Третій рівень – завершальне у формуванні колійного розвитку, що визначає

Топологічний – такий, що визначає схему розташування і з'єднання об'єктів у цілісну структуру.

повну топологічну структуру станції, але потребує уточнення

координат у процесі наступної зйомки. Результатом проведення цифрової зйомки станцій є створення файлів у вигляді складних таблиць з кодовою інформацією про колії, стрілочні переводи, пристрої та споруди.

Камеральні роботи передбачають формування плану станції на основі отриманих результатів зйомки; побудову відсутніх об'єктів; нанесення пояснювальних написів, номерів колій і стрілочних переводів, а також визначення радіусів, кутів повороту, тангенсів і довжин кривих.

3.2 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій

За результатами цифрової зйомки формується фрагментарне масштабне зображення колій і стрілочних переводів в осях колій. На отриманому плані спочатку з'єднуються окремі фрагменти за відсутності між ними кривих ділянок. Колійний розвиток, зйомка якого відбулася з неповним або некоректним поданням, уточнюється під час наступної зйомки.

Обробка отриманих даних зйомки визначає ефективність наступного етапу – графічного відтворення цифрових результатів схеми колійного розвитку. Обробка табличних форм електронних приборів являє собою значну складність для подальшої автоматизації процесу проектування через відсутність одноманітних прийомів кодування окремих точок зйомки (гостряків, хрестовин стрілочних переводів, кривих), тому цей процес постійно удосконалюється.

Загальна схема подання характеристик точки зйомки така:

$$\text{NAME_NUMBER_MARKA_TYPE_SIZE_ST_X_Y}, \quad (3.1)$$

де NAME – назва або ознака об'єкта зйомки. Для стрілочних переводів – PH (початок гостряків) або MC (математичний центр хрестовини); для світлофорів – M (маневровий), P (парний), N (непарний); для ділянок кривих – PK, KK, VK (відповідно початок, кінець і вершина кривої);

NUMBER – номер точки на плані;

MARKA – марка стрілочного переводу або радіус кривої;

TYPE – тип точки. Для світлофорів вказують наявність похилої (D/) або прямої (D!) драбини, а для решти точок – тип рейок;

SIZE – ознака об'єкта. Для цієї характеристики зазначається сторонність стрілочних переводів (лівосторонній L, правосторонній R, симетричний S); орієнтація кривих за годинниковою стрілкою (+) або проти неї (–); тип конструкції сигналів (карликові K, щоглові SCH, спарені SP), довжина прямої тощо;

ST – ступінь типізації конструкції об'єкта зйомки (застосування типових проєктів, стандартних епюр і т. д.);

X, Y – координати точки зйомки.

Ідентифікація зазначених змінних для об'єктів колійного розвитку станцій подана в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік можливих значень змінних коду точки зйомки

Назва об'єкта	NAME	NUMBER	MARKA	TYPE	SIZE	ST	X	Y
Стрілочний перевід	PH, MC	1, 2, ...	1/9, 1/11...	P50, P65...	L, R, S	ST		
Сигнал	M, P, N	1, 2, ...		D/, D!	K, SCH, SP	ST		
Дільниця кривої	PK, KK, VK	1, 2, ...	200, 300...	P50, P65...	+, –			
Пряма дільниця	PR	1, 2, ...		P50, P65...	/46			

Схемоутворюючими об'єктами колій є стрілочні переводи і криві. Їхнє точне положення визначає всю геометрію побудови колійного розвитку. Після формування цих об'єктів на цифровій схемі та з'єднання відповідних контрольних точок утворюється цілісна структура горловин і паркових колій у вигляді масштабного плану.

Основними об'єктами горловин є стрілочні переводи. Відповідно до наведеної форми кодування точок зйомки для формування горловини необхідно вказувати пари контрольних

точок початку гостряків або математичного центра хрестовини. Визначення координат таких пар точок, що належать до одного стрілочного перевалу, дозволяє відтворити положення об'єкта без зображення центра перевалу. Так, за даними координатних пар

PH20_11_65_R_S 11.20 26.36	PH34_11_50_L_S 31.34 9.24
MC22_09_50_L_S 104.02-20.41	PH36_11_65_L_S 89.45-21.26
PH26_09_65_L_S 99.84-31.34	MC20_11_65_R_S 21.01 11.57
MC32_09_50_R_S 66.30-12.42	PH22_09_50_L_S 76.92-9.93
MC26_09_65_L_S 76.05-18.99	MC34_11_50_L_S 56.82 0.04
PH32_09_50_R_S 38.03 2.73	MC36_11_65_L_S 93.99-31.61

кодована форма подання об'єктів перетворюється в геометрично наочний вигляд (рисунок 3.3).

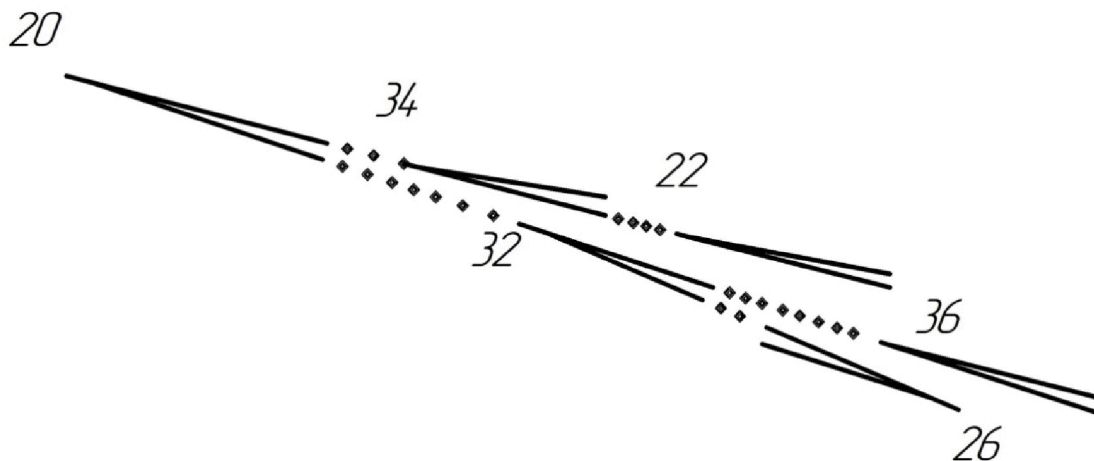


Рисунок 3.3 – Відтворена схема горловини за результатами цифрової зйомки

Перетворення результатів цифрової зйомки з кодованим поданням об'єктів у геометричну схему їхнього взаємного розташування називається об'єктно-параметричною трансформацією. Результатом цієї операції є ізольоване положення стрілочних перевалів без зв'язуючих їх прямих вставок. У зв'язну схему колійного розвитку ці стрілочні перевали з'єднує проектувальник або програмне середовище. Для автоматизації цього процесу необхідна зйомка додаткових точок на прямій між стрілочними перевалами. Так, між перевалами 20 і

34, а також 20 і 32 на рисунку 3.3 записи додаткових точок мають вигляд

PR(MC20 – PH34)_P_27.15_10.64;

PR(MC20 – PH32)_B_28.06_8.38,

де PR – код прямої ділянки колії;

P, B – укажчики зв'язку стрілочних переводів відповідно по прямій і боковій коліях переводів.

На практиці забезпечити повну автоматизацію

Репродукування – відновлення, відтворення оригіналів або копій графічних об'єктів за допомогою технічних засобів.

репродукування схеми станцій на основі даних цифрової зйомки не вдається. Програмна обробка результатів зйомки дуже складна, тому відтворення

колійного розвитку станцій можливе лише з деяким наближенням. Ступінь реалізації відтворення оцінюють коефіцієнтом авторепродукування:

$$k = \frac{N_{np}}{N_{заг}}, \quad (3.2)$$

де N_{np} – кількість станційних об'єктів на цифровій схемі станції, запроєктованих за допомогою цієї технології;

$N_{заг}$ – загальна кількість об'єктів, з яких складається схема станції, з урахуванням сигналів, граничних стовпчиків та інших елементів.

Якщо $k < 0,8$, то вважають, що за результатами цифрової зйомки схема станції відповідає першому рівню відновлення, причому при $k < 0,5$ схему називають частково відтвореною.

Зв'язний колійний розвиток станції доповнюється незв'язними (ізолюваними) об'єктами (сигналами, граничними стовпчиками, будівлями і спорудами). Відтворення їх на схемі станції зазвичай не викликає складнощів. Вони можуть бути відтворені відповідними геометричними образами з досить високим коефіцієнтом авторепродукування. Тому показниками ефективності відтворення репродукування є роздільні значення

коефіцієнтів авторепродукування зв'язних і незв'язних об'єктів, що називаються вибірковими коефіцієнтами авторепродукування:

$$k_{зв} = \frac{N_{np}^{зв}}{N_{заг}^{зв}}, \quad k_{незв} = \frac{N_{np}^{незв}}{N_{заг}^{незв}}, \quad (3.3)$$

де $N_{np}^{зв}$, $N_{np}^{незв}$ – відповідно кількість зв'язних і незв'язних запроєктованих елементів;

$N_{заг}^{зв}$, $N_{заг}^{незв}$ – загальна кількість даних елементів на схемі станції.

Враховуючи аналітичні залежності (3.2), (3.3), загальний коефіцієнт авторепродукування станції складе

$$k = \frac{k_1 \cdot N_{заг}^{зв} + k_2 \cdot N_{заг}^{незв}}{N_{заг}}. \quad (3.4)$$

Незв'язні ізольовані об'єкти поділяють на точкові та планарні. Точкові об'єкти подані як граничні стовпчики, які мають лише координати, що визначають місце розташування. Планарні об'єкти – це сигнали, будівлі, споруди, які, окрім координат, характеризуються й іншими параметрами. Складні планарні об'єкти задаються декількома парами координат.

4 Застосування базового середовища формування цифрових моделей залізничних станцій при їх проєктуванні та перебудові

План

4.1 Комп'ютерне проєктування стрілочних вулиць і горловин.

4.2 Аналіз проєктування стрілочних вулиць. Класифікація стрілочних горловин за рівнем складності.

4.3 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій.

4.1 Комп'ютерне проєктування стрілочних вулиць і горловин

Розроблення схеми стрілочної горловини являє собою процес формування її структури з можливістю корекції складових частин на будь-якому етапі проєктування. Для переміщення покажчика корекції необхідно розділити горловину на ієрархічні рівні відносно поточного об'єкта. Поточним об'єктом – *CurrentObjekt* – називається такий об'єкт, що вибирається покажчиком з переліку бази об'єктів і заноситься до бази структури. Це може бути ділянка колії (*CurrentPut*) або стрілочний перевід (*CurrentStr*).

Ретроспекція структури горловини визначає об'єкти-предки

Ретроспекція – звернення, огляд і аналіз того, що вже відбулося або створено.

(*BeforeObjekt*) з відповідними рангами ($Rang = -1, -2, -3, \dots$), призначуваними в порядку, зворотному формуванню

структури. Екстраполяція структури породжує об'єкти-нащадки (*AfterObjekt*) з рангами $Rang = +1, +2, +3, \dots$, що формують подальший варіант розвитку стрілочної горловини.

Модуль максимального значення негативного рангу визначає кількість об'єктів у базі структури. Максимальний позитивний ранг визначає глибину варіантного опрацювання схем розвитку стрілочної горловини. Рекомендується застосовувати правило, відповідно до якого $\max(Rang(BeforeObjekt)) = \max(Rang(AfterObjekt))$, тобто кількість об'єктів, що проєктуються в деякому варіанті розвитку стрілочної структури, має відповідати потужності її існуючого положення.

Класифікація стрілочних вулиць досить велика [11], проте аналіз показує, що найчастіше застосовуються простіші стрілочні вулиці під кутом хрестовини по основній і боковій коліях, а також комбіновані вулиці, що є синтезом перших двох типів стрілочних вулиць.

Формування стрілочної горловини вимагає дотримання деяких правил технологічного змісту, при виконанні яких горловина може використовуватися як елемент проєктування станцій і вузлів у комп'ютерній цифровій системі. Можна виділити такі правила технологічного рівня:

- використання певного порядку укладання стрілочних переводів за марками хрестовини. Приймаємо, що на нижній першій колії необхідне укладання тільки стрілочних переводів марки 1/11, а на решті колій можуть розміщуватися переводи марок 1/11 або 1/9;

- укладання кривих радіусом 200 м. За неможливості проєктування кривої такого радіуса допускається його скорочення до 180 м;

- колії, що з'єднуються горловиною, формуються в пучки по шість-вісім колій у кожному з улаштуванням між пучками міжколійя 6,5 м;

- проєктування витяжної і ходової колії в горловині у відповідності з її технологічним призначенням;

- інші вимоги, що визначаються конкретним змістом задачі.

Автоматизація цифрового проєктування горловин вимагає завдання строго визначених критеріїв оптимізації, дотримуючись яких програма може розробляти раціональні схеми. Вихідними даними для локальних критеріїв оптимізації приймаються:

- довжина горловини, визначувана як різниця координат кінця кривої (КК), що має максимальне значення по осі ОХ і центра переводу (ЦП), що має мінімальне значення координати по осі ОХ:

$$L_{горл} = \max(X_{КК}(PUT)) - \min(X_{ЦП}(STR)); \quad (4.1)$$

- питома довжина горловини, що припадає на одну колію,

$$L_{пит} = \frac{L_{горл}}{N_{кол}}, \quad (4.2)$$

де $N_{кол}$ – кількість колій, ув'язуваних в горловині (кількість паркових елементів);

- сумарна довжина кривих $\sum K_{кр}$ по всій довжині горловини;

- питома довжина кривих

$$K_{пит} = \frac{\sum K_{кр}}{N_{кол}}; \quad (4.3)$$

- ширина розрахункового міжколійя e_0, e_1, e_2 у місцях укладання додаткових кривих і стрілочних переводів;
- довжина з'єднання l_c , що визначає проєкцію на вісь OX структури, що характеризує тип з'єднання;
- функціональний параметр відносної ефективності, що визначає середньозважену оцінку схеми:

$$\Phi_e = \alpha_0 L_{\text{зопл}} + \alpha_1 L_{\text{нут}} + \alpha_2 \sum K_{\text{кр}} + \alpha_3 K_{\text{нут}} + \alpha_4 e_0 + \alpha_5 e_1 + \alpha_6 e_2 + \alpha_7 l_c, \quad (4.4)$$

де α_i – вагові коефіцієнти, що визначають значущість параметрів у загальному обсязі порівнюваних характеристик.

Ці коефіцієнти обираються так, щоб

$$\begin{cases} \sum \alpha_i = 1 \\ \text{opt} \Phi_e = \min(\sum \alpha_i \cdot \text{Par}_i) \end{cases} \quad (4.5)$$

де Par_i – i -й параметр переліку локальних критеріїв.

Виходячи з цього доцільно розглянути основні схеми стрілочних вулиць і горловин, що проєктуються за допомогою комп'ютерних систем (рисунки 4.1-4.3).



Рисунок 4.1 – З'єднання двох паралельних колій при $\text{tg} \alpha_{15} \approx 1/9$, $e = 6,50$ м і радіусі захрестовинної кривої 300 м

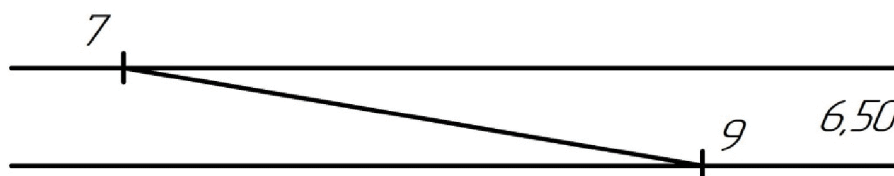


Рисунок 4.2 – Схема звичайного з'їзду при $\text{tg} \alpha_5 = \text{tg} \alpha_7 = 1/9$, $e = 6,50$ м

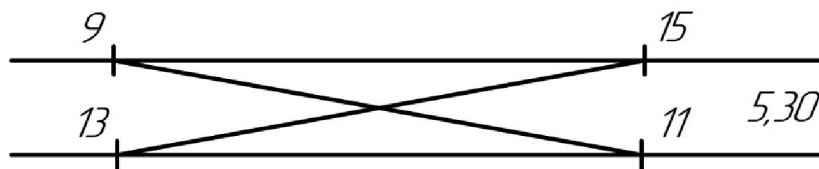


Рисунок 4.3 – Схема перехресного з'їзду при $e = 5,30$ м і

$$\operatorname{tg} \alpha_9 = \operatorname{tg} \alpha_{11} = \operatorname{tg} \alpha_{13} = \operatorname{tg} \alpha_{15} = 1/9$$

Послідовності операцій комп'ютерного проєктування з'єднань колій називаються

Адитивний – пов'язаний із операціями додавання складових частин з метою отримання цілого.

адитивними параметричними образами (АПО) паралельного з'єднання колій, з'їзду, перехресного з'їзду.

Наявність базових індексів операцій, що визначають основні інструменти цифрового проєктування, за допомогою яких можна розробити схеми колійного розвитку залізничних станцій будь-якого рівня складності, дозволяє досить легко визначити склад АПО гіркової горловини дільничної станції, парку приймання сортувальної станції, вантажного району, локомотивного господарства і т. д.

За наявності АПО найпростіших з'єднань колій відносно просто отримати різні схеми стрілочних вулиць і горловин. Отже, базові адитивні параметричні образи виступають як опорні, навчальні структури, на прикладі формування яких проєктувальники легко освоюють прийоми комп'ютерного проєктування складних з'єднань колій.

Слід відзначити, що АПО не визначають строго фіксовану послідовність проєктних операцій, що призводять до необхідного результату. Ускладнення конструкції колійного розвитку призводить до різкого збільшення кількості варіантних АПО, за допомогою яких можна дійти одного результату.

