

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра залізничних станцій та вузлів

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПЛАНУ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ
ПРИКОРДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання розрахунково-графічної
та контрольної робіт з дисципліни
*«САПР ПРИКОРДОННИХ РОЗДІЛЬНИХ ПУНКТИВ»***

Харків 2023

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри залізничних станцій та вузлів 23 червня 2023 р., протокол № 10.

Методичні вказівки містять рекомендації щодо формалізації плану колійного розвитку прикордонного роздільного пункту.

Рекомендуються для використання здобувачами II (магістерського) рівня освіти спеціальності 275.02 – Транспортні технології (на залізничному транспорті) усіх форм здобуття освіти при виконанні розрахунково-графічної та контрольної робіт з дисципліни «САПР прикордонних роздільних пунктів».

Укладачі:

проф. О. М. Огар,
доценти М. Ю. Куценко,
Г. І. Шелехань

Рецензент

доц. А. О. Ковальов

Зміст

Вступ	4
1 Вхідна модель прикордонного роздільного пункту	5
2 Канонічна модель плану прикордонного роздільного пункту	18
3 Модель горизонтальних колій. Подання сигналів у внутрішній моделі прикордонного роздільного пункту	26
4 Вихідна модель прикордонного роздільного пункту	31
Список літератури	37
Додаток А. Топологічна модель прикордонного роздільного пункту	38
Додаток Б. Довідкові дані для формування геометричних моделей	39

ВСТУП

Системи автоматизованого проектування (САПР) уже давно і широко використовуються у проектній діяльності, охоплюючи різні аспекти проектування включаючи графічні, аналітичні, економічні та інші. Основні можливості САПР:

- більш швидке виконання креслень порівняно з ручним способом;
- підвищення якості виконання креслень через точність і уніфікацію креслень, уникнення помилок;
- можливість багаторазового використання елементів проектування: САПР дають змогу створювати складні елементи проектування, зберігати їх у базах даних і повторно застосовувати, забезпечуючи ефективне використання наявних ресурсів і прискорюючи процес проектування;
- прискорення розрахунків та аналізу при проектуванні завдяки застосуванню сучасних інструментів проектування, що дає змогу швидше оцінювати різні аспекти проекту та здійснювати його оптимізацію;
- високий рівень якості проектування при використанні комп'ютерних моделей і аналітичних методів.

Методичні вказівки розроблені з метою набуття і закріплення практичних навичок здобувачами освіти при підготовці та виконанні автоматизованого проектування прикордонних роздільних пунктів із застосуванням математичних моделей, методів та алгоритмів аналізу і синтезу в поєднанні з засобами обчислювальної техніки та інформаційних технологій. Здобуті вміння сприятимуть ефективному вирішенню завдань з пошуку раціональних шляхів удосконалення конструкції, технічного оснащення і технології роботи прикордонних роздільних пунктів.

1 ВХІДНА МОДЕЛЬ ПРИКОРДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ

Вхідна модель є першим етапом створення геометричної моделі прикордонного роздільного пункту (рисунок 1.1) і являє собою графічне відображення та деяку параметризацію його основних елементів [1]. Вхідна модель служить основою для виконання наступного етапу – побудови внутрішньої моделі, що у свою чергу складається з канонічної моделі та моделі горизонтальних колій. Вихідна модель як завершальний етап складання геометричної моделі відображує не тільки геометричну форму елементів роздільного пункту у просторі, а і їхні розміри.