При побудові складних вулиць і горловин доцільно в першу чергу виконати автоматизоване укладання всіх стрілочних переводів, пов'язаних між собою схемами взаємної укладки. Вихід на паркові колії супроводжується виконанням операцій з'єднання прямих вставок, що є продовженнями стрілочних переводів і паркових елементів.

Коректне використання функції з'єднання колій вимагає попередньої перевірки значень міжколійя і радіуса з'єднувальної кривої. При цьому перед використанням інструменту з'єднання колій необхідно перевірити або змінити значення міжколійя між проєктованою і найближчою запроєктованою колією і радіуса кривої.

Проєктування стрілочних вулиць з використанням засобів цифрових систем являє собою процес формування пов'язаних структур, створених з'єднанням окремих стрілочних переводів і ділянок колій. Залежно від конкретних типів стрілочних вулиць потрібне дотримання певної послідовності операцій з вибору з бази даних об'єктів колійного розвитку і фіксації точок їх приєднання до раніше запроєктованої частини вулиці.

Рівень розроблення стрілочних вулиць визначає якість проєктування станцій у цілому, оскільки вони концентрують значну кількість стрілочних переводів і є «вузьким місцем» при обслуговуванні поїздопотоків різних категорій. Вибір ефективної схеми стрілочної вулиці для горловини конкретного типу часто пов'язаний з великими труднощами, пов'язаними з виконанням взаємовиключних вимог. З одного боку, необхідно об'єднати паркові колії максимально близькими зв'язками між стрілочними переводами, що забезпечують мінімальну довжину горловини. З іншого боку, слід запроєктувати паралельні ходи, що сприятимуть одночасному виконанню кількох операцій, знижуючи при цьому завантаження горловини.

Досвідчений проєктувальник інтуїтивно вибирає такі типові схеми стрілочних вулиць, що мають незначну довжину і завантаження. Формалізація правил, використовуваних при розв'язанні цієї задачі, являє собою досить складну проблему. У такому випадку йдеться про набір евристик – певних аксіом вибору, шаблонів, дотримуючись яких можна визначити вид колійного розвитку стрілочної вулиці і горловини [3]. Схеми різних типів стрілочних вулиць наведені на рисунку 4.4.

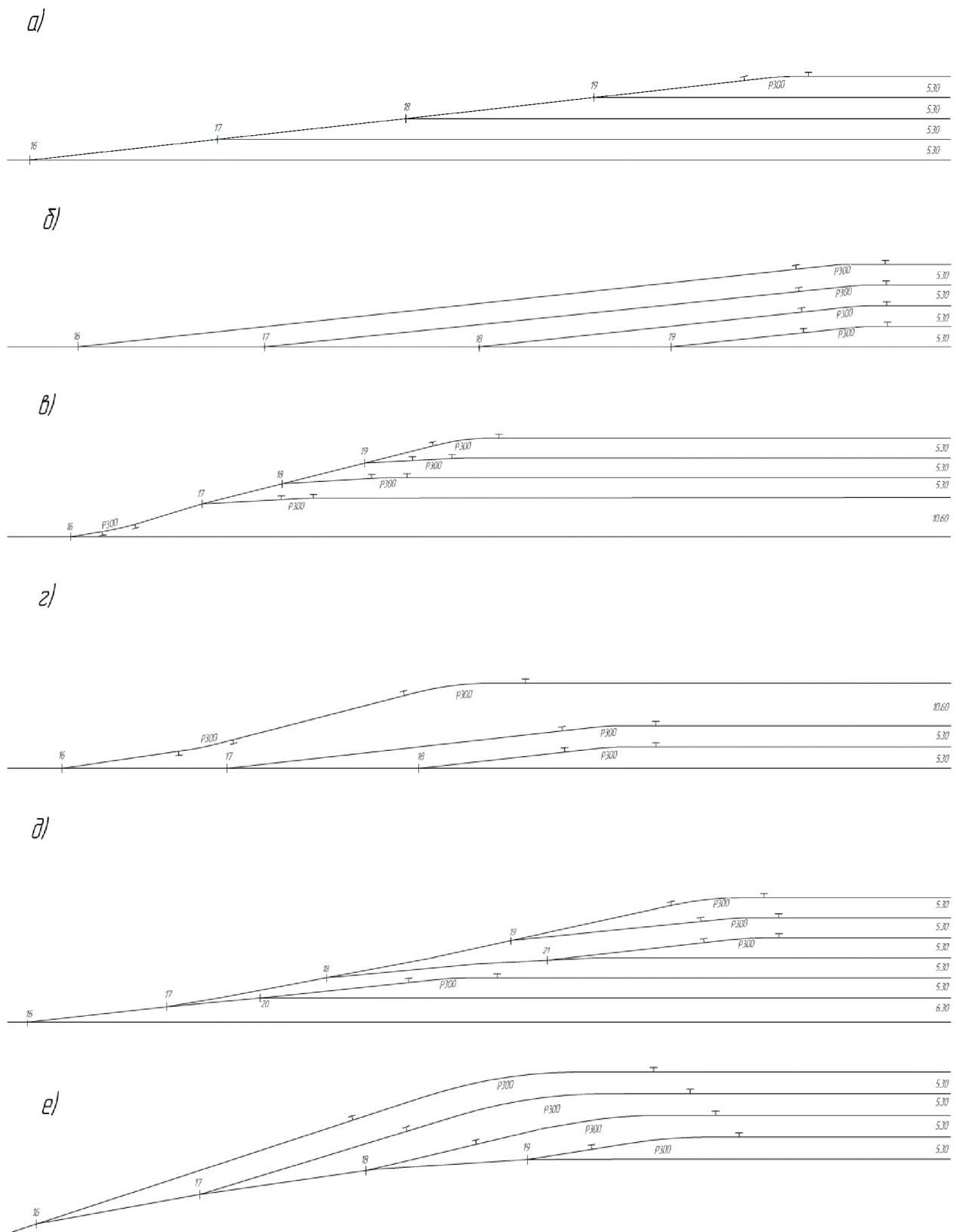


Рисунок 4.4 – Схеми стрілочних вулиць: простіші з укладанням переводів по основній і боковій коліях (а, б); скорочені (в, г); під подвійним кутом (д); віяльна (е)

4.2 Аналіз проєктування стрілочних вулиць. Класифікація стрілочних горловин за рівнем складності

Аналіз показує, що наявність кривих, що скорочують довжину горловини, призводить до розбиття пов'язаних операцій проєктування (укладання стрілочних переводів і їхня нумерація не концентруються в одному блоці операцій, потрібне багаторазове задавання різних міжколій). Крім того, необхідно розрахувати геометрію кривих на крайній колії скороченої вулиці (рисунок 4.5), накреслення якої визначається з умови забезпечення стандартного міжколійя до найближчої колії.

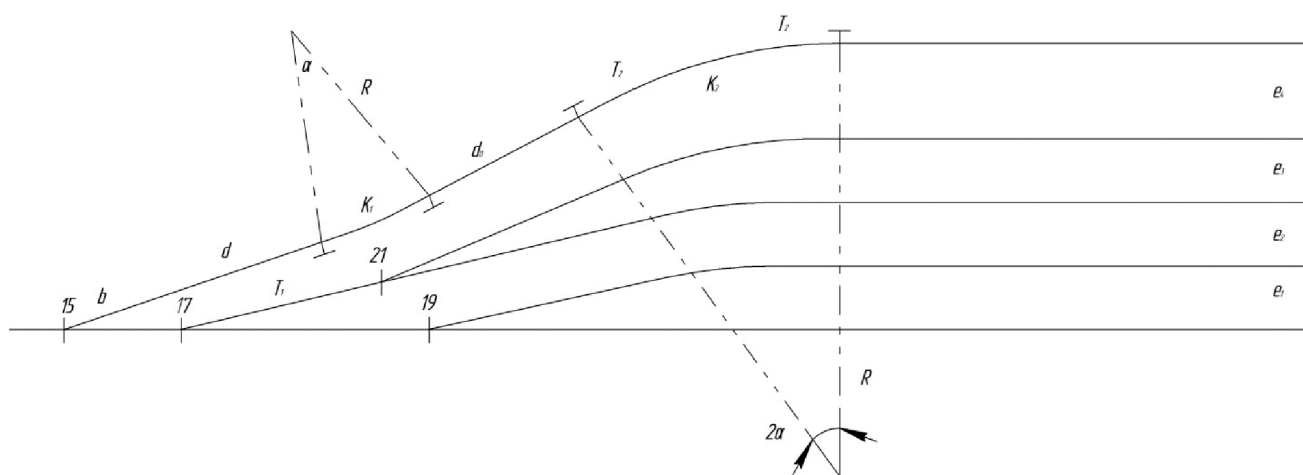


Рисунок 4.5 – Скорочена стрілочна вулиця

Від суми міжколійя на прямих ділянках колій, що входять до парку, залежить довжина вставки d_0 . Її значення визначається з виразу

$$(b + d + T) \sin \alpha + (T_1 + d + T_2) \sin 2\alpha = \sum e, \quad (4.6)$$

де $T_1 = R \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2$, $T_2 = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

Звідси

$$d_0 = (\sum e - (b + d + T) \sin \alpha - (T_1 + T_2) \sin 2\alpha) / \sin 2\alpha. \quad (4.7)$$

Довжина стрілочної вулиці

$$L = (b + d + T_1) \cos \alpha + (T_1 + d_0 + T_2) \cos 2\alpha + T_2. \quad (4.8)$$

Розгорнута довжина по крайній колії

$$L_{\text{розг}} = b + d + K_1 + d_0 + K_2, \quad (4.9)$$

де $K_1 = \pi R \alpha^0 / 180$, $K_2 = \pi R \alpha^0 / 90$.

Колійний розвиток, що не впливає на розрахунок параметрів крайньої колії стрілочної вулиці, називається незначущим. Значущим колійним розвитком є крайня розрахункова колія вулиці і найближчі до неї ділянки сусідніх колій.

Проектування горловин станції ув'язується з подальшим розвитком стрілочних вулиць до укладання паркових елементів, примикання витяжних, ходових, під'їзних та інших колій, що використовуються при виконанні технологічних операцій на вхідній ділянці перед парком станції [5, 12].

Проектування горловин – найбільш складний етап розроблення схеми залізничної станції. Формування електронного колійного розвитку горловин включає від 20–30 об'єктів проміжної станції до 300–500 об'єктів сортувальної.

У горловинах концентруються практично всі проблеми, що виникають у процесі експлуатації станцій (недостатня пропускна спроможність, великі затримки на перехрещеннях, високе завантаження окремих маршрутів переміщення поїздів, составів і одиночних локомотивів) [13]. Залежно від обсягу та характеру роботи роздільних пунктів горловини класифікуються за кількістю об'єктів системи проектування, що входять до них.

Об'єктом колійного розвитку і технічного оснащення називається формований на електронній схемі геометричний елемент або текстовий фрагмент, що є результатом роботи певних інструментів програмного середовища проектування станцій. До об'єктів системи проектування включаються візуальні подання стрілочних переводів, ділянок колій, сигналів і їхня нумерація, номери вершин кутів повороту кривих, тангенсів (початку і кінця кривих), покажчиків міжколійя, спеціалізації колій, платформ, переходів, вокзалів тощо.

Якщо кількість об'єктів системи проектування в конструкції горловини не перевищує 40, то вони називаються простими.

Прості горловини характерні для проміжних, зонних, вантажних станцій. Горловини дільничних, пасажирських, технічних і сортувальних станцій нараховують від 40 до 80 об'єктів. Такі горловини називаються середньонавантаженими. Більше 80 об'єктів системи проєктування мають складні горловини сортувальних і ряду пасажирських і дільничних станцій.

Прості горловини проєктуються без попереднього розроблення немасштабної схеми. Проєктування горловини «з ходу» стає можливим при ув'язці трьох-шести колій, відсутності великої кількості запобіжних, уловлюючих і технологічних тупиків, наявності двох-трьох з'їздів.

Середньонавантажені горловини складно розробляти без робочої схеми. Однак при незначній кількості колій у парках, їхньому послідовному розташуванні відносно один одного можна запроєктувати вхідні ділянки парку, використовуючи тільки зображення колійного розвитку на робочому полі екрана дисплея. Складні горловини завжди проєктуються «з листа», тобто при обов'язковому виконанні робочої схеми на папері.

Складність горловин визначається також кількістю технологічних операцій з різними категоріями вагонопотоків і пов'язаними з ними поїзними і маневровими переміщеннями. Пріоритетні операції (приймання вантажних і пасажирських поїздів, витягування, насув і розпуск составів) вимагають безперешкодного виконання. Однак маршрути їхньої реалізації часто перетинаються в горловинах. При попутних маршрутах можна забезпечити їхню паралельність укладанням додаткових з'їздів. Це призводить до збільшення кількості об'єктів системи проєктування і, як наслідок, підвищення складності горловини. Приклади горловин різної складності наведені на рисунку 4.6.

Усі горловини проєктуються за допомогою інструментів системи проєктування. За наявності вихідного креслення тривалість укладання станційних об'єктів цифрових схем горловин, зображених на рисунку 4.6, доволі незначна (5–15 хв). Проєктувати горловину рекомендується починаючи з блоку стрілочних переводів, що розташовуються за схемами взаємної укладки. Кожний наступний стрілочний перевід приєднується до попереднього безпосередньо до його вихідних точок.

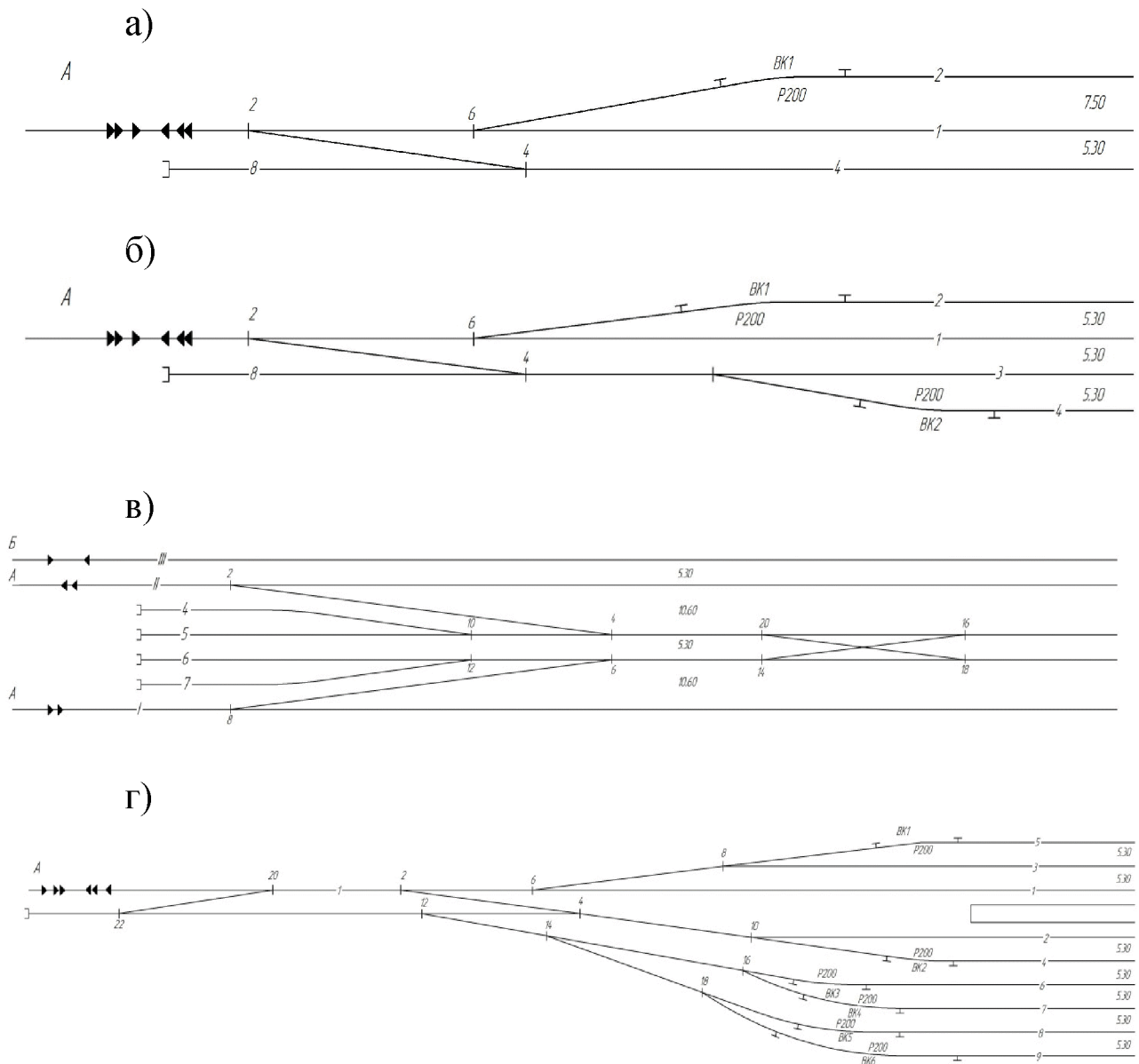


Рисунок 4.6 – Схеми горловин станцій: проміжної (а); вантажної (б); пасажирської (в); дільничної (г)

4.3 Обробка результатів цифрової зйомки колійного розвитку станцій

Колійний розвиток станції в електронному вигляді завжди являє собою зображення в коліях. Формування схеми в «рибках» втрачає свою актуальність завдяки можливості використання подання в коліях для будь-яких цілей. Масштабний план з прив'язкою всіх напільних станційних об'єктів завжди залишався

основою розроблення будь-яких проектних рішень і підготовки проектної документації.

Автоматизація проектування колійного розвитку дозволяє повністю виключити схеми станції в «рибках» [14]. Опосередковано вони з'являються на зображеннях дрібного масштабу, де окремі колії повністю зливаються в загальну затушовану область парку.

Оскільки товщина лінії в системах проектування не може бути менше встановленої, то при дрібному масштабі сусідні колії знаходяться настільки близько одна від одної, що візуально весь парк станції подається як деякий затінений полігон у вигляді «рибки». Однак у будь-якому випадку парк станції в електронному вигляді – це завжди структурована схема сукупності окремих колій, що включає їхні номери, спеціалізацію, міжколійя, сигнали.