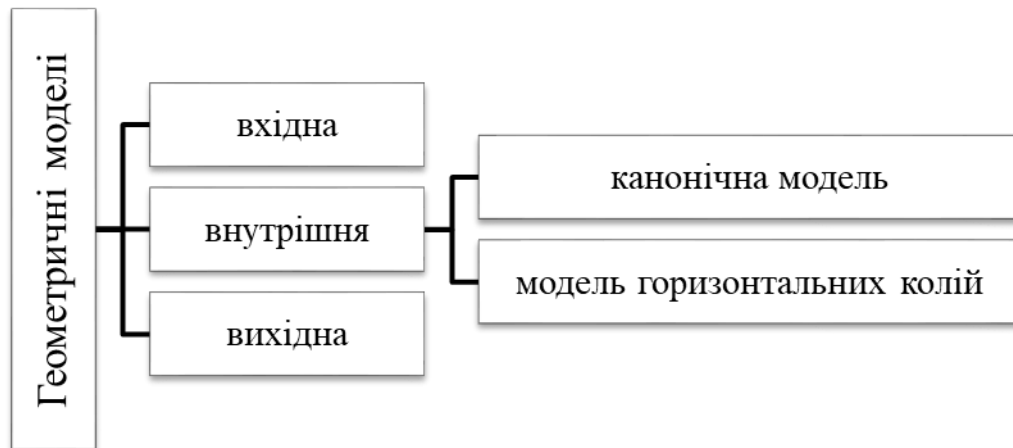


Рисунок 1.1 – Структура геометричних моделей прикордонних роздільних пунктів

Для побудови вхідної моделі колійного розвитку прикордонного роздільного пункту (ПРП) розглянемо прикордонну передавальну станцію на двоколійній лінії, докладна схема якої подана на рисунку 1.2.