У системах проектування схеми станцій містять усі елементи колійного розвитку і технічного оснащення незалежно від масштабу. Тільки при дуже дрібних масштабах окремі елементи (знаки початку і кінця кривих, номери стрілочних переводів і сигналів, номера колій) можуть бути невиразні або невидимі. Необхідно розрізняти ці поняття.

Нерозрізненість об'єкта колійного розвитку – це неможливість його візуального розпізнавання. Як правило, на робочому полі екрана дисплея цей об'єкт визначається у вигляді точки або контуру деякої неправильної форми. Невидимість об'єкта – повне виключення візуального визначення його місця розташування на схемі. При цьому масштабі цей об'єкт «стягується» у точку і зникає.

Подання схеми станції на екрані дисплея можливе з різним ступенем деталізації. З цією метою можна використовувати вибір масштабу (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000, 1:25000, 1:50000). Слід відзначити специфічність такого інструменту, оскільки масштаб зображення схеми станції на робочому полі екрана є умовним, залежним від поточної роздільної здатності дисплея. Тому розрізняють масштаб твердої копії, що забезпечується вивідним пристроєм друкування, і масштаб електронної копії, встановлюваний зазначеним інструментом системи проектування.

Масштаб електронної схеми належить до категорії слабо фіксованих програмних засобів, що досягають необхідного результату з певною похибкою. Для такого інструменту похибка зростає зі зменшенням масштабу. Основне призначення цієї функції систем проєктування полягає у виборі прийняттого геометричного образу схеми станції.

Комп'ютерне проєктування схем станцій являє собою процес відтворення електронного образу за кресленням (для нового роздільного пункту) або результатами інженерно-геодезичних вишукувань (для існуючої станції). В останньому випадку розроблення схеми називається *репроєктуванням*, тобто відтворенням масштабного зображення станції, що запроєктована раніше та має відповідне паперове креслення, що необхідно перевести в цифровий вигляд на основі зйомки. Система проєктування може працювати у двох штатних режимах: проєктування і репроєктування. Крім проєктування нових, цей комплекс забезпечує розроблення перевлаштування існуючих станцій. Структура режимів роботи системи проєктування станцій наведена на рисунку 4.7.

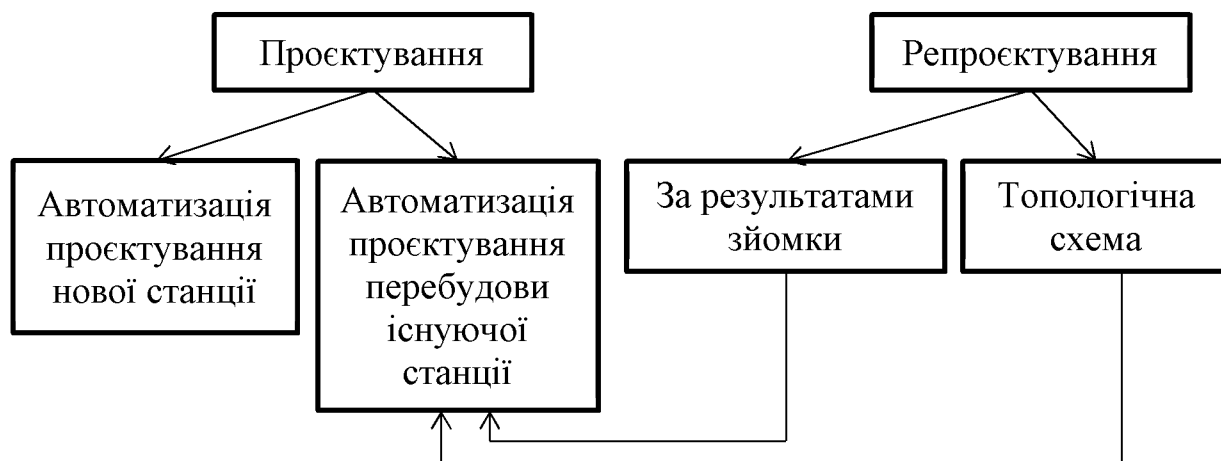


Рисунок 4.7 – Режими роботи системи проєктування

Автоматизація проєктування перевлаштування станції базується на підготовленому цифровому масштабному плані, розроблюваному за результатами натурної зйомки станції.

Важливо відзначити, що для багатьох цілей потрібна наявність схеми станції в коліях, що адекватно зображує тільки

взаємне положення пристроїв без точної координатної прив'язки. На основі наявного креслення можна поелементно «викреслити» цифрову схему, використовуючи можливості системи проєктування.

Поелементне введення пов'язаних об'єктів колійного розвитку, наявних у системі проєктування, дозволяє швидко підготувати план станції з достатньою об'ємною інфраструктурою [15].

Отже, проєкт масштабного плану станцій у цифровому вигляді являє собою складну багатоетапну процедуру формування ієрархічно пов'язаних модульних об'єктів різного рівня складності (елементарний блок – стрілочна вулиця – горловина – парк – станція).

Схеми залізничних вузлів являють собою компоувальні проєктні рішення, отримані на основі об'єднання електронних схем окремих станцій з урахуванням внутрішньовузлових з'єднувальних колій (рисунок 4.8). Цифрові схеми колійного розвитку станцій існують у вигляді окремих файлів, записаних у певних форматах з певними іменами. Це базові конструктиви залізничного вузла, що називаються модулями А-класу.

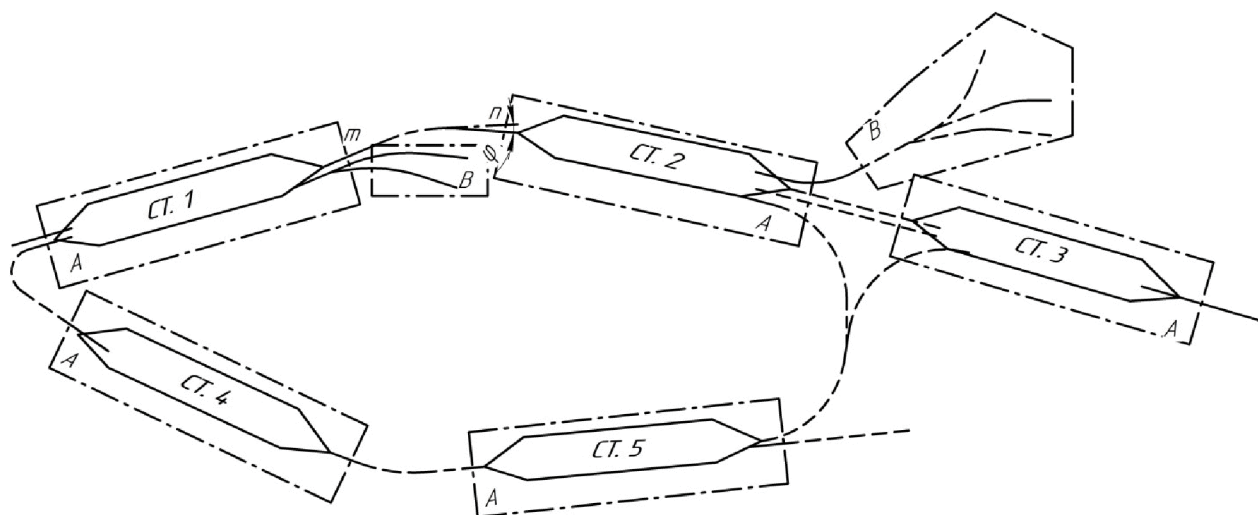


Рисунок 4.8 – Формування схеми залізничного вузла на основі з'єднання модулів

При розробленні принципової немасштабної схеми вузла, у якій довжини з'єднувальних ліній великої ролі не відіграють, їх можна укласти як з'єднання вхідних і вихідних ділянок суміжних станцій і отримати таким чином зв'язну схему залізничного вузла.

Якщо потрібне формування масштабного плану, то необхідно визначити динамічне поле залізничного вузла. Методика побудови цифрового плану вузла полягає в тому, що з файлу викликається перша схема станції Ст. 1 (рисунок 4.8), фіксується координатне положення точки m за знаком «Межа станції Ст. 1» і викреслюється план сполучної лінії $m-n$ до знака «Межа станції Ст. 2». Далі визначаються координати точки n і кут нахилу φ до осі OX дотичної, проведеної в цій точці. Під таким кутом до точки n приєднується цифровий аналог схеми Ст. 2. На наступному етапі виконуються аналогічні операції до завершення процесу формування масштабного плану залізничного вузла.

При з'єднанні окремих модулів на полі вузла можуть виникати ускладнення, пов'язані з нестиковкою точок зв'язку модулів. Наприклад, примикання під'їзних колій, схема яких зберігається в окремому файлі, може призвести до різних проблемних ситуацій (рисунок 4.9).

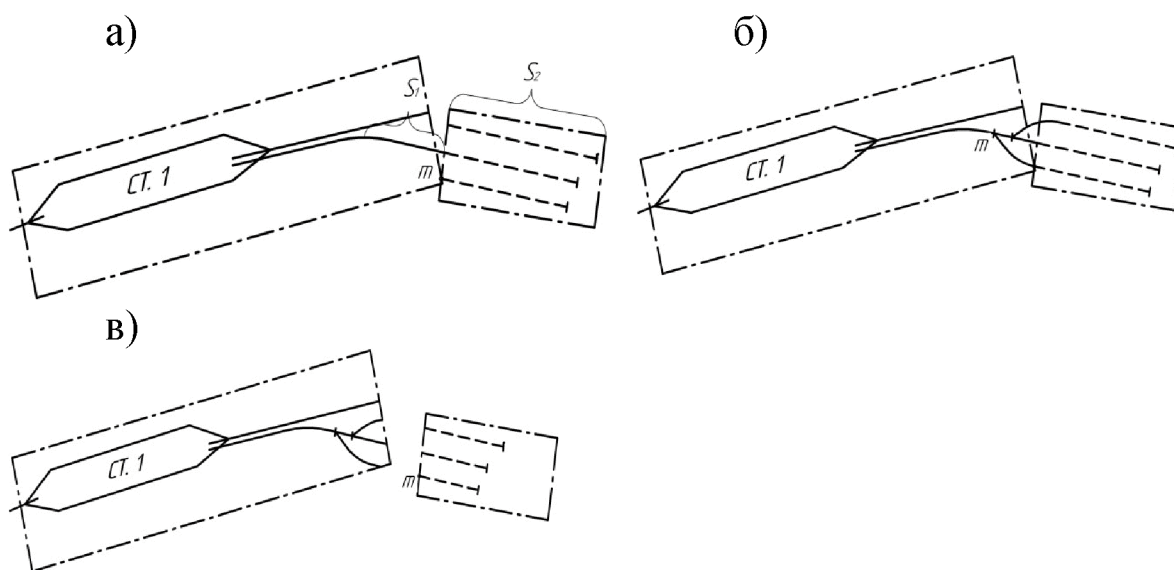


Рисунок 4.9 – Варіанти неузгодженого об'єднання зв'язних модулів схем станцій: «викидання» колій (а); розбіжність ідентичних колій (б); відсутність області зв'язку (в)

У випадку, зображеному на рисунку 4.9, а, модулі повністю не перекриваються через різні міжколійя з'єднувальних колій. Проблема вирішується коректуванням області підходу до точки зв'язку $m(S_1)$ або області примикання до точки зв'язку $m(S_2)$. Якщо

сумарна потужність колійного розвитку області S_1 більше, ніж аналогічна величина S_2 , то корегувати слід S_2 , в іншому випадку – S_1 . На рисунку 4.9, б модулі з'єднуються з повним перекриттям області S_1 областю S_2 . Розбіжність цих модулів вирішується видаленням області S_1 і приєднанням до точки m модуля під'їзної колії. Якщо суміжні модулі не перекриваються один з одним (рисунок 4.9, в), то проводиться укладання відсутніх фрагментів колійного розвитку з можливим переходом до проблемних ситуацій розглянутих вище випадків.

Наведені модулі зв'язку з базовими конструктивами називаються додатковими конструктивами, або модулями класу B . З'єднувальні лінії (внутрішньовузлові ходи) не є модулями, а характеризуються як з'єднувальні конструктиви схеми залізничного вузла і можуть бути простими, лінійними і складними.

Прості з'єднувальні конструктиви – це одноколіїні з'єднувальні лінії з межами в точках m і n , що визначаються за розташуванням знаків між парою суміжних станцій (рисунок 4.8, лінії між Ст. 1 і Ст. 2, Ст. 1 і Ст. 4, ст. 4 і Ст. 5). Лінійні з'єднувальні конструктиви – двоколіїні і багатокіліїні паралельні з'єднувальні лінії з можливим укладанням на них стрілочних переводів і з'їздів. Складні з'єднувальні конструктиви – з'єднувальні лінії зі складною і розгалуженою геометрією накреслення (рисунок 4.8, лінії між Ст. 5 і Ст. 3, Ст. 5 і Ст. 2). Дільниці перегонів, що виходять за межі залізничного вузла, належать до простих з'єднувальних конструктивів.

5 Колійний розвиток станцій як об'єкт цифрового моделювання

План

5.1 Формування алфавіту модульних конструктивів і їх ідентифікація.

5.2 Карта маршрутів цифрового проектування колійного розвитку залізничної станції.

5.1 Формування алфавіту модульних конструктивів і їх ідентифікація

Цифрове моделювання колійного розвитку залізничних станцій передбачає наявність певної вихідної бази конструктивів. Як показують проведені дослідження, ця множина виявляється достатньою при включенні до неї тільки двох елементів – стрілочного перевodu і дільниці колій, здатних забезпечити формування схеми роздільного пункту будь-якого рівня складності (від горловини парку до залізничного вузла).

Схема взаємодії базових конструктивів вимагає задавання таких характеристик:

- типу елемента проєктування (стрілочний перевід або дільниця колій);
- номера вихідної точки приєднання цього елемента до існуючої структури;
- номера вихідної точки елемента структури, до якої проводиться приєднання;
- порядкового номера елемента горловини, до якого проводиться приєднання;
- індексу орієнтації (лівосторонній або правосторонній стрілочний перевід, пряма чи зворотна кривизна дільниці колій);
- порядкового номера елемента проєктування.

Загальний вираз, що описує стан елемента проєктування у момент приєднання до існуючої структури, визначається як

Тензор – математичний лінійний об'єкт, заданий у векторному просторі кінцевої розмірності.

багатовимірний об'єкт, що має деякі властивості тензора.

За визначенням, якщо для кожної прямокутної

системи координат OXY є сукупність векторів P_x, P_y , що перетворюються у вектори p'_x, p'_y , що відповідають іншій системі координат $O'x'y'$ за формулами

$$\begin{aligned} p'_x &= p_x \cos(x, x') + p_y \cos(y, x'); \\ p'_y &= p_x \cos(x, y') + p_y \cos(y, y'), \end{aligned} \quad (5.1)$$

то сукупність цих векторів визначає нову величину, яку називають афінним ортогональним тензором

$$\Pi = ip_x + ip_y. \quad (5.2)$$

Компоненти тензора Π відіграють роль перевідних коефіцієнтів, що дозволяють переходити від однієї системи координат до іншої.

З огляду на специфічність прояви об'єкта в умовах векторного подання елементів схем роздільних пунктів, у подальшому будемо користуватися характеристичним поняттям β -тензора. Загальна схема формування β -тензора зображена на рисунку 5.1.

Ім'я β -тензора F відповідає елементу алфавіту бази проєктування $F = \{STR, PUT\}$ і визначає координати центра стрілочного переведу або параметри дільниці колій.

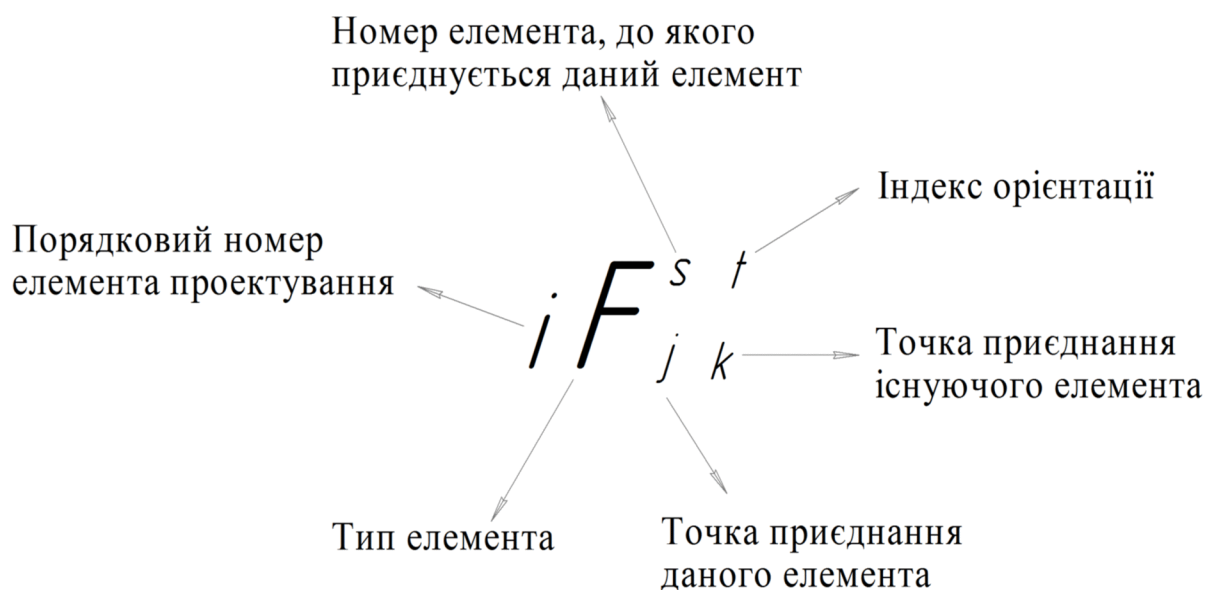


Рисунок 5.1 – Структура тензорного об'єкта «стрілочний перевід»

Основний індекс i визначає порядковий номер елемента проєктування. Коваріантні індекси j, k характеризують точки приєднання; контраваріантні індекси s, t – відповідно номер елемента, до якого проводиться приєднання, та індекс орієнтації.