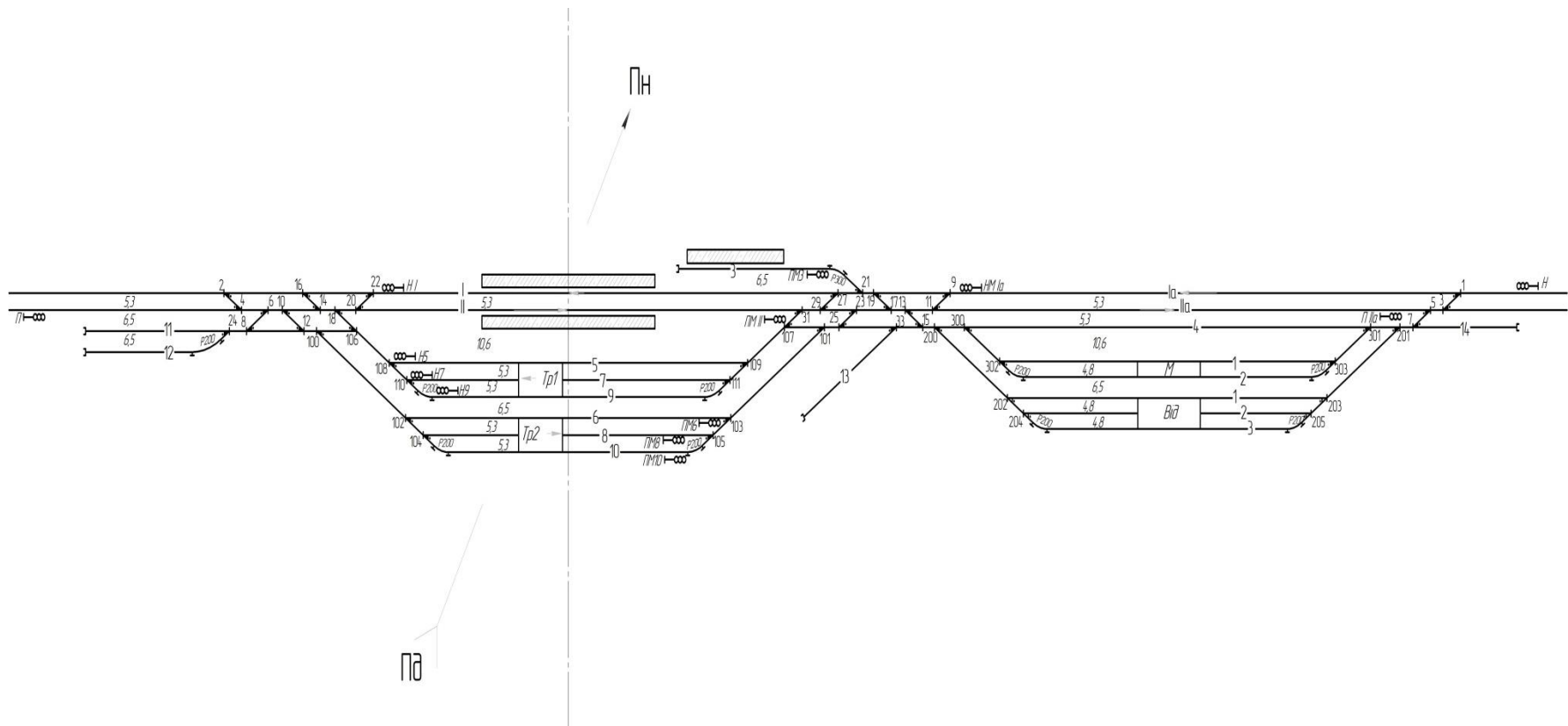


Рисунок 1.2 – Докладна схема прикордонної передавальної станції

Основними парками станції є парний і непарний транзитні парки для приймання і відправлення вантажних поїздів відповідних напрямків, парк для місцевих вагонів і парк відстою локомотивів і затриманих вагонів. Пасажирський рух на станції обслуговується на головних коліях і, за наявності, тупикових коліях з пасажирськими платформами та пристроями митної служби уздовж них.

Також на прикордонних передавальних станціях можуть споруджуватися пристрої прикордонної, митної, ветеринарної, фіто-санітарної та інших служб або пристрої, суміщені для декількох служб [2, 3]. Так, прикордонні контрольні пункти (ПКП) зазвичай подані як комплекс пристроїв із приймально-відправних колій і пристроїв для огляду рухомого складу знизу і зверху: оглядових колодязів і містків з оглядовими кабінами. Біля витяжних колій або сортувального парку, за наявності, може проектуватися пункт перевантаження і огляду затриманих вантажів.

Для найбільш повного відображення основних елементів колійного розвитку станції на докладній схемі станції слід позначити:

- магнітний меридіан;
- спеціалізацію колій;
- нумерацію колій і стрілочних переводів;
- ширину міжколійя;
- встановити і позначити поїзні сигнали;
- пронумерувати вершини кутів повороту в кінцевих з'єднаннях колій;
- позначити радіуси кривих;
- позначити упори тупикових колій, початок і кінець головних колій у межах станції.

Зазначені елементи колійного розвитку є основою для подальшого створення орієнтованого графа (далі орграфа) станції і характерними

об'єктами вхідної моделі станції. Орграфом є таке подання схеми роздільного пункту, вершини і дуги якого відповідають цим елементам. Так, центри стрілочних переводів, кінці колій, вершини кутів повороту кривих служать вершинами графа, а прямі та криві ділянки колій – його дугами. За замовчуванням напрямок проектування приймається зліва направо.

Слід пам'ятати, що в парку для місцевих вагонів і парку відстою відсутній поїзний рух, а здійснюються лише маневрові переміщення. Колії для виконання прикордонних операцій слід проектувати як приймально-відправні.

Для зручності ідентифікації типу вершин орграфа їх необхідно позначити відповідними номерами. При нумерації стрілочних переводів прикордонної станції рекомендується кожному парку колій виділяти окрему сотню номерів, а стрілочні переводи на головних та інших коліях нумерувати від 1 до 99 з поділом роздільного пункту на парну та непарну горловини відносно осі станції. Кінці як наскрізних, так і тупикових колій необхідно пронумерувати від 101 до 199 у напрямку зліва направо. Вершини кутів повороту всіх кривих на роздільному пункті нумерують послідовно починаючи з 201.

Далі докладну схему станції необхідно нанести на двовимірну систему координат ($OX;OY$) так, щоб координатна сітка покрила схему повністю. При цьому рекомендується розмістити орграф станції у верхньому правому квадранті системи координат, а координати сітки поставити мають відповідати міліметрам довжини на кресленні.

При формуванні вхідної моделі основними типами її об'єктів є прямі ділянки колій (Line), центри стрілочних переводів (Switch), вершини кутів повороту у кривих (Curve), сигнали (Signal), номери колій (Way) і міжколійя (Midway).

Вхідна модель станції являє собою набір таблиць, що містять параметри елементів колійного розвитку (об'єктів вхідної моделі) і дані щодо їхнього подання на схемі роздільного пункту. Кожному об'єкту вхідної моделі відповідає тип, екранні координати характерних точок і певна структура його конструктивних параметрів, позначення яких наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Об'єкти вхідної моделі

Тип об'єкта	Позначення об'єкта	Структура параметрів
Стрілочний перевід	SWITCH	$s = \{p_s, N_s, m_s, T_s, c_s\}$
Ділянка колії	LINE	$e = \{p_{en}, p_{ek}, \mu_e, l\}$
Вершини кутів повороту кривих	CURVE	$c = \{p_c, N_c, r_c, \mu_c, \alpha_c, N_T\}$
Номери колій	WAY	$w = \{p_w, N_w\}$
Міжколійя	MIDWAY	$m = \{p_m, g_m\}$
Сигнал	SIGNAL	$q = \{p_q, N_q, d_q, k_q\}$

При складанні таблиць застосовується принцип замовчування – використовуються елементи колій, правила їхнього проектування та параметри, найбільш імовірні для умов проектування. Наприклад, за замовчуванням застосовуються мінімальні значення радіуса захрестовинної кривої для марок хрестовин стрілочних переводів 1/9 і 1/11 на коліях станцій відповідно 200 і 300 м; типові значення прямої вставки у взаємному укладанні між центрами стрілочних переводів і т. д.

У таблиці 1.2 наведено структуру параметрів і список цифрових кодів для кожного об'єкта, за якими формується вхідна модель станції. Для деяких

об'єктів спосіб визначення залежить від вихідних даних або методів проектування колійного розвитку. Тому в таблиці вказано типові значення, що можуть набувати параметри таких об'єктів.

Таблиця 1.2 – Структура параметрів і цифрові коди об'єктів вхідної моделі

Код	Параметр
<i>l</i>	<i>2</i>
0	Тип об'єкта (SWITCH, LINE, CURVE...)
1	N_s (номер стрілочного перевodu); N_c (номер вершини кута повороту кривої); N_w (номер колії); N_q (позначення сигналу)
10	Координати точок, у тому числі початкових: P_{en} (початкова точка відрізка); P_s , (екранні координати центра стрілочного перевodu); P_c (екранні координати вершини кута повороту); P_w (координати місця позначення номера колії); P_m (координати місця позначення ширини міжколійя); P_q (координати місця встановлення сигналу)
11	Координати кінцевих точок: P_{ek} (кінцева точка відрізка)
20	m_s (марка хрестовини): 1/9 – 0; 1/11 – 1

Продовження таблиці 1.2

1	2
21	T_s (тип рейок): P50 – 0; P65 – 1
22	c_s (електрична централізація): 1 – є; 0 – нема
30	r_c (радіус кривої), м
31	μ_c (метод визначення кута): 0 – автоматично на основі аналізу схеми; 1 – задане чисельне значення; 2 – скорочене з'єднання
32	α_c (величина кута повороту), град
33	N_T (номер розрахункової вершини при розрахуванні параметрів кінцевого з'єднання)
40	μ_e (метод визначення довжини ділянки або колії): 0 – автоматично на основі аналізу схеми (взаємне укладання СП, за правилами встановлення світлофорів); 1 – за різницею координат суміжних точок (у вершинах кутів кінцевих з'єднань, по з'їздах); 2 – заданим числовим значенням (витяжна колія, запобіжний тупик тощо); 3 – шириною міжколійя (укладанням хрестовинами назустріч, попутною односторонньою); 4, 5, 6 – умови забезпечення корисної довжини колії: 4 – у парному напрямку; 5 – непарному напрямку; 6 – обох напрямках

Продовження таблиці 1.2

<i>1</i>	<i>2</i>
41	l (довжина ділянки колії), м
50	g_m (ширина міжколійя), м
60	d_q (напрямок дії сигналу): 0 – справа наліво; 1 – зліва направо
61	k_q (тип сигналу): 0 – щогловий; 1 – карликовий; 2 – карликовий спарений

Для відображення параметрів елементів колійного розвитку в роботі рекомендується умовно прийняти, що головні колії укладені рейками типу Р65, а решта – Р50. Ті стрілочні, по яких пасажирські та приміські поїзди з основної колії відхиляються на бокову колію, мають марку хрестовини 1/11, а решта – 1/9.