При розрахунках індекс орієнтації приймається:

- 0, якщо стрілочний перевід лівосторонній ($STR = Left$) або дільниця колій (PUT) криволінійна з обходом від початку кривої до кінця за годинниковою стрілкою;
- 1, якщо стрілочний перевід правосторонній ($STR = Right$) або дільниця колій (PUT) криволінійна з обходом від початку кривої до кінця проти годинникової стрілки;
- 2, якщо дільниця колій прямолінійна.

Розроблений формальний об'єкт дозволяє за допомогою шести параметрів коректно описати елемент проєктування та його місце у станційній структурі будь-якої складності. Однак виникають труднощі при задаванні стартових індексів першого елемента проєктування. Тому пропонується прийняти такі постулати:

1) нумерація елементів локальна стосовно загальної структури парків, станції, вузла, тобто в деякій великій структурі можливе виділення субструктури, у якій призначається свій стартовий елемент, і нумерація в наступній субструктурі може повторюватися;

2) перший елемент завжди приєднується до нульової вихідної точки нульового елемента проєктування. При цьому можливий такий запис:

$STR_{1,0}^{0,0}$ – лівосторонній стрілочний перевід з приєднанням вихідною точкою 1 є стартовим;

3) запис ланцюга зв'язку бажаний у порядку призначення їхніх номерів;

4) початковою точкою приєднання кривої вважати вихідну точку 1, а кінцевою точкою – вихідну точку 2 незалежно від орієнтації, кривизни, довжини та інших параметрів дільниці колій.

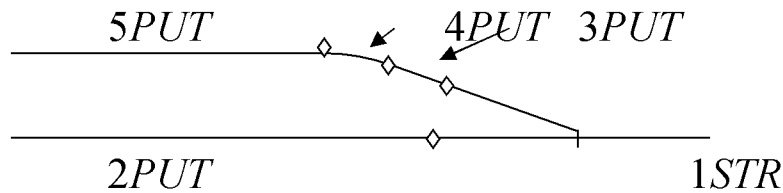
Надалі характеристичний β -тензор опису декількох елементів проєктування буде визначатися поняттям X -тензор. Для будь-якої структури горловини або станції в цілому кількість X -тензорів дорівнює кількості елементів у цій структурі.

Цінність має виділення з сукупності X -тензорів (ΣX -тензорів) групи, що відповідає за формування з'їзду, одиночного з'єднання колій, перехресного з'їзду і т. п.

Визначимо ΣX -тензор для одиночного з'єднання двох колій і звичайного з'їзду на рисунку 5.2. В обох випадках є п'ять

розрахункових елементів: стрілочний перевід і чотири дільниці колій (рисунки 5.2, а); два стрілочних переводи і три дільниці колій (рисунки 5.2, б).

а)



б)

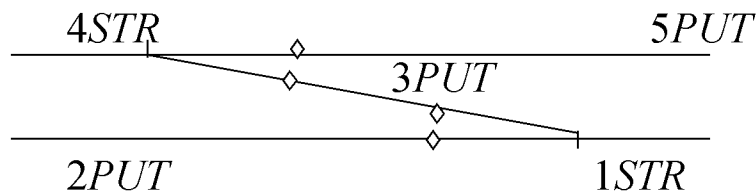


Рисунок 5.2 – Конструктиви фрагменту колійного розвитку: з'єднання двох колій (а); звичайний з'їзд (б)

Відповідні сукупності X-тензорів виглядають так:

$$1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}; \quad (5.3)$$

$$1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,2} \rightarrow 4STR_{3,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (5.4)$$

Обидва ΣX -тензори мають ідентичні три перших тензори. Однак завдання полягає в тому, щоб формули (5.3) і (5.4), що розташовуються в будь-якому порядку, ідентифікувати як одиночне з'єднання двох колій або звичайний з'їзд. Результат проєктування може бути поданий як

$$1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,0} \rightarrow 3PUT_{1,2}^{2,2} \rightarrow 4STR_{3,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (5.5)$$

Це теж запис одиночного з'єднання двох колій при перепозначенні номерів елементів ($5 \rightarrow 1, 4 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 4, 2 \rightarrow 5$).

Якщо обхід об'єкта виконується з перепозначенням: $2 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2$, то ΣX -тензор такий:

$$1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2STR_{2,2}^{1,1} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{2,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (5.6)$$

Формули (5.3), (5.5), (5.6) визначають один об'єкт – одиночне з'єднання двох колій. Однак це не єдина можливість формальної реалізації такого з'єднання. При його конструюванні елемент 3 може не враховуватися, тобто після елемента 1 вибирається та інсталується елемент 4. Група ΣX -тензорів трансформується з 5-об'єктної в 4-об'єктну і подається як вирази

$$\begin{aligned} &1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,1} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}; \\ &1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,0} \rightarrow 3STR_{3,2}^{2,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}; \quad (5.7) \\ &1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2STR_{2,2}^{1,1} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,1} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}. \end{aligned}$$

Вирази (5.3), (5.5)-(5.7) містять загальну ознаку, властиву всім шести рівнянням, що вказує на приналежність цих формул до одиночного з'єднання двох колій. Для вирішення цього завдання необхідно визначити процедуру розпізнавання m -об'єктного підзапису з n -об'єктного запису ΣX -тензорів. При цьому необхідне дотримання умови $m = \{4, 5\}$, $m \in n < n_{max}$, де n_{max} – максимальне значення кількості елементів у структурі, що визначається, як правило, технологічними потребами.

Алгоритм розпізнавання з'єднання двох колій працює таким чином: з усієї сукупності тензорів деякого макрооб'єкта проєктування (горловина, парки, станція) вибирається 4-об'єктний ΣX -тензор вигляду

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,2} \rightarrow cPUT_{1,2}^{b,1(0)} \rightarrow dPUT_{1,2}^{c,2} \quad (5.8)$$

або 3-об'єктний ΣX -тензор вигляду

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,1(0)} \rightarrow cPUT_{1,2}^{b,2}, \quad (5.9)$$

де a, b, c, d – деякі числа, що характеризують макрооб'єкт проєктування.

У загальному випадку третій тензор виразу (5.8) і другий тензор виразу (5.9) можуть визначати ділянки прямих колій: $cPUT_{1,2}^{b,2}$ і $bPUT_{1,3}^{n,2}$, а останні тензори виразів (5.8) і (5.9) можуть бути відсутні всі. При цьому формується одиночне з'єднання двох колій під кутом

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,2}. \quad (5.10)$$

Такий запис є ідентифікованою формою для одиночного з'єднання двох колій. Пошук необхідної сукупності ΣX -тензорів з усього обсягу записів макрооб'єктів проєктування виконується за простою схемою набору окремих тензорів згідно з послідовністю (5.8), (5.9) або (5.10).

Алгоритм розпізнавання структури з'єднання елементів як звичайного з'їзду визначається пошуком послідовності β -тензорів вигляду

$$\begin{aligned} mPUT_{1,2}^{(m-1),2} \rightarrow (m+1)STR_{2,2}^{m,1(0)} \rightarrow (m+2)PUT_{1,3}^{(m+1),2} \rightarrow \\ (m+3)STR_{3,2}^{(m+2),1(0)} \rightarrow (m+4)PUT_{1,2}^{(m+3),2}, \end{aligned} \quad (5.11)$$

де m — номер першого елемента ΣX -тензора, що ідентифікує звичайний з'їзд.

Остаточна послідовність ΣX -тензора являє собою вибірку з виразу (5.11)

$$mSTR_{2,2}^{(m-1),1(0)} \rightarrow (m+1)PUT_{1,3}^{m,2} \rightarrow (m+2)STR_{3,2}^{(m+1),1(0)}. \quad (5.12)$$

5.2 Карта маршрутів цифрового проєктування колійного розвитку залізничної станції

З розширенням структури колійного розвитку доцільно вести протокол виконання окремих операцій з укладання стрілочних переводів і ділянок колій. Послідовність вибору певних елементів з бази доступних конструктивів може бути визначена картою маршрутів проєктування (МП).

МП може бути поданий як:

1) формалізований запис імен підпрограм у порядку їх використання (метаобраз);

2) графічна інтерпретація результатів роботи візуально упорядкованих проєктних процедур (графічний образ);

3) абстрактна схема (граф-схема, автомат та ін.), що характеризує в узагальненому вигляді напрям розвитку структури (абстрактний образ).

Дослідження показують, що для цілей програмного протоколювання етапів розвитку структури роздільних пунктів мають використовуватися всі три подані інтерпретації маршруту проєктування. МП – це шлях, що зв'язує початкову і кінцеву точки локального проєктного рішення і повторює рух вказівного пристрою, застосовуваного користувачем при послідовному укладанні елементів проєктування за допомогою САПР.

Пропонується класифікувати елементи маршрутів так:

1) відносно структури станції, що формується:

- початкові, що характеризують початковий етап формування структури станції. Як правило, це дільниці головних колій, за замовчуванням асоціюються з перегоном і починаються від знака «Межа станції»;

- внутрішні, що визначають проміжний етап проєктування. Усі вихідні точки цих маршрутів пов'язані з точками інших маршрутів;

- кінцеві – маршрути, що не мають подальшого розвитку. Завершення структури пов'язане або з виходом по головній колії на перегін за знак «Межа станції», або з неможливістю розвитку з інших причин (укладання тупикової колії, скидального гостряка, примикання під'їзної колії без зазначення її колійного розвитку та ін.);

- замикаючі – маршрути, що виходять на точки раніше запроєктованого колійного розвитку певного роздільного пункту;

2) за характером:

- дійсні – маршрути, що збігаються з геометричним образом колійного розвитку (віссю колії, стрілочним переводом);

- віртуальні – маршрути, що не мають реального аналога і зв'язують два послідовно запроєктованих елементи, просторово розділені іншими елементами;

3) формою:

- поодинокі – справжні чи віртуальні маршрути, що мають один канал свого руху;

- розгалужені – справжні чи віртуальні маршрути, що мають кілька паралельних каналів руху або таких каналів, що сходяться (розходяться);

4) напрямком:

- прямі – дійсні маршрути проектування, що збігаються з напрямком початкового маршруту або розташовані під деяким незначним кутом за рахунок повороту у кривій;

- зворотні – дійсні маршрути, протилежні за напрямком свого розвитку відносно початкового маршруту.

Різні властивості МП згідно з запропонованою класифікацією наведено на рисунку 5.3. Маршрут проектування цієї структури має такий вигляд:

$$(Proc A)_1 \rightarrow (Proc A)_2 \rightarrow (Proc B)_3 \rightarrow (Proc B)_4 = \text{concat } (Proc S_i)_j. \quad (5.13)$$

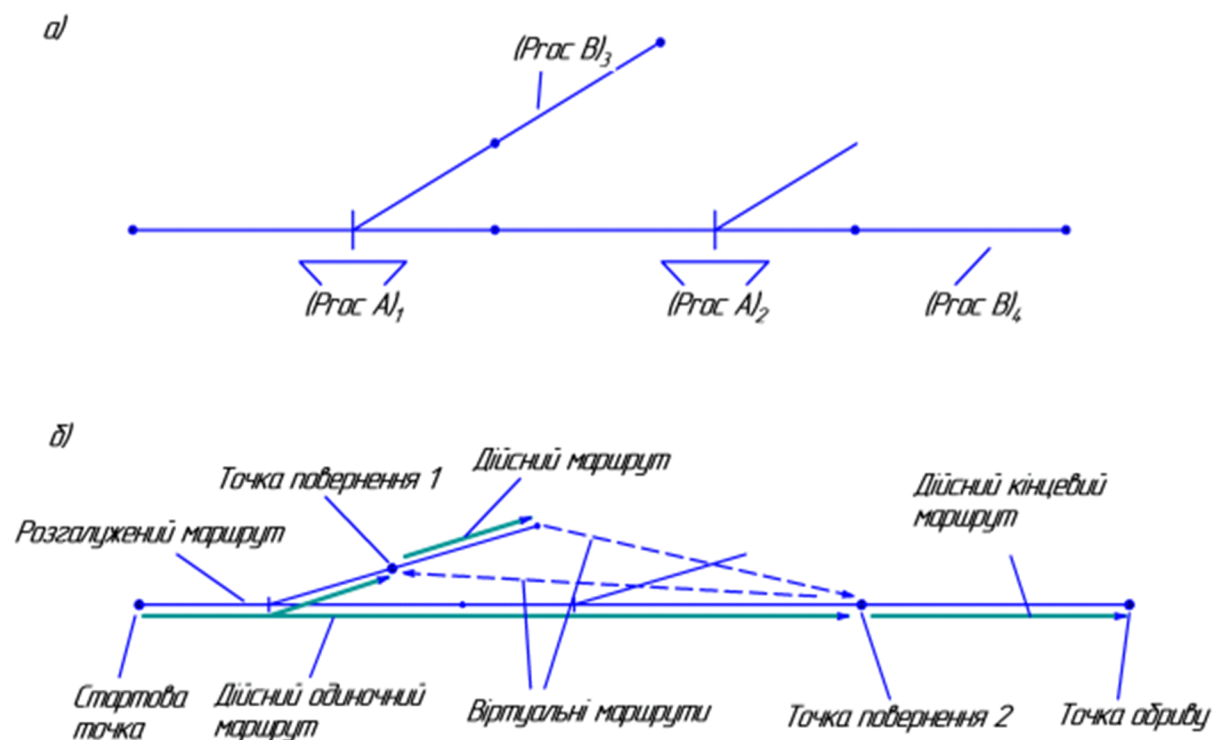


Рисунок 5.3 – Послідовні етапи розвитку структури станції: схема з'єднання базових примітивів (а); основні елементи маршруту проектування (б)

Формула (5.13) відображує операцію конкатенації (поєднання) за певним правилом окремих проєктних процедур i -го базового примітива j -го кроку проєктування.

Окремі ділянки маршрутів можна охарактеризувати одночасно декількома ознаками. Наприклад, ділянка маршруту від стартової точки до точки повернення 2 (рисунок 5.3, б) є дійсним одиночним прямим маршрутом.

6 Шаблони, модульні конструктиви і варіативні об'єкти проєктування колійного розвитку станцій

План

6.1 Формування множини шаблонів і модульних конструктивів, що генерують схеми станцій.

6.2 Формування варіативних об'єктів проєктування колійного розвитку.

6.3 Особливості розроблення систем автоматизованого проєктування залізничних станцій.

6.1 Формування множини шаблонів і модульних конструктивів, що генерують схеми станцій

При автоматизації проєктування залізничних станцій вибір оптимальної схеми розміщення пристроїв з урахуванням усіх факторів є алгоритмічно складним, має деревоподібну структуру можливих варіантів рішення [16]. З використанням типових шаблонів (своєрідних «заготовок») проєктне рішення досягається за незначний проміжок часу. Якщо як шаблон застосовується аналог типової схеми станції, то положення приймально-відправних, сортувальних, транзитних парків, локомотивного господарства закріплено за певними точками. Пошук найкращого рішення проводиться шляхом рекомбінації модулів порівнянного або більш низького ступеня складності.

Шаблон, застосований для конструкції схеми станції, подається як неподільний об'єкт, і пристрої, що входять до нього, закріплюються на певних точках без можливості зміни їхнього положення. Тому необхідно розглянути лише схеми дозволеного

поєднання шаблону $(Pat)_k$ із зовнішніми (що не входять до шаблону $(Pat)_k$) пристроями D_j на S_i точках. У цьому сенсі доцільним може виявитися розроблення таблиць переваг, відповідно до яких дозволяється (=), рекомендується (+) або забороняється (–) деяке сполучення $(Pat)_k \wedge D_j \wedge S_i$ (таблиця 6.1).

Ця таблиця може бути складена проєктувальником або відповідним чином налаштованою програмою. Особливістю таблиці 6.1 є те, що глобальна область дії множини D_j накладається на локальну область дії множини S_i . Це означає, що складається єдиний список пристроїв, які проєктуються на всіх роздільних пунктах. Нумерація точок їхньої прив'язки S_i відносно конкретного шаблону $(Pat)_k$ відрізняється при переході від $(Pat)_k$ до $(Pat)_{k+1}$. Дослідження показують, що несумісність у потужності технічного оснащення станцій, особливості розміщення окремих пристроїв на роздільних пунктах, що розрізняються за характером виконуваної роботи, не дозволяють канонізувати потенційні точки розташування пристроїв. Тому S_i нумерують по-різному в різних шаблонах $(Pat)_k$. Заповнення граф S_i знаком «0» у таблиці 6.1 вказує на той факт, що в $(Pat)_k$ точка S_p з номером p відсутня.

Оскільки нумерація місць розміщення S_i пристроїв D_j є локальною відносно множини шаблонів $(Pat)_k$, то порядок обходу цих точок на схемі великого значення не має. Однак при автоматизації процесу розроблення таблиці 6.1 доцільно запропонувати алгоритм послідовного перерахунку всіх можливих місць розташування станційних пристроїв.

Точки S_i можна визначати відносно обраного об'єкта прив'язки O_1 і координатних осей. Таким об'єктом вважається шаблон типової схеми станції $(Pat)_k$; за наявності шаблонів малого охоплення – пасажирська будівля або пункт продажу квитків для роздільних пунктів із незначним колійним розвитком, а за відсутності пункту продажу квитків – пасажирські платформи. Якщо головні колії охоплюють пристрої станції, то за вісь OX приймається вісь, що співпадає з вектором переважного напрямку розпуску вагонів на гірці.

Пристрої станції на конкретній схемі займають певну площу, що розрізняється за розмірами і геометричним зображенням. У модельному поданні ця площа стягується до клітинки, місце розташування якої визначається центром тяжіння відповідної геометричної фігури, що контурами викреслюється по певному елементу D_j .