У таблицях 1.3–1.8 наведено вхідну модель прикордонної передавальної станції згідно зі схемою на рисунку А.1.

Таблицю параметрів стрілочних переводів вхідної моделі станції (таблиця 1.3) рекомендується складати окремо за парками та горловинами, поділивши станцію віссю пасажирської будівлі на парну і непарну горловини відповідно до розміщення магнітного меридіана.

Таблиця 1.3 – Стрілочні переводи вхідної моделі станції

0	1	10		20	21	22
		X	Y			
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7
SWITCH	2	112	49	1	1	1
SWITCH	4	121	44	1	1	1
SWITCH	6	135	44	0	1	1
SWITCH	8	123	37	0	0	1
SWITCH	10	142	44	0	1	1
...						
<i>Парк Тр2</i>						
SWITCH	100	160	37	0	0	1
SWITCH	101	424	38	0	0	1
SWITCH	102	206	10	0	0	1
SWITCH	103	375	10	0	0	1
...						
<i>Парк М</i>						
SWITCH	300	497	38	0	0	1
SWITCH	301	708	38	0	0	1
SWITCH	302	515	28	0	0	1
SWITCH	303	690	28	0	0	1
...						
<i>Парк Від</i>						
SWITCH	200	481	38	0	0	1
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7
SWITCH	201	723	38	0	0	1
SWITCH	202	519	16	0	0	1
SWITCH	203	685	16	0	0	1
...						

При складанні таблиці параметрів кривих ділянок колій (таблиця 1.4) необхідно керуватися принципом замовчування при визначенні кута повороту α_c : якщо в кінцевому з'єднанні відомі ширина міжколій і радіус захрестовинної кривої, то кут α_c визначається автоматично через геометричні розрахунки на основі вихідних даних. Тому в колонці величини кута α_c (код 32) у такому випадку вказують значення «0».

Таблиця 1.4 – Криві ділянки колій

0	1	10		30	31	32
		X	Y			
CURVE	201	103	32	200	0	0
CURVE	202	216	17	200	0	0
CURVE	203	225	0	200	0	0
CURVE	204	357	0	200	0	0
CURVE	205	366	17	200	0	0
CURVE	206	431	56	300	0	0
...						

Таблиця параметрів прямих ділянок колій (таблиця 1.5) має бути складена так, щоб кожний відрізок колії на станції був урахований, але тільки один раз. Зазвичай кінцями відрізка виступають центри стрілочних переводів, упори тупикових колій, вершини кутів повороту кривих.

Складають таблицю прямих ділянок колій від кінців головних колій з боку підходу А, рухаючись зліва направо в бік примикання підходу Б. Урахуванню підлягають ділянки всіх колій на станції, відстані між центрами стрілочних переводів взаємного укладання, прямі вставки на з'їздах і перед захрестовинними кривими.

Таблиця 1.5 – Прямі ділянки колій

0	10		11		40	41	Примітка
	X	Y	X	Y			
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8
LINE	0	49	112	49	0	0	101-2
LINE	112	49	121	44	1	0	2-4
LINE	121	44	135	44	0	0	4-6
LINE	135	44	124	37	1	0	6-8
LINE	124	37	114	37	0	0	8-24
LINE	114	37	104	32	1	0	24-201
LINE	104	32	40	31	2	300	201-104
...							
LINE	160	37	181	37	3	0	100-106
LINE	181	37	198	27	0	0	106-108
LINE	198	27	207	22	3	0	108-110
LINE	207	22	216	17	1	0	110-202
LINE	216	17	366	17	5	850	202-205
...							
LINE	206	10	375	10	4	$L_{кор 6}$	102-103
...							
LINE	527	12	366	17	6	$L_{кор 2}$	204-205
LINE	536	7	669	7	6	$L_{кор 3}$	208-210
...							