Таблиця 6.1 – Поєднання місць взаємного розміщення S_i шаблонів $(Pat)_k$ і зовнішніх пристроїв станції D_j

Шаб- лон	Пристрій D_1			Пристрій D_2			Пристрій D_3			Пристрій D_k				
	S_1	S_2	S_{i-1}	S_i	S_{i-1}	S_i	S_1	S_2	S_{i-1}	S_i	S_1	S_2	S_{i-1}	S_i
$(Pat)_1$	-	+	00	0	+	0	-	-	+	0	+	-	0	0
$(Pat)_2$	+	-	=	0	+	0	+	=	=	=	-	+	=	=
$(Pat)_3$	=	-	+	0	-	-	=	+	-	-	+	-	-	-
...														
$(Pat)_k$	+	=	=	-	-	-	+	-	+	-	=	=	=	+

Як правило, зміни в положенні пристроїв, пов'язані з пошуком найкращого варіанта, слід очікувати після того, як проєктувальник отримав деякий «нарис», чорновий рисунок, а в ряді випадків – повноцінну схему.

При узагальненні правил проєктування і введення до бази знань САПР ЗС додаткових відомостей (порядок проведення операцій за декілька напіврейсів, особливості переміщення маневровим порядком по головних коліях, пропускання вантажних поїздів через пасажирський район і т. д.) можна очікувати ініціативи від керуючої програми, здатної запропонувати варіанти вирішення конфліктної ситуації, що склалася.

Застосування принципу функціонального поділу пристроїв дозволяє створити модифікації структурних схем з формуванням транспортних потоків різних категорій і збереженням технологічного зв'язку елементів.

6.2 Формування варіативних об'єктів проєктування колійного розвитку

Елементна база проєктування залізничних станцій обмежується незначним набором примітивів. Проте, як було показано раніше, такий підхід дозволяє проєктувати досить складні в технічному відношенні конструктиви колійного розвитку. Однак часто виникає необхідність оперувати не статичним елементом, що закріплюється в певній точці, а деяким динамічним набором, що розрізняється орієнтацією, довжиною, кольором, типом, товщиною лінії. При виклику такого варіаційного набору з бази можуть моделюватися різні проєктні ситуації, що збагачує процес проєктування в цілому. На екрані дисплея з'являються альтернативні структури з'єднань стрілочних переводів, довжин колій. Причому ці динамічні форми (варіативні об'єкти) не просто викликаються по порядку з бази, а залежно від існуючої структури колійного розвитку візуалізуються з дозволених станів. Наприклад, при виклику користувачем нового стрілочного переводу з укладанням його у певній фіксованій точці відбувається конструювання схеми з'єднання двох суміжних переводів, а на екрані дисплея подаються лише безконфліктні

з'єднання. Проєктувальник має можливість переглянути їх на екрані і вибрати необхідну схему.

При проєктуванні дільниці колій відповідний варіативний об'єкт візуально імітує елемент із зазначенням довжини і радіуса (для кривих). При цьому укладання колії необхідної довжини відбувається в динамічному режимі відстеження пройденого шляху маніпулятором «миша». Подальше нарощування структури колійного розвитку на потрібній точці відбувається з автоматичним визначенням кута приєднання дільниці колій.

Завдяки органічній внутрішній структурі варіативні об'єкти здатні в непомітному для проєктувальника режимі проводити рекогносцировку проєктної ситуації, що склалася, і пропонувати найбільш ефективні можливості подальшого розвитку схеми станції. Як латентні примітиви до структури варіативних форм «захиті» відомості про марку хрестовини стрілочного перевodu, тип рейок, радіуси кривих та ін.

Слід відзначити, що існує прообраз варіативних об'єктів у вигляді динамічних елементів проєктування, що інтегровані в типові пакети САПР і присутні у вигляді «гумової лінії» при побудові відрізка, процедур пошуку точки дотику кривої або кола, точки перетину та ін. Однак це інструмент зручності відтворення конструктивів, економії часу, досягнення точності з'єднання елементів. Варіативні об'єкти САПР ЗС, крім зазначених функцій, орієнтовані на специфіку проєктування схем роздільних пунктів залізничного транспорту. Цей клас складних об'єктів наділяється можливістю сканування структури прилеглих елементів, що дозволяє аналізувати великі області колійного розвитку з точки зору різних критеріїв технічного і технологічного характеру.

Особливістю реалізації варіативних об'єктів є віртуалізація потенційної множини станів певного елемента. Реально існує тільки один об'єкт у вигляді блока, записаного у файл (стрілочний перевід) або формованого функціональними множинами вбудованої мови програмування (дільниця колій). Решта стану генерується програмно шляхом зміни окремих параметрів базового об'єкта. Двомірна геометрія процесу проєктування незначно навантажує апаратні ресурси ПЕОМ і дозволяє практично миттєво імітувати нові положення елемента у програмному режимі. Для цього розроблені відповідні процедури,

що обраховують перспективну проектну ситуацію за участю віртуальних кандидатів на новий елемент.

Дослідження показали, що клас варіативних об'єктів проектування залізничних станцій має орієнтуватися на базові конструктиви. Прийнятний сервіс досягається за наявності лише трьох дійсних варіативних об'єктів конструювання: прямої дільниці колій (V_1), дільниці колій у кривій (V_2) і стрілочного переходу (V_3).

Формування потенційного положення будь-якого V_i об'єкта починається з точки X_1 , що вказується проектувальником як вузловий пункт подальшого розвитку схеми. Якщо намічається укладання дільниці колії, то програмно відстежується відстань dl від покажчика маніпулятора «миша» на екрані дисплея до точки X_1 .

Зі зміною dl динамічно змінюється довжина необхідної дільниці колії L , візуально відображується іншим кольором і типом лінії на робочому полі екрана під початковим кутом α_1 . Кінцева точка супроводжується додатковим текстовим вікном із зазначенням поточної довжини дільниці L .

Програмно фіксується лише фактична відстань dl , тому покажчик маніпулятора може перебувати в будь-якому положенні відносно точки X_1 . Натисканням лівої кнопки «миші» користувач зупиняє роботу процедури. У результаті отримані дільниці прямої і криволінійної колії регенеруються кольором і типом лінії, встановленими для поточного шару формування схеми станції.

Дійсний варіативний об'єкт V_3 працює дещо інакше. Процес приєднання до точки X_1 передусь програмному аналізу попереднього елемента J_o , що стикується з обраним стрілочним переходом. З бази J_o зчитуються тип примітиву, тип рейок, інші параметри. Виходячи з цієї інформації формується множина допустимих орієнтацій переходу, що приєднується. За сигналом натиснутої лівої кнопки «миші» проектується з'єднання $J_o + J_{1i}$ з урахуванням схеми взаємного розташування стрілочних переходів. Вибір певної схеми проводиться користувачем після натискання клавіші <ENTER> на клавіатурі.

Для всіх трьох дійсних варіативних об'єктів розроблені їхні статичні аналоги. При цьому динамічне відстеження миттєвих позицій замінюється введенням певних значень довжини L або

положення переводу J_{li} . Після закріплення певного положення на схемі варіативні об'єкти нічим не відрізняються від статичних форм, отриманих шляхом креслення відрізків і кривих ліній методами типового САПР.

Крім трьох дійсних варіативних об'єктів у САПР ЗС доцільно використовувати уявний варіативний об'єкт. Цей інструмент імітує роботу звичайної лінійки, дозволяючи визначити відстань між заданими точками, не вносячи жодних видимих змін до існуючого колійного розвитку роздільного пункту. Його використання дозволяє оперативно відслідковувати відстань від фіксованої до поточної точки в динамічному режимі реєстрації. Цей варіативний об'єкт працює у двох режимах: автоматичної побудови перпендикуляра від дільниці колії, на якому вибирається вихідна схема, і обчислення довжини віртуального відрізка в напрямку, заданому проєктувальником.

6.3 Особливості розроблення систем автоматизованого проєктування залізничних станцій

Після визначення структури базових примітивів і механізму їхньої взаємодії основним завданням є практичне застосування отриманих об'єктів для проєктування елементів конкретних схем роздільних пунктів. Розглядаються два основних напрями реалізації цього завдання:

- розроблення автономної програми, що включає тільки функціональні можливості САПР залізничних станцій;
- застосування типового пакета автоматизованого проєктування з адаптацією програмних ресурсів для вирішення завдань побудови схем.

Доцільним є використання типових САПР, що легше пристосувати для вирішення специфічних завдань, ніж формувати САПР ЗС «з нуля», займаючись реалізацією складних проблем універсального характеру. Модульна структура існуючих типових САПР дозволяє за нетривалий термін отримати досить дієву систему автоматизованого проєктування колійного розвитку залізничних станцій. Досить включити до складу типового пакета близько 150 невеликих спеціальних функцій, які розраховують координати елементів, що видають на екран діагностичні

повідомлення різного характеру, контролюючи виконання нормативних вимог проєктування та ін., як виникає новий, досить специфічний, пакет, який з повною впевненістю можна назвати системою автоматизованого проєктування залізничних станцій.

З розвитком схеми станції частіше починають використовуватися певні функції САПР ЗС, що відповідають за виклик нових і редагування існуючих елементів. Тому ці інструменти розташовуються «під рукою» проєктувальника. Багато функцій реалізовані в латентному режимі (виклик шаблонів, формування карти маршрутів), які існують у вигляді певних програмних структур, що працюють у фоновому режимі і не виявляють себе у процесі проєктування. Так функціонують багато процедур формування вихідних даних та інструментів редагування.

У цілому вбудовані можливості типового пакета САПР, що забезпечують налаштування середовища та інші функції, допомагають цільовій підсистемі автоматизації проєктування схем роздільних пунктів реалізувати базові можливості з формування коректної структури з мінімальними витратами часу.

7 Формування техніко-технологічних макрооб'єктів проєктування

План

7.1 Структура макрооб'єкта проєктування.

7.2 Принципи функціонування техніко-технологічних об'єктів при проєктуванні схем роздільних пунктів.

7.1 Структура макрооб'єкта проєктування

Техніко-технологічним макрооб'єктом проєктування називають агрегований елемент, що формально являє собою результат впливу деякої технологічної операції на об'єкт. Вважають, що під дією технологічної операції D_i об'єкт S_i змінює свій стан C_k . Можна визначити відповідні множини D , S і C :

1) множина об'єктів:

$S = \{\text{локомотив(и), вагон(и), поїзд(и), пасажир(и), вантаж(и), ...}\};$

2) множина технологічних операцій:

$D = \{\text{приймання, відправлення, сортування, подача, прибирання, екіпірування, ремонт, відстій, розстановка, складання, миття, навантаження, вивантаження, перестановка, огляд, відчеплення, причеплення, витягування, насування, розпуск, осаджування, закінчення формування, випробування гальм, посадка, висадка, ...}\};$

3) множина елементів колійного розвитку:

$C = \{\text{колії: головні, приймання, відправлення, сортування, транзитні, сортування, навантаження-розвантаження, витяжний, екіпірування, ремонту, тупик; гірка, вантажний район, під'їзна колія, ЛГ, ВЧД, парк, ...}\}.$

Зміна стану об'єкта – його переміщення, що призводить до генерації відповідного колійного розвитку (наприклад подача на під'їзну колію), або перетворення властивостей (миття локомотива, посадка пасажирів). При розвитку структури роздільного пункту в САПР ЗС передбачається контролювати технологічну цілісність за допомогою деякої бінарної операції, де кожен fs_i -й об'єкт з виділеної D -множини проєктується на fc_i -й елемент C -множини елементів колійного розвитку за допомогою зв'язку $S_i D_i$ -й технологічної операції:

$$\begin{array}{c} D_i \\ fs_i \rightarrow fc_i. \end{array}$$

Потужність D -, C - і S -множин визначається складністю структури проєктованого роздільного пункту на t -му етапі проєктування.

При використанні технологічних макрооб'єктів можна розробити процедури контролю щодо забезпечення вимог нормативних документів проєктування.

Для кожної технологічної операції, виконуваної на роздільному пункті, розробляються шаблони трансформації $fs_i \rightarrow fc_i$, що накладаються на схему станції. Таким чином можна перевірити працездатність отриманого проєктного рішення, виявити вузькі місця, що обмежують пропускну і переробну спроможність станційних пристроїв.

7.2 Принципи функціонування техніко-технологічних об'єктів при проєктуванні схем роздільних пунктів

Необхідно виробити концепцію створення і використання єдиної техніко-технологічної основи формування розширених модулів проєктування (РМП). Поняття РМП $\Delta_i\theta_j$ включає структурні елементи колійної схеми роздільного пункту будь-якого рівня складності Δ_i , що мають властивий цій формі технологічний зміст θ_j (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 – База даних модулів проєктування САПР залізничних станцій

Найменування Δ_i	Позначення	Технологічний зміст θ_j
Стрілочний перевід	STR	Tech{STR}
Дільниця колії (колії парку)	PUT(n)	Tech{PUT(n)}
Горловина парку	STR(n ₁) + PUT(n ₂)	Tech{STR(n ₁) + PUT(n ₂)}
Парк	STR(n ₁) + PUT(n ₂) + STR(n ₃)	Tech{STR(n ₁) + PUT(n ₂)} + + STR(n ₃)
...

Конкретний перелік технологічних операцій модульного конструктиву визначається характером роботи роздільного пункту, що проєктується, взаємним розташуванням пристроїв та іншими факторами. Множина модулів проєктування, з яких складається колійний розвиток станції, формує інтегроване середовище техніко-технологічних структур САПР (ТТС САПР). Однак на шляху його створення лежить ряд певних труднощів, пов'язаних з особливостями процесу проєктування залізничних станцій.

Аналіз переліку операцій, що виконуються на роздільному пункті, показує, що більшість з них вимагають значного за протяжністю і різномірністю за структурою колійного розвитку. Наприклад, для виконання операції «*приймання пасажирського поїзда на станцію*» необхідно задіяти вхідну дільницю станції

(головні колії) і пасажирський район з усіма прийнятно-відправними коліями, потенційно здатними прийняти поїзди такої категорії. Цей структурний елемент колійного розвитку обмежується відповідними вихідними сигналами.

Другою важливою особливістю ТТС САПР є повторне використання вже запроєктованого колійного розвитку для виконання інших операцій. Так, головні і деякі колії пасажирського району можуть бути використані для пропускання

Редуплікація – подвоєння, повторення.

вантажних поїздів. Для виключення редуплікації слід розробити своєрідні процедури-фільтри, здатні розпізнати проєктну ситуацію і захистити запроєктований колійний розвиток від дублюючих елементів.

Логічна інтерпретація виконання технологічної операції іноді призводить до двоїстих ситуацій. Наприклад, «обгін поїзним локомотивом составом по вільній колії» сприймається як:

- 1) принципова можливість виконання такої операції незалежно від зайнятості колій іншими поїздами та групами вагонів;
- 2) перевірка спроможності технічного оснащення станції виконати цю операцію при будь-якому поїзному положенні на станції.

Аналогічні вирішення проблеми подвійності виконання операції можуть мати місце і при деяких інших технологічних операціях (подача вагонів на під'їзну колію, перестановка в парк відправлення та ін.). Запропоновано вважати перший шлях вирішення проблеми подвійності етапом проєктування, а другий шлях – постпроєктуванням або аналізом проєктного рішення.

Досвід застосування програмних систем автоматизації проєктування загального призначення показує, що реалізація елементів ТТС САПР має враховувати вектор дії технологічних операцій. Результатом їх виконання є, як правило, зміна положення транспортних одиниць (приймання поїзда, перестановка групи вагонів, прибирання локомотива) – категорія F_1 – або зміна їхнього стану (вивантаження вантажів, екіпірування состава, посадка пасажирів) – категорія F_2 . Категорія F_1 має яскраво виражений напрям, що збігається з переміщенням об'єкта і пов'язане з відповідним колійним розвитком. Це призводить до необхідності проєктування схеми в напрямі виконання відповідної

технологічної операції. Однак багато операцій мають неспівпадаючі вектори і навіть вектори, що перехрещуються. У зв'язку з такою особливістю виникає завдання вибору вихідного напрямку розвитку схеми роздільного пункту. Цей напрям запропоновано вважати напрямом, що збігається з сумарним вектором дії всіх технологічних операцій, що виконуються на колійному розвитку. Разом із цим початкову точку відліку і вектор розвитку плану роздільного пункту може визначати і проєктувальник. Якщо схема станції (тип, взаємне розташування пристроїв) не визначена, використовується правило розвитку структури в напрямі приймання на станцію максимального потоку поїздів усіх категорій.

Конструювання колійного розвитку станції має гарантувати нерозривність геометричного образу і технологічних операцій. Важливо визначити спосіб контролю, який може вказати місця розриву колійного розвитку. Суцільність середовища проєктування – це відсутність розривів геометричного і технологічного характеру суміжних конструктивів. При цьому вихідні точки попереднього модуля покриваються вхідними точками подальшого модуля з продовженням незавершених технологічних операцій. Можуть бути такі випадки порушення цілісності середовища:

а) розрив геометричної цілісності при коректному продовженні технологічної операції. У такому випадку має існувати програмна можливість усунення розриву геометричного образу схеми станції, реалізовувана автоматично, якщо користувач відмовляється від розриву геометричної цілісності структури. При підтвердженні проєктувальником зміщеного злиття модулів T_k і T_{k+1} програма САПР не має перешкоджати цій вказівці. Колія 1 модуля T_k може бути головною колією, що охоплює всі підсистеми станції, колія 5 модуля T_{k+1} – ходовою, що зв'язує парки ПП і ПВ. Однак практично модулі T_k і T_{k+1} можуть мати різну кількість точок входу і виходу. Тому геометрично цілісними вважаємо такі модулі, для яких усі вихідні точки T_k покриваються вхідними точками T_{k+1} (при цьому деякі вхідні точки T_{k+1} можуть бути висячими);

б) розрив технологічного характеру при суцільності геометричного образу;

в) порушення цілісності середовища проєктування технічного і технологічного характеру. Розриви подібного роду мають гарантовано ідентифікуватися засобами САПР з видачею на екран відповідних діагностичних повідомлень. Однак контроль суцільності не припускає обмеження дій проєктувальника. Користувач має широкі можливості, що дозволяють йому запроєктувати необхідний колійний розвиток роздільного пункту. Але при розривах середовища проєктування заповнювати відсутні зв'язки користувач зобов'язаний самостійно.

Аналіз існуючих схем станцій і можливих етапних рішень щодо їх відтворення засобами САПР показує, що практично жодна з них не може бути запроєктована без порушень суцільності. Зустрічні і пересічні маршрути пересування вагонопотоків на станції ініціюють відповідні напрями технологічних операцій. Проте це надійний інструмент при сегментації колійного розвитку станції, коли вимога суцільності середовища має виконуватися на декількох суміжних модулях, охоплених технологічною операцією.

Для ефективної роботи ТТС САПР необхідно ввести ряд положень, що постулюються:

- 1) ємність колійного розвитку модуля проєктування визначається його технологічними можливостями;
- 2) укладання нового модуля проєктування призводить до початку або продовження (завершення) технологічної операції;
- 3) технологічні операції інваріантні відносно будь-яких геометричних перетворень певного модуля проєктування;
- 4) зв'язок окремих модулів проєктування не тільки на рівні геометричної, а й технологічної цілісності призводить до більш стійкого стану всієї системи;
- 5) наявність технологічного змісту колійного розвитку дозволяє системі адаптуватися до різних ситуацій;
- 6) побудова робочої схеми станції призводить до виконання всіх вимог технологічного характеру;
- 7) використання ТТС САПР дозволяє провести етапи проєктування в пакетному режимі, що впливає з попереднього постулату;
- 8) технологічні операції перетинаються на деякому вузлі колійного розвитку при виконанні *D*-операції і реплікації;

9) категорія технологічних операцій F_2 (що призводять до зміни стану транспортних засобів) потребує для своєї реалізації, крім основного колійного розвитку, проєктування комплексу пов'язаних технічних пристроїв;

10) збільшення потужності колійного розвитку неадекватно зростанню кількості виконуваних на ньому технологічних операцій;

11) технічні елементи проєктування (стрілочні переводи, дільниці колій і їхні численні комбінації) належать до розряду комбінаторно-впорядкованих структур;

12) множина модулів проєктування ТТС САПР є відкритою і впорядкованою;

13) завершення проєктного циклу стимулює механізм генерації і оцінювання варіантних рішень.

При розробленні ТТС САПР необхідно застосовувати інтелектуальні алгоритми складного аналізу безконфліктного виконання деякої множини технологічних операцій на колійному розвитку, що розгортається. З огляду на об'єктивні причини порушення цілісності середовища проєктування, у системі САПР ЗС в повному обсязі використовуються практичні навички і досвід проєктувальника. Синтез високоорганізованих адаптивних програмних рішень і знань, інтуїції проєктувальника дозволяє висунути гіпотезу про можливість створення гібридної інтелектуальної системи автоматизації проєктування залізничних станцій.

Подібні структури в повному обсязі мають можливості саморозвитку, поєднуючи в собі здібності і досвід проєктувальника шляхом внесення до пам'яті рішень, прийнятих людиною при розробленні схем, їхньому аналізі і виборі найбільш ефективного колійного розвитку роздільного пункту.

8 Ідентифікація типу роздільного пункту з використанням навчальних систем

План

8.1 Розроблення критерію відповідності потужності технічного оснащення станції абстрактному об'єкту.

8.2 Принципові схеми реалізації навчальних структур.

8.1 Розроблення критерію відповідності потужності технічного оснащення станції абстрактному об'єкту

Колійний розвиток станції, що проєктується, має забезпечувати ефективне виконання всіх технологічних операцій з обслуговування поїздопотоків різних категорій [17]. Виконати ці операції в оптимальному режимі може певний роздільний пункт. Отже, за вихідними розмірами руху, як правило, можна встановити найменшання, тип необхідного роздільного пункту і параметри його пристроїв. Перетворення кількісних параметрів вхідного потоку до відповідного схемного рішення має інтерес з точки зору реалізації пакетного режиму системи автоматизованого проєктування залізничних станцій.

Для ідентифікації роз'їздів, обгінних пунктів і станцій за розмірами руху кожному роздільному пункту P_i можна поставити у відповідність ряд технологічних операцій M_{ij} , що виділяє його з множини $\{P\}$. Причому з усіх технологічних операцій беруться до уваги тільки ті, що однозначно характеризують той чи інший роздільний пункт (таблиця 8.1).

Операція M_{ij} визначається основним узагальнюючим параметром, який називається індексом $Ind(j)$, що об'єднує, крім основної, інші супутні операції. Наприклад, $Ind(4)$ (навантаження-вивантаження) включає подачу на пункт місцевої роботи, розстановку, збирання вагонів, прибирання на станцію, а також очікування виконання цих операцій; $Ind(11)$ – технічне обслуговування пасажирських составів місцевого сполучення (охоплює прибирання поїзда з пасажирського парку та перестановку в технічний парк або на технічну станцію, екіпірування, ремонт, відстій, подачу на посадку і т. д.).

Таблиця 8.1 – Перелік технологічних операцій на роздільних і зупинних пунктах

Найменування роздільних пунктів	Основні операції при обслуговуванні поїздопотоків													
	вантажного					пасажирського								
	транзитного			місцевого		дальнього			місцевого			приміського		
	пропускання	приймання без переробки	приймання з переробкою	навантаження-вивантаження	технічне обслуговування	пропускання	посадка-висадка	технічне обслуговування	пропускання	приймання	технічне обслуговування	пропускання	приймання	технічне обслуговування
Блокпост	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Прохідний світлофор	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Роз'їзд	+	>	<<	<<	-	+	-	-	+	<<	-	-	+	-
Обгінний пункт	+	-	-	-	-	+	-	-	-	<<	-	-	+	-
Проміжна станція	+	>	<<	<<	<<	+	-	<<	+	+	-	-	+	-
Дільнична станція	<<	>	+	+	+	+	-	+	+	+	<<	-	+	<<
Сортувальна станція	-	+	>>	+	+	+	-	-	+	<<	-	-	+	-
Вантажна станція	+	>	>>	>>	+	+	-	<<	+	+	-	-	+	-
Пасажирська станція	+	>	<<	<<	-	+	<<	>>	+	>>	+	-	>>	+
Пасажирська технічна станція	+	-	-	-	-	<<	+	-	<<	-	>>	<<	-	>>
Зупинний пункт	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
Індекс операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Роздільні пункти в таблиці 8.1 розташовуються в основному в порядку збільшення потужності колійного розвитку і технічного оснащення або складності технологічного виконання, крім зупинного пункту, який за визначенням роздільним пунктом не є, але має технічне оснащення (платформу) і виконує роботу з обслуговування приміських пасажирів. Знак «<<» вказує на незначний обсяг виконання даних операцій, символом «>>» відзначена переважна операція, «+» і «-» – відповідно наявність і відсутність певних технологічних операцій.

Набір ознак «+», «-», «>>», «<<» деяким чином ідентифікує тип роздільного пункту. Однак точну межу доцільної споруди певного P_k вказати досить складно через істотний вплив великої кількості факторів, які в конкретній ситуації можуть внести суттєві корективи в жорстку систему ідентифікації. Так, при деякому співвідношенні транзитного без переробки, з переробкою і місцевого потоків може виявитися доцільним проектування дільничної, сортувальної або вантажної станцій (навіть з урахуванням того, що кожен з перелічених роздільних пунктів спеціалізується на переробці одного потоку). Досить розмитою є межа між зонами проектування сортувальної з великим обсягом місцевої роботи і вантажної станціями. Аналогічні труднощі мають місце при ідентифікації роздільних пунктів з незначним обсягом роботи (роз'їздів, обгінних пунктів, проміжних станцій).

Інструктивні документи з проектування станцій і вузлів [5-7] не визначають однозначно вимоги і умови проектування того чи іншого роздільного пункту. Як правило, рекомендації мають досить невизначений характер, наприклад *«На роз'їздах мають бути запроєктовані пристрої, що забезпечують ... у необхідних випадках виробництво в невеликих обсягах вантажних і пасажирських операцій»*; *«На обгінних пунктах ... пристрої, що забезпечують у необхідних випадках виробництво пасажирських операцій»*; *«На проміжних станціях ... у необхідних випадках пристрої, що забезпечують екіпірування маневрових локомотивів»*; *«До дільничних слід відносити станції, основним призначенням яких є формування дільничних і збірних поїздів, обробка транзитних поїздів, зміна локомотивів, бригад ...»*; *«До сортувальних слід відносити станції, основною роботою яких є сортування вагонів за призначеннями ...»*; *«Пасажирські станції»*

слід проектувати для обслуговування міст з великою кількістю пасажирських поїздів, що починають і закінчують рух на цій станції ...».

І лише деякі інструктивні положення визначають сфери доцільного проектування пасажирських технічних і вантажних станцій: *«Для формування, очищення, ремонту, екіпірування і стоянки пасажирських составів і вагонів слід проектувати технічні парки при обробці чотирьох-п'яти составів кінцевого далекого сполучення на добу і технічні станції при більшій кількості составів».*

Реальний облік об'єктивних і суб'єктивних факторів, використання вітчизняного та світового досвіду проектування та експлуатації об'єктів залізничного транспорту допомагають проєктувальникам у пошуку ефективного варіанта структури, потужності колійного розвитку і технічного оснащення роздільного пункту. У цьому випадку використання експертного методу дозволить кількісно інтерпретувати зміст таблиці 8.1. При цьому увагу слід звернути на трансформацію в чисельний діапазон понять «незначний (значний) обсяг роботи», «переважна операція», «виконання технологічних операцій у деякому обсязі».

Для вирішення цього завдання можна оцінити загальні витрати часу на виконання операцій згідно з таблицею 8.1 за такою формулою:

$$T_i = \sum_{j=1}^b N_{ij} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c t_{ijk}, \quad (8.1)$$

де T_i – загальна тривалість виконання операцій на i -му роздільному пункту, год;

N_{ij} – кількість поїздів j -ї індексної операції i -го пункту;

t_{ijk} – тривалість виконання супутніх операцій з урахуванням k -х супутніх операцій категорії j .

Невизначеність вхідних параметрів, розмитість їхніх значень у межах деякого інтервалу не завжди дозволяють вирішити завдання ідентифікації типу роздільного пункту прямим експертним оцінюванням. Кожний вхідний параметр має свою вагу і значущість, що по-різному впливають на кінцевий результат. Вагові коефіцієнти змінюються в різних зовнішніх умовах.

8.2 Принципові схеми реалізації навчальних структур

Подібні завдання, як показує практика, досить однозначно алгоритмізуються в термінах теорії навчальних систем [18]. Формально навчальна система подається у вигляді множини пов'язаних між собою елементів A_i , кожен з яких має входи і вихід (рисунок 8.1).

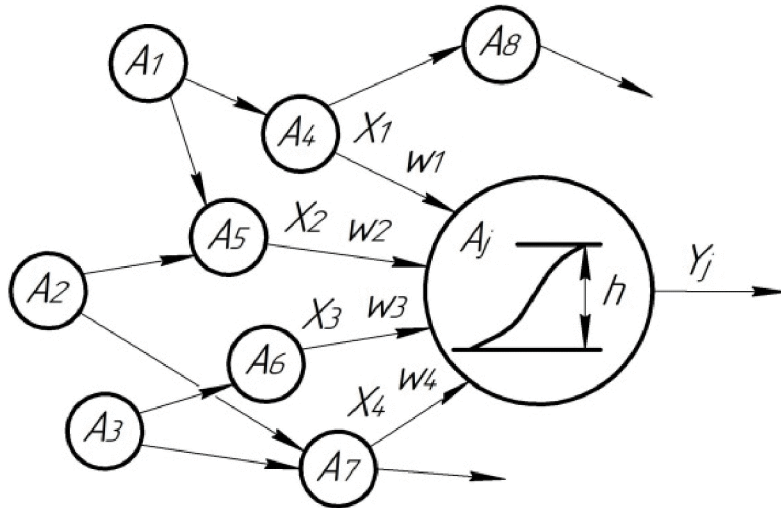


Рисунок 8.1 – Принципова схема функціонування навчальної мережі

Сигнал входу має деяку вагу ω_i , що визначає її внесок до загального значення вихідного сигналу Y , яке формується за допомогою передавальної функції. Як передавальна функція використовується вираз

$$Y = \sum_i x_i \omega_i. \quad (8.2)$$

Вихідний сигнал елемента A_j набуває певного значення, яке розцінюється як показник на тип роздільного пункту, що проєктується, залежно від перевищення Y деякого порога h_k , тобто:

$Y =$ «роз'їзд», якщо $h_{k-1} \leq x_i \omega_i < h_k$;

$Y =$ «проміжна станція», якщо $h_k \leq x_i \omega_i < h_{k+1}$;

$Y =$ «дільнична станція», якщо $h_{k+1} \leq x_i \omega_i < h_{k+2}$;

$Y =$ «сортувальна станція», якщо $h_{k+2} \leq x_i \omega_i < h_{k+3}$ і т. д.

Отже, елемент A_j , що приймає сигнали від вхідних рецепторів x_i , формує вихідний імпульс Y за певним правилом. Значення порівнюються з граничною величиною h_j , де j – номер ідентифікованого роздільного пункту. Знаходиться таке h_j , що $h_{j-1} \leq x_i \omega_i < h_j$.

Оскільки всі вузлові точки h_j проіндексовані (тобто їм зіставлені відповідні найменування роздільних пунктів), то h_{j-1} може вказувати на шуканий тип станції (роз'їзд, обгінний пункт, зупинний пункт тощо). З огляду на специфіку обробки вантажних і пасажирських поїздів на стадії передачі вхідних сигналів через A , вихідні дані за цими категоріями составів поділяють і направляють на субелементи A_{11} і A_{21} . При формуванні відповідних сигналів $(x_i \omega_i)_{ван}$ і $(x_i \omega_i)_{пас}$ відбувається їх порівняння з граничними значеннями h_{ij} .

Після розроблення структури цю мережу необхідно навчити. Це означає, що вагові коефіцієнти ω_i мають бути так підібрані, щоб при певних вхідних параметрах x_i на виході ідентифікувався тип роздільного пункту Y , що не суперечить висновкам експерта і досвіду практики. Навчання відбувається шляхом вирішення ряду завдань з різними x_i , завдання значень ω_i і оцінювання результату передавальної функції $f(x_i \omega_i)$.

9 Розроблення техніко-технологічного забезпечення поїздопотоків у системах автоматизованого проєктування залізничних станцій

План

9.1 Принципова модель взаємодії структури колійного розвитку і технологічних операцій.

9.2 Формування матриці сполучення технологічних операцій і елементів колійного розвитку.

9.3 Вибір структури схемотворюючих технологічних операцій.

9.1 Принципова модель взаємодії структури колійного розвитку і технологічних операцій

Для ефективного виконання технологічних операцій на станції необхідно запроєктувати взаємопов'язаний комплекс технічних пристроїв і споруд. З огляду на той факт, що технологічні лінії обслуговування поїздопотоків різних призначень можуть бути суміщені з відповідним технічним оснащенням, можна визначити цілий ряд трансформаційних структур, які переводять деяким чином операції в колійний розвиток. З точки зору автоматизації проєктування залізничних станцій, такий підхід може забезпечити генерацію варіантних схемних рішень R_j , що реалізують виконання заданого набору технологічних операцій G_j . При цьому слід відзначити, що множина G_j породжує R_j ($G_j \rightarrow R_j$). Однак у загальному випадку зворотна відповідність порушується, оскільки на одному і тому самому колійному розвитку можуть бути виконані різні послідовності технологічних операцій. Тому акцентуємо увагу на завданні знаходження алгоритму трансформації множини G_j в R_j . Пов'язана система $G_j \rightarrow R_j$ інтерпретується як структура, що визначає зміст техніко-технологічного макрооб'єктами проєктування. Елементна база цієї системи досить складна і різнотипна. З її складу можна виділити чотири класи підмножин $G_{ik} \rightarrow R_{js}$ з різним ступенем зв'язку:

1) P_1 – сильно пов'язані (приймання транзитного поїзда непарного напрямку та спеціалізована колія парку приймання для вантажних поїздів непарного напрямку, відправлення приміського поїзда парного напрямку і спеціалізована колія пасажирського парку, витягування состава з парку приймання і витяжна колія, вивантаження вагонів і вантажно-розвантажувальна колія);

2) P_2 – слабо пов'язані (подача групи вагонів на під'їзну колію і витяжна колія станції, відстій локомотивів в очікуванні подачі під состав і спеціалізована колія парку відправлення, перестановка вагонів під здвоєні операції на вантажному районі і вантажно-розвантажувальна колія);

3) P_3 – незв'язані (подача поїзного локомотива під состав і спеціалізована колія парку відправлення вантажних поїздів,

екіпірування поїзного локомотива і спеціалізована колія для приймання пасажирських поїздів);

4) P_4 – заборонені (приймання пасажирського поїзда і витяжна колія, ремонт поїзного локомотива і спеціалізована колія для приймання пасажирських поїздів, навантаження вагонів і колія сортувального парку).

Логічною схемою подальшого розвитку ідеї ототожнення елементів станції з технологічним змістом є розроблення моделі виконання послідовності операцій з прив'язкою до певного технічного оснащення. Цей процес імітує розвиток колійної схеми в міру обслуговування поїздопотоків різних категорій. Швидкість формування станційної структури в загальному випадку виявляється менше швидкості виконання технологічних операцій через повторне або багаторазове використання одних і тих самих елементів R_{js} для різних G_{ik} .