При заповненні в таблиці значень коду 41 (довжина колій) для випадків задавання конкретного значення довжини слід керуватися тим, що довжина колій у парках залежить від конструкції горловин парків і взаємного

розміщення парків. При цьому мінімальна корисна довжина колій у транзитних парках вказана в завданні. Мінімальна довжина колій у парку для місцевих вагонів має бути не менше 250-300 м, а загальна їхня довжина має дати змогу розмістити вагони в кількості 1,5-2 довжини вантажного поїзда.

При складанні таблиці номерів колій (таблиця 1.6) необхідно вказати координати місць встановлення номерів колій на схемі.

Таблиця 1.6 – Номери колій

0	1	10	
		X	Y
WAY	I	236	49
WAY	II	236	44
WAY	3	377	56
...			

Аналогічно складається таблиця міжколійїв (таблиця 1.7), у якій позначається ширина міжколійя в напрямку від пасажирської будівлі в польовий бік.

Таблиця 1.7 – Міжколійя

0	10		50
	X	Y	
MIDWAY	63	46	5,3
MIDWAY	63	40	6,5
MIDWAY	63	33	6,5
MIDWAY	248	33	10,6
...			

До таблиці 1.8 сигналів занесено всі поїзні сигнали, установлені на коліях станції, з позначенням координат місця їхнього встановлення (по основі) і типу світлофора за його конструкцією згідно з призначенням колій на схемі станції.

Сукупність складених таблиць формує вхідну модель прикордонного роздільного пункту, на основі якої далі формується його внутрішня модель.

Таблиця 1.8 – Сигнали

0	1	10		60	61
		X	Y		
SIGNAL	П	8	42	1	0
SIGNAL	НІ	205	51	0	0
SIGNAL	ПМІІ	393	41	1	2
SIGNAL	Н5	211	29	0	2
SIGNAL	ПМ6	359	9	1	2
...					
SIGNAL	Н	795	51	0	0

Контрольні питання

- 1 З яких частин складаються геометричні моделі роздільних пунктів?
- 2 Які елементи колійного розвитку служать вершинами орграфа при формуванні вхідної моделі роздільного пункту?
- 3 Що є об'єктами вхідної моделі?
- 4 Які параметри властиві кожному об'єкту вхідної моделі?
- 5 Що відрізняє докладну схему прикордонного роздільного пункту від його орграфа?
- 6 У чому полягає основний принцип складання таблиці параметрів для об'єктів Line?

2 КАНОНІЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУ ПРИКОРДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ

Канонічна модель прикордонного роздільного пункту складається з топологічної і параметричної моделей. Топологічна модель відображує склад елементів станції, їхнє взаємне розташування і взаємозв'язок. Параметрична модель містить відомості про форму і геометричні розміри відповідних елементів.

Топологічна модель прикордонного роздільного пункту (рисунок А.1) являє собою орієнтований граф $G=(V,E)$, вершинами якого є центри стрілочних переводів (ЦП), вершини кутів повороту кривих (ВКП) і кінці колій (КК). Дуга графа $e=(v,u)$ складається з початкової v і кінцевої u вершин. Напрямок дуги задано від вершини v до вершини u . Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо.

Орієнтований граф прикордонного роздільного пункту в ЕОМ подається у вигляді списків інцидентності (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Списки інцидентності вершин орграфу G

N	N_{II}	N_B
2	16	4
4	+6	0
6	10	0
8	+12	6
...

У першому стовпці наводиться список усіх вершин графа, другому і третьому – списки інцидентності відповідних вершин.