9.2 Формування матриці сполучення технологічних операцій і елементів колійного розвитку

Основною метою формування відображень $G_i \rightarrow R_j$ є визначення класів непересічних відносин P_i , що регламентують (P_1), рекомендують (P_2), допускають (P_3) або виключають (P_4) зв'язки різних технологічних операцій і колійного розвитку при виконанні такої операції. Семантика відносин P_i характеризує ймовірність приналежності зв'язку $R_{js} \leftarrow G_{ik}$ до певного конкретного типу.

Нехай на деякий роздільний пункт A надходять X_i поїздів i -ї категорії ($i = 1$ – пасажирські, $i = 2$ – приміські, $i = 3$ – вантажні транзитні з відчепленням груп, $i = 4$ – збірні). Крім того, здійснюється робота на вантажному районі і під'їзній колії, що примикає, з можливістю виконання здвоєних операцій. Всю станційну роботу здійснює маневровий локомотив, приписаний до цієї станції. За складом робіт необхідно визначити відповідні пов'язані підмножини $G_{ik} \subseteq G_i$ і $R_{js} \subseteq R_j$.

Належність бінарного відношення ($G_{ikn} P_w R_{jsm}$) до ω -го класу визначається експертним способом, використовуючи досвід проектування ефективних структур колійного розвитку станцій.

Склад підмножин, що формуються, фіксують відповідними зв'язками P_w згідно з таблицею 9.1.

Визначимо ланцюги послідовності технологічних операцій, пов'язаних переходами P_i . Для прикладу, що пропонується, варіантні графи мають такі види, як на рисунку 9.1.

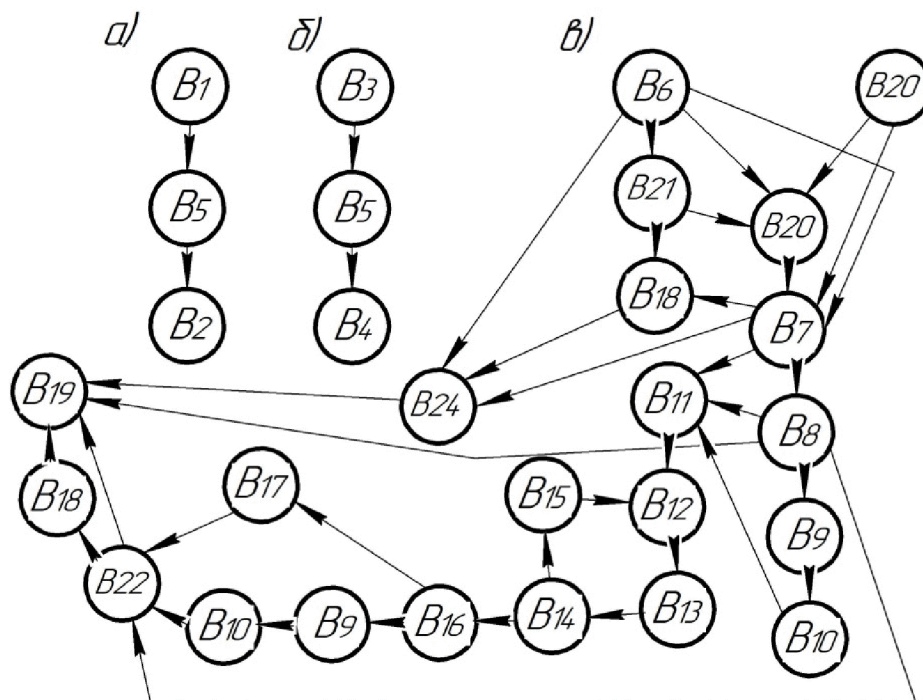


Рисунок 9.1 – Графи варіантів обслуговування поїздопотоків різних категорій на станції А: пасажирські (а); приміські (б); вантажні (в)

Вершини зображених на рисунку графів вказують на місце виконання операцій. Тому можна ідентифікувати подію B_i як причину, що призводить до необхідності створення деякої форми U_j , що являє собою об'єкт колійного розвитку. Отже, можна перейти від графів варіантів обслуговування поїздопотоків до структури схемного рішення, що заміщується. Операція заміщення може бути проведена з використанням матриці зв'язків (таблиця 9.1). Належність до класу P_i розглядається як імовірність виконання операції G_{ikm} на певному колійному розвитку R_{jsn} .

Таблиця 9.1 – Матриця зв'язків технологічних операцій і паркових елементів

Перелік технологічних операцій	Елемент колійного розвитку станції							
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
	Спеціалізована колія приймання пасажирських поїздів	Спеціалізована колія приймання вантажних поїздів	Витяжна колія	З'єднувальна колія	Технологічний тупик	Вантажно-розвантажувальна колія	Виставочна колія	Сортувальна колія
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Приймання пасажирського поїзда (B_1)	P_1	P_3	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Відправлення пасажирського поїзда (B_2)	P_1	P_3	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Приймання приміського поїзда (B_3)	P_1	P_3	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Відправлення приміського поїзда (B_4)	P_1	P_3	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Посадка і висадка пасажирів (B_5)	P_1	P_3	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Приймання транзитного поїзда (B_6)	P_3	P_1	P_4	P_3	P_4	P_4	P_4	P_4
Відчеплення групи вагонів (B_7)	P_4	P_1	P_3	P_3	P_3	P_3	P_3	P_2
Перестановка групи на іншу колію (B_8)	P_4	P_1	P_1	P_2	P_3	P_1	P_1	P_2
Витягування на витяжну колію (B_9)	P_4	P_1	P_1	P_2	P_2	P_3	P_3	P_1
Розформування (B_{10})	P_4	P_1	P_1	P_2	P_2	P_3	P_3	P_1
Подача на під'їзну колію (B_{11})	P_4	P_2	P_2	P_2	P_3	P_1	P_1	P_3

Продовження таблиці 9.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Розстановка на під'їзній колії (B_{12})	P_4	P_3	P_3	P_1	P_3	P_1	P_2	P_3
Вантажна операція (B_{13})	P_4	P_3	P_4	P_2	P_3	P_1	P_3	P_3
Збирання на під'їзній колії (B_{14})	P_4	P_3	P_4	P_3	P_3	P_1	P_3	P_3
Здвоєні операції (B_{15})	P_4	P_3	P_2	P_2	P_3	P_1	P_1	P_3
Перестановка вагонів у парк (B_{16})	P_4	P_2	P_2	P_2	P_3	P_1	P_3	P_1
Перестановка під поїзд (B_{17})	P_4	P_1	P_3	P_2	P_4	P_3	P_3	P_1
Причеплення локомотива (B_{18})	P_4	P_1	P_3	P_2	P_3	P_3	P_3	P_2
Відправлення поїзда (B_{19})	P_4	P_1	P_4	P_2	P_4	P_4	P_4	P_2
Приймання збірною поїзда (B_{20})	P_4	P_1	P_4	P_2	P_4	P_3	P_3	P_3
Відчеплення локомотива (B_{21})	P_4	P_1	P_3	P_2	P_3	P_3	P_3	P_3
Відчеплення маневрового локомотива (B_{22})	P_4	P_1	P_1	P_2	P_2	P_3	P_3	P_3
Причеплення маневрового локомотива (B_{23})	P_4	P_1	P_1	P_2	P_1	P_2	P_2	P_2
Очікування операції (B_{24})	P_1	P_1	P_1	P_2	P_1	P_1	P_1	P_1

9.3 Вибір структури схемоутворюючих технологічних операцій

Для обслуговування вантажного руху по станції А виділяємо такі технологічні лінії (рисунок 9.1):

1) приймання і відправлення транзитних поїздів (схрещення і обгін) $B_6 \rightarrow B_{24} \rightarrow B_{19}$;

2) приймання і відправлення транзитних поїздів з перечепленням поїзного локомотива $B_6 \rightarrow B_{21} \rightarrow B_{18} \rightarrow B_{24} \rightarrow B_{19}$;

3) приймання і відправлення транзитних поїздів з переломом маси:

а) з перестановкою відчепленої групи на іншу колію:

– відчеплення з голови состава поїзним локомотивом
 $V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{19}$;

– відчеплення з хвоста состава маневровим локомотивом:

• без перечеплення поїзного локомотива

$V_6 \rightarrow V_{23} \rightarrow V_7 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{19}$;

• з перечепленням поїзного локомотива

$V_6 \rightarrow V_{21} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_7 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{19}$;

б) розформуванням відчепленої групи і подачею на під'їзну колію

$V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_9 \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{11} \rightarrow V_{12} \rightarrow V_{13} \rightarrow V_{14} \rightarrow V_{16} \rightarrow V_9 \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{19}$.

Слід розглядати не всі технологічні операції, а тільки схемоутворюючі. Отже, фіксувати необхідно тільки переходи S_{xyz} , пов'язані з переміщенням рухомого складу.

Класифікаційна таблиця 9.2 охоплює укрупнений ряд технологічних операцій, що генерують колійний розвиток.

Окремі операції є прерогативою колій, інші виконуються з зайняттям тільки горловин, треті потребують використання і колій, і горловин. За цією ознакою виділяємо класифікаційну структуру підмножин G_i , що формуються за ознакою зовнішнього вигляду колійного розвитку, на якому виконуються технологічні операції з поїздами різних категорій.

Таблиця 9.2 – Перелік схемоутворюючих технологічних операцій

Найменування операції	Колійний розвиток, що генерується
<i>1</i>	<i>2</i>
Приймання поїзда	Колія приймання
Прибирання поїзного локомотива	З'єднувальна колія, ходова колія, колії відстоювання, екіпірування, ремонту
Подавання маневрового локомотива	Витяжна, з'єднувальна, ходова колія
Витягування состава	Витяжна, з'єднувальна колія
Розформування	Сортувальні колії

Продовження таблиці 9.2

<i>1</i>	<i>2</i>
Подавання (забирання) на вантажний район (під'їзну колію)	Колії вантажного району (під'їзної колії)
Перестановка рухомого складу	Виставочна колія, колії відстоювання, екіпірування, ремонту
Відправлення поїзда	Колії відправлення

Залежно від состава поїзда, що прибуває на станцію, виконується той чи інший ряд технологічних операцій. Випадковість такого процесу вказує на можливість використання як апарату математичного опису марківських ланцюгів [19]. Вважаємо, що перехід до наступної $(i+1)$ -ї операції визначається деяким імовірнісним параметром P_{i+1} і залежить тільки від попереднього стану. Передісторія досягнення такого стану (кроки $i-1, i-2, i-3...$) жодним чином не впливає на подальший розвиток процесу, а залежить виключно від досягнутого рівня i і ймовірності переходу P_{i+1} до рівня $(i+1)$.

Незалежно від імовірності переходу до наступної технологічної операції розвивати схему слід в усіх напрямках P_{ij} , що виходять зі стану K_i . Технічне оснащення станції має забезпечувати проведення будь-якої операції, необхідність якої може наступити з будь-якою ймовірністю $P_{ij} > 0$. І якщо в цій конкретній реалізації марківського ланцюга переходів формується певний набір операцій, то в іншій реалізації (тобто при обслуговуванні іншого состава вантажного поїзда) може виникнути інша ситуація з альтернативним набором операцій.

Отже, імовірнісний ланцюг технологічних операцій тягне за собою фіксований набір схемних рішень, що впливають з необхідності виконання всіх технологічних операцій. Тому усічений граф схемоутворюючих станів марківського ланцюга прийнято за конструктивну основу генерації колійного розвитку роздільного пункту, що забезпечує обслуговування вантажних поїздів, що прибувають.

Програмне проєктування колійного розвитку на основі аналізу процесу виконання технологічних операцій значно спрощується, якщо використовуються готові блоки горловин, парків і цілих станцій, за допомогою яких конструюється необхідна схема. Такий підхід знімає ряд складних проблем,

пов'язаних з укладанням та ув'язкою розрахункової кількості колій для приймання певної кількості поїздів. Однак застосування шаблонних конструкцій має бути аргументовано певними вимогами, умовами, правилами, нормами і т. д. У відповідній базі даних САПР необхідно зберігати множини подібних об'єктів. І чим більше збірних елементів у конструкції (колій, стрілочних переводів і т. д.), тим більше різновидів цих конструкцій має перебувати в базі даних.

10 Основи формалізованого подання об'єктів систем автоматизованого проєктування залізничних станцій

План

10.1 Загальна схема формування площини з контрольними точками.

10.2 Характеристика контрольних точок площини.

10.3 Базові операції у просторі точок площини.

10.4 Алгоритм формування структур колійного розвитку і технологічного змісту в просторі об'єктів.

10.1 Загальна схема формування площини з контрольними точками

Оскільки будь-яка схема роздільного пункту може бути відтворена за координатами контрольних точок окремих елементів проєктування, то можна скористатися площиною (β -площина), на яку переносяться всі значущі вузли колійного розвитку станції, зображеної на робочому кресленні (α -площина). Причому контрольні точки успадковують властивості елемента, до якого вони належать (рисунок 10.1).

Виділяється чотири категорії контрольних точок, що мають принципову відмінність і містять різну інформацію:

– коагулятивні вузли R_1 (координати центрів стрілочних переводів, сигналів, граничних стовпчиків);

– вихідні точки, що фіксують границі стрілочного переводу R_2 . При цьому суміжні елементи мають точки, що перекриваються і на β -площині вироджуються в елемент з адитивними характеристиками батьківських точок;

- опорні точки, що визначають початок, кінець кривої і вершину кута повороту R_3 ;
- гравіметричні точки, що відображують положення центра ваги елемента з однорідною планарною або просторово розподіленою структурою (прямих, площадки і склади для вантажів, пасажирські платформи) R_4 .

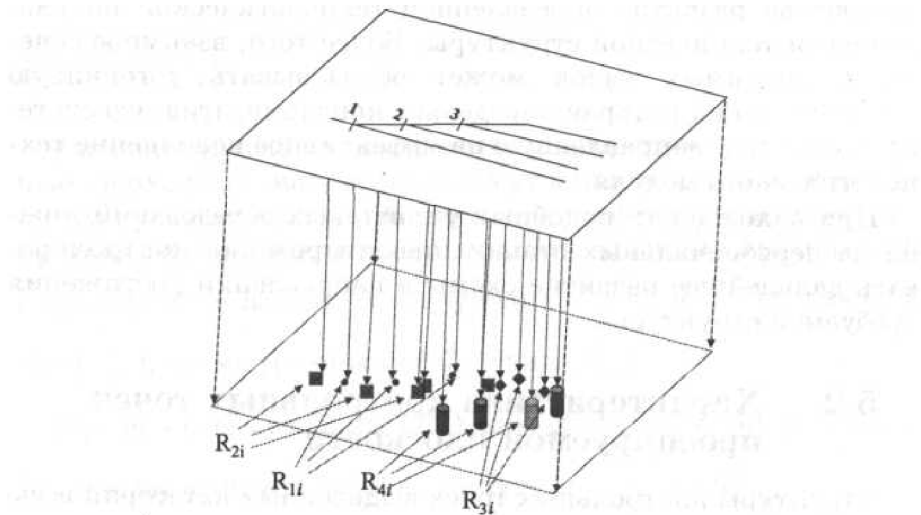


Рисунок 10.1 – Схема трансформації контрольних точок колійного розвитку на β -площину

10.2 Характеристика контрольних точок площини

Класифікаційна структура всіх контрольних точок β -площини подана в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Характеристика контрольних точок β -площини

Категорія точки	Об'єкт категорії	Аргумент об'єктів
1	2	3
Коагулятивні R_1	Стрілочний перевід R_1^1	Марка r_{11}^1
		Тип рейки r_{12}^1
		Номер епюри r_{13}^1
		Сторонність r_{14}^1
		Кут r_{15}^1
	Сигнал R_1^2	Призначення r_{11}^2
		Схема установки r_{12}^2
		Вид r_{13}^2
	Граничний стовпчик R_1^3	

Продовження таблиці 10.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	
Вихідні R_2	Вихідні R_2^1	Номер точки r_{21}^1	
		Фантомна ознака r_{22}^1	
Опорні R_3	Початок кривої R_3^1	Кут дотичної r_{31}^1	
	Кінець кривої R_3^2	Кут дотичної r_{31}^2	
	Вершина кута повороту R_3^3		Тип рейки r_{31}^3
			Радіус кривої r_{32}^3
			Орієнтація кривої r_{33}^3
			Наявність перехідної кривої r_{34}^3
		Призначення колії r_{35}^3	
Гравіметричні R_4	Пряма ділянка колії R_4^1	Довжина r_{41}^1	
		Тип рейки r_{42}^1	
		Призначення r_{43}^1	
	Платформа R_4^2		Призначення r_{41}^2
			Довжина r_{42}^2
			Ширина r_{43}^2
	Склади R_4^3		Призначення r_{41}^3
			Довжина r_{42}^3
			Ширина r_{43}^3
			Висота r_{44}^3
			Додатковий ідентифікатор r_{45}^3
	Інші пристрої R_4^4		Призначення r_{41}^4
			Довжина r_{42}^4
			Ширина r_{43}^4
			Висота r_{44}^4
Додатковий ідентифікатор r_{45}^4			

10.3 Базові операції у просторі точок площини

Основними діями у просторі моделі є:

- додавання (\oplus -операція);
- породження (\otimes -операція);

- погашення ($\langle \times \rangle$ -операція);
- віднімання (\lrcorner -операція);
- доповнення (\lhd -операція);
- сполучення (\Uparrow -операція);
- деформація (\circ -операція);
- лонгування (\Leftrightarrow -операція).

Під складанням розуміється конкатенація двох модулів проєктування, що веде до появи загальної точки сполучення. Вважаємо, що вхідна точка приєднуваного $(p+1)$ -го елемента покриває вихідну точку існуючого p -го елемента. Результатом \oplus -операції є інтегрований об'єкт з закріплюваною структурою складових його елементів. Доцільно збереження таких параметрів, як тип рейки, марка хрестовини, радіус кривої, оскільки непомітність властивостей всередині одержуваного об'єкта призвела б до неможливості повернення до попереднього кроку проєктування.

Операція породження (\otimes) є інтраполярною дією, що виникає спонтанно, не в результаті приєднання нового елемента, а лише остільки, оскільки стрілочний перевід і криволінійна дільниця колії вибираються як модуль проєктування з бази і поміщаються в певну робочу область екрана дисплея.

У зв'язку з необхідністю виключення зі схеми одного або декількох сигналів вводиться операція погашення ($\langle \times \rangle$) (ластик-операція) формалізованого об'єкта R_{1ij}^2 .

Операція віднімання (\lrcorner) характеризує виключення p -го модуля з існуючої структури запроєктованого колійного розвитку.

Результатом віднімання може бути формування нової станційної структури з закріпленням точок обриву (виняток першого роду) або реалізація схеми стягування розірваних об'єктів і ліквідації наслідків операції виключення модуля проєктування (виняток другого роду). В останньому випадку рішення може бути успішним (стягування наступного $(p+1)$ -го модуля в точку обриву попереднього $(p-1)$ -го без висячих точок), частково успішним (стягування зі зменшенням кількості висячих точок) і безуспішним.

Операція доповнення (\lhd) застосовується при проєктуванні різних пристроїв, образи яких подаються гравіметричними точками.

Відмінною особливістю цієї операції є опосередкований зв'язок з колійним розвитком. При спорудженні платформ, складів відсутній прямий контакт з іншими R_i .

Операцію сполучення (\Uparrow) можна віднести до специфічного прояву операції породження нових об'єктів. Результатом сполучення двох елементів є криволінійна ділянка колії з можливими прямими вставками, що забезпечують дотичне з'єднання об'єктів, що сполучаються.

Важливою властивістю цієї операції є маніпуляція об'єктами як гумовими нитками. Ділянки, що з'єднуються, буквально натягуються на віртуальний криволінійний шаблон, забезпечуючи плавну зміну кута повороту.

Операція деформації (\circ) пов'язана зі зміною місця розташування об'єктів при збереженні їхніх топологічних ознак. Така дія пов'язана з відніманням об'єктів. При деструктуризації схеми і проведенні операції виключення другого роду усунення обриву колійного розвитку стає можливим завдяки переміщенню наступного (і пов'язаних з ним) об'єкта в точку зниклого елемента. Якщо зниклим є стрілочний перевід, то операція деформації може не проводитися, а місце, що звільнилося, займається ділянкою прямої або криволінійної колії.

Операція лонгування (\Leftrightarrow) служить для обчислення відстані між точками. Ця операція не пов'язана зі зміною схеми колійного розвитку, проте часто використовується при оцінюванні різних варіантів приєднання нових елементів до існуючої структури. Відстань можна обчислювати не тільки між фіксованими точками центрів стрілочних переводів, сигналів і граничних стовпчиків, а й між гравіметричними колапс-елементами.

10.4 Алгоритм формування структур колійного розвитку і технологічного змісту в просторі об'єктів

При виборі модулів проєктування з бази вихідних елементів паралельно формуються дві моделі схеми роздільного пункту: геометрична – у площині креслення на екрані дисплея і абстрактна – β -площині. За допомогою проведення ряду операцій, визначених для об'єктів, практично в непомітному для проєктувальника режимі можна проводити досить складний аналіз одержуваної

структури і оперативно підказувати користувачу доцільні напрями подальшого розвитку структури, а також виконувати інші дії щодо уточнення схеми, автоматичного усунення дрібних огріхів і помилок проєктувальника тощо [20].

Розглянемо три послідовні етапи розвитку деякої стрілочної структури (рисунок 10.2).

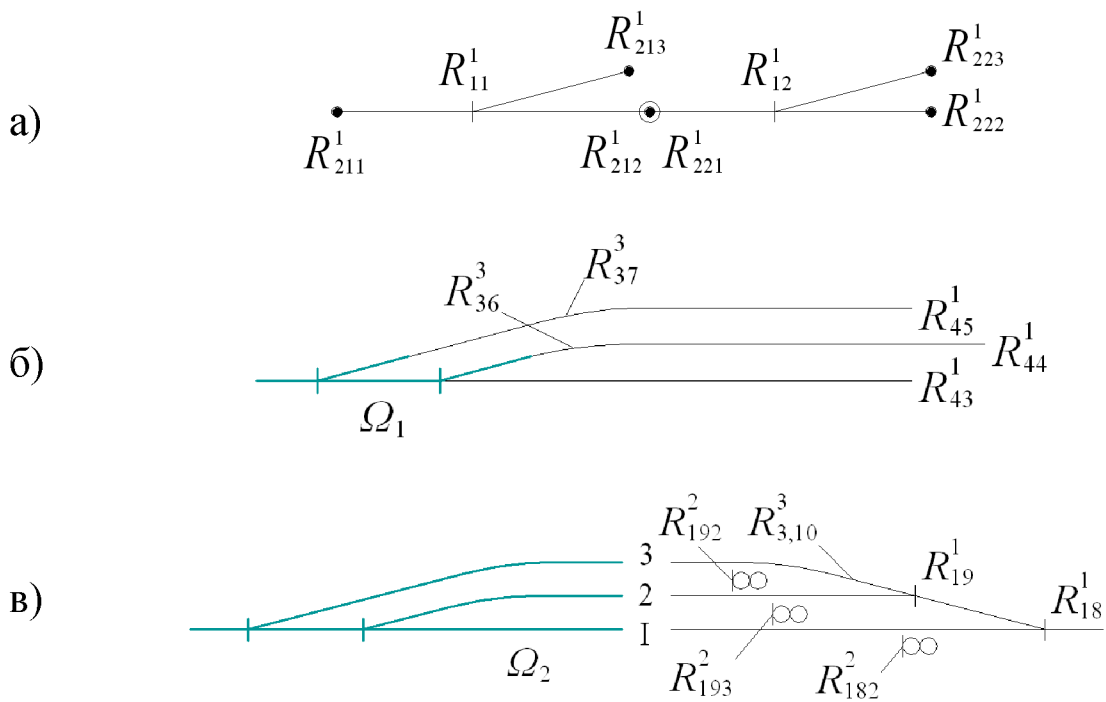


Рисунок 10.2 – Модельне подання розвитку паркової структури: горловина (а); колії парку (б); парк станції (в)

З'єднання двох стрілочних переводів породжує композиційний об'єкт Ω_1 , що включає вихідні точки, граничні стовпчики і сигнали:

$$\Omega_1 = \left\{ (R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \otimes_{i=1}^3 (R_{11i}^2, R_{12i}^2) \right\} \text{ (породження сигналів);}$$

$$(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \otimes (R_{11}^3, R_{12}^3) \text{ (породження граничних стовпчиків);}$$

$$R_{11}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{21i}^1, R_{12}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{22i}^1 \text{ (породження вихідних точок);}$$

$$(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \langle \times \rangle (R_{212}^1, R_{221}^1) \text{ (погашення вихідних точок);}$$

$$(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \langle \times \rangle_{i=1}^3 (R_{11i}^2, R_{12i}^2) \left. \right\} \text{ (погашення сигналів).}$$

Для виконання операції погашення елементів (у цьому випадку вихідних точок № 2 STR1 і № 1 STR2) необхідно визначити номери точок, що приєднуються і є аргументами R_{11}^1 і R_{12}^1 . Для прикладу рисунка 10.2, а

$$R_{11}^1(r_{161}^1)=2; R_{12}^1(r_{162}^1)=1; \langle \times \rangle (R_{21}^1(r_{161}^1); R_{22}^1(r_{162}^1)).$$

Слід звернути увагу на те, що з'єднання ($R_{11}^1 \oplus R_{12}^1$) передбачає коректне взаємне розташування суміжних стрілочних переводів. Можливе автоматичне розпізнавання схеми з'єднання з аналізу $R_{11}^1 r_{161}^1$ та $R_{12}^1 r_{162}^1$ з подальшим фоновим розрахунком довжини прямих вставок між переводами. Тому \oplus -операція неявно передбачає зв'язок об'єктів відповідно до норм проєктування.

Нехай подальше нарощування структури Ω_1 полягає в послідовному з'єднанні об'єктів $R_{43}^1, R_{44}^1, R_{45}^1$ і сполученні R_{11}^1 і R_{45}^1 ; R_{12}^1 і R_{44}^1 . Формалізований запис операцій у прийнятій нотації виглядає як

$$\Omega_1 = \{ \Omega_1 \oplus R_{43}^1; R_{44}^1, R_{45}^1 \text{ (приєднання колій до структури } \Omega_1);$$

$R_{37}^3 = R_{11}^1 \uparrow R_{45}^1, R_{36}^3 = R_{12}^1 \uparrow R_{44}^1$ (формування вершин кутів повороту);

$$R_{37}^3 \otimes_{i=1}^2 R_{37}^i, R_{36}^3 \otimes_{i=1}^2 R_{36}^i \} \text{ (породження початку і кінця кривих).}$$

Отриманий інтегрований об'єкт Ω_1 може бути підданий аналізу з точки зору ефективності з'єднання елементів.

Структура Ω_1 , що складається з семи модулів проєктування, являє собою досить складну систему елементів, що має значні технологічні можливості. Оскільки $R_{43}^1(r_{433}^1) = \langle \text{«головний»}$, $R_{43}^1(r_{433}^1) = \langle \text{«непарний»}$ (рисунок 10.2, б), то погашається сигнал, встановлюваний біля вихідної точки № 1 STR2: $\langle \times \rangle R_{12}^2$.

Операції в проєктивній площині активізуються при з'єднаннях: $R_{4i}^1 \oplus R_{4j}^1$ (стрілочний перевід і пряма ділянка колії); $R_{3i}^1 \oplus R_{4j}^1$ (криволінійна і пряма ділянки колії).

Елементом-катализатором, як правило, є ділянка колії, що має певні технологічні ознаки («призначення» r_{43i}^1 і «спеціалізація» r_{44i}^1). Однак ізольований R_{4j}^1 не несе істотного технологічного

навантаження і лише в поєднанні з іншими модулями проектування починає наповнювати схему конкретним змістом.

Нехай інтегральна форма Ω_1 розвивається як об'єкт, зображений на рисунку 10.2, в. Приєднання R_{18}^1 до R_{43}^1 відбувається після деформації останнього об'єкта до стандартної корисної довжини колії. Формалізований запис операцій третього етапу розвитку структури колійного розвитку має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \Omega_1 = & \{R_{18}^1 \oplus (R_{43}^1 \circ (r_{413}^1 = l_{кор}))\} \text{ (приєднання } R_{18}^1 \text{ до } R_{43}^1, \text{ де } R_{43}^1 \text{ є} \\ & \text{елементом сформованого об'єкта } \Omega_1 \text{ на другому етапі);} \\ & (R_{19}^1 \oplus R_{18}^1) \otimes_{i=1}^3 (R_{19i}^2, R_{18i}^2) \text{ (породження сигналів);} \\ & (R_{19}^1 \oplus R_{18}^1) \otimes (R_{19}^3, R_{18}^3) \text{ (породження граничних стовпчиків);} \\ & R_{19}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{29i}^1, R_{18}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{28i}^1 \text{ (породження вихідних точок);} \\ & (R_{19}^1 \oplus R_{18}^1) \langle \times \rangle (R_{283}^1, R_{291}^1) \text{ (погашення вихідних точок);} \\ & (R_{19}^1 \oplus R_{18}^1) \langle \times \rangle (R_{191}^2, R_{181}^2, R_{183}^2) \text{ (погашення сигналів);} \\ & R_{44}^1 \circ (r_{414}^1 = l_{кор}) \text{ (деформація колії до стандартної корисної} \\ & \text{довжини);} \\ & R_{3,10}^3 = R_{45}^1 \uparrow R_{19}^1 \text{ (формування вершини кута повороту);} \\ & R_{3,10}^3 \otimes (R_{3,10}^1, R_{3,10}^2) \} \text{ (породження початку і кінця кривої).} \end{aligned}$$

Ряд операцій на проєктивній площині виконується у фоновому режимі. При деформації R_{44}^1 до стандартної корисної довжини порушується зв'язок R_{43}^1 з R_{18}^1 . Тому $R_{43}^1 \circ (r_{413}^1 = l_{нол} + \Delta l)$ впливає з $R_{44}^1 \circ (r_{414}^1 = l_{нол})$. Більш того, абстрактна модель має аналізувати ситуацію з елементами $R_{37}^1, R_{45}^1, R_{3,10}^2$, які генерують приймально-відправну колію 3, що забезпечує приймання поїздів непарного напрямку. Аналогічна проблема виникає з R_{36}^1 і R_{44}^1 , які трансформуються в приймально-відправну колію 2. Коректна техніко-технологічна структура формується в результаті такої послідовності операцій:

$$L_3 = R_{11}^3 \Leftrightarrow R_{192}^2 \text{ – відстань між граничним стовпчиком стрілочного переводу } R_{11}^3 \text{ і вихідним сигналом, що встановлено перед переводом } R_{19}^1 \text{ (корисна довжина колії 3);}$$

$L_2 = R_{12}^3 \Leftrightarrow R_{193}^2$ – відстань між граничним стовпчиком стрілочного перевodu R_{12}^1 і вихідним сигналом, що встановлено перед перевodom R_{19}^1 (корисна довжина колії 2);

$L_I = R_{12}^3 \Leftrightarrow R_{182}^2$ – відстань між граничним стовпчиком стрілочного перевodu R_{12}^1 і вихідним сигналом, що встановлено перед перевodom R_{18}^1 (корисна довжина колії 1);

$$\min(L_3, L_2, L_1) \circ (r_{41i}^1 = l_{кор}).$$

Остання дія вказує на пов'язану операцію деформації, тобто розтягнення або стиснення $\min(L_3, L_2, L_1)$ веде за собою паралельне зміщення всієї структури елементів R_{18}^1 , R_{19}^1 , $R_{3,10}^3$ і усіх породжуваних ними об'єктів (сигналів, граничних стовпчиків та ін.). Отже, формується модуль проєктування більш високого рівня інтеграції – парк станції.

Питання для самоконтролю

- 1 Опишіть етапи розвитку автоматизованого проєктування залізничних станцій.
- 2 Охарактеризуйте можливості пакетів автоматизованого проєктування залізничних станцій.
- 3 Класифікація проєктних вимог інструктивних вказівок для проєктування станцій.
- 4 Основні етапи в технології проведення вишукувальних робіт.
- 5 Технологічні правила цифрового формування стрілочної горловини.
- 6 Класифікація стрілочних горловин за рівнем складності.
- 7 Основні принципи формування ΣX -тензорів колійного розвитку.
- 8 Класифікація елементів у маршрутах цифрового проєктування залізничних станцій.
- 9 Назвіть ключові положення техніко-технологічних структур САПР.
- 10 Принципи формування моделі взаємодії структури колійного розвитку і технологічних операцій на станціях.
- 11 Класифікація ступенів зв'язку елементів у моделі взаємодії структури колійного розвитку і технологічних операцій на станції.
- 12 Критерії відповідності потужності технічного оснащення станції абстрактному об'єкту в цифровому моделюванні роздільних пунктів.
- 13 Категорії контрольних точок у площині при формалізованому поданні елементів колійного розвитку.
- 14 Охарактеризуйте базові дії у просторі точок площини при побудові алгоритму структур колійного розвитку.
- 15 Принципи нарощування структур колійного розвитку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Белкін Д. І. Основи проектування. Рубіжанський філіал СНУ імені Володимира Даля. Луганськ, 2003. 475 с.
- 2 Годін Е. М., Харнайсов К. З., Сокольський М. Л. Системи автоматизованого проектування та основи управління виробництвом: навч. посіб. Миколаїв: МАІ, 2004. 680 с.
- 3 Матвійків О. М., Ткаченко С. О., Хаханов В. В. Інженерне проектування складних об'єктів і систем: навч. посіб. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2012. 261 с.
- 4 Вернигора Р. В., Малашкін В. В. Комплексна оцінка конструкції колійного розвитку залізничних станцій на основі методів теорії прийняття рішень. *Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. Вип. 3. С. 25-30.
- 5 ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування: на заміну СНиП II-39-76; чинний з 26.01.2008 р. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 122 с.
- 6 Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: затв. Мінтрансзв'язку України від 31.08.2005 р.; чинна з 01.04.2006 р. Київ, 2005. 229 с.
- 7 ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування: затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 р.; замість ВСН 207-89/МПС СССР : чинні від 01.03.2013 р. Київ, 2012. 112 с.
- 8 Вергун О. Ф., Липовець Н. В., Боголій В. М. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036: навч.-метод. посіб. Київ: Транспорт України, 2002. 376 с.
- 9 ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва: на заміну СНиП 1.02.07-87; чинний з 01.07.2008 р. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 74 с.
- 10 Малашкін В. В. Система автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2015. № 14 (1123). С. 106-113.
- 11 Залізничні станції та вузли: навч. посіб. / за заг. ред. І. В. Берестова. Харків: Видавничий Дім Райдер, 2012. 464 с.

12 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування ГБНВ.2.3-37472062-1:2012. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2012. 112 с.

13 Яновський П. О., Стрелко О. Г. Технологія роботи залізничних станцій і вузлів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2004. 381 с.

14 Наумчук О. М. Основи систем автоматизованого проектування: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне: НУВГП, 2008. 136 с.

15 Бобровський В., Козаченко Д., Вернигора Р. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків, 2004. Вип. 62. С. 20-25.

16 Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ: Видавнича група ВНУ, 2005. 349 с.

17 Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті / Міністерство транспорту України, Укрзалізниця. Київ, 2005. 81 с.

18 Kuckelberg A. Graph Databases and Railway Operations Research Requirements. *CEUR Workshop Proceedings*. 2015. Vol. 1330. P. 183-188.

19 Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика: навч. посіб. Київ: Київський університет, 2008. 504 с.

20 Козлов А. П., Кринецький М. І. Основи систем автоматизованого проектування: конспект лекцій. Київ: НАУ, 2003. 86 с.

ЦИФРОВІ МОДЕЛІ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Конспект лекцій

Відповідальна за випуск Шелехань Г. І.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 2022 р.

Умовн. друк. арк. 4,5. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.