Першим у списку для протишерстних переводів указується номер вершини u_1 , з якою ця стрілка (вершина v_i) зв'язана по прямій колії, якщо перевід звичайний, або правій колії, якщо перевід симетричний. Другим у списку указується номер іншої вершини u_2 , суміжної з v_i .

Для ВКП і ЦП пошерстних стрілок другий елемент списку відсутній. Для КК з напівступенем виходу $d^+(v_i) = 0$ відсутні обидва елементи списку.

При табличному введенні внутрішньої моделі в списках інцидентності необхідно кінцеві вершини дуг, що заходять у ЦП по прямій колії, помітити знаком «+».

Для формування списків інцидентності виконується аналіз множини ділянок колій станції $e \in \Omega_{BX}$, що відповідають дугам графа G . Кінцеві точки ділянок колій сортуються так, щоб $x_v < x_u$. На основі аналізу списку дуг графа G складається список його вершин (v_1, v_2, \dots, v_n) , у якому кожна з них подана структурою

$$v_i = (v_j, v_l, d^+(v_i), d^-(v_i), x_i, y_i) \quad (2.1)$$

де v_j, v_l – кінцеві вершини дуг, що виходять з v_i (кількість таких вершин дорівнює $d^+(v_i) \leq 2$);

$d^+(v_i), d^-(v_i)$ – відповідно напівступені результату і заходу вершини v_i (можуть набувати значень 0, 1 або 2 залежно від типу вершини);

x_i, y_i – координати вершини v_i на ескізі.

Для визначення типу вершини v_i (ЦП, ВКП, КК) обчислюється параметр t_i :

$$t_i = 3 \cdot d^-(v_i) + d^+(v_i). \quad (2.2)$$

При цьому отриманим значенням t_i відповідають такі типи вершин:
 $t_i = 1$ – лівий КК ($v_i \in V^W$); $t_i = 3$ – правий КК ($v_i \in V^W$); $t_i = 4$ – ВКП ($v_i \in V^C$); $t_i = 5$ – ЦП протишерстної стрілки ($v_i \in V^S$); $t_i = 7$ – ЦП пошерстної стрілки ($v_i \in V^S$). Значення $t_i = 2, 6$ або 8 неприпустимі і свідчать про наявність помилок в ескізі.

Залежно від знайденого типу вершини v_i їй надається унікальний поточний номер N_i з діапазону номерів, відведених для цього типу вершини: $N_i = \{1, 99\}$, $v_i \in V^S$, $N_i = \{101, 199\}$, $v_i \in V^W$, $N_i = \{201, 299\}$, $v_i \in V^C$. Далі аналізується множина об'єктів $s \in \Omega_{BX}$ і $c \in \Omega_{BX}$ та ідентифікуються за координатами відповідні їм вершини графа G .

Оскільки кожна вершина підмножин V^S , V^C і V^W характеризується деяким вектором параметрів (відповідно X^S , X^C і X^W), списки інцидентності вершин орграфа G доповнюються сукупностями відповідних параметрів X . Зокрема для ЦП мають бути задані номер колії w , тип стрілочного перевodu τ_c , його напрямок S і, за необхідності, довжини прямих вставок f_{Π} і f_B до вершин, суміжних з v_i ($X^S = \{w, \tau_c, S, f_{\Pi}, f_B\}$).

Для кожного ЦП, розташованого на одній з горизонтальних колій, має бути вказаний ненульовий номер w цієї колії. Якщо деякий ЦП не належить жодній з горизонтальних колій, то для цієї вершини приймається $w = 0$.

Тип стрілочного перевodu τ_c являє собою номер ($\tau_c = 0, 1, \dots$), під яким цей стрілочний перевід записаний у таблиці характеристик (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристики стрілочних переводів

Тип стрілочного переводу τ_c	Марка хрестовини	Тип рейки
0	1/11	P65
1	1/11	P50
2	1/9	P65
3	1/9	P50

Для звичайних стрілочних переводів виникає завдання визначення сторонності стрілочного переводу та класифікації відповідних йому колійних ділянок рамної рейки, прямої та бічної колій хрестовини. Для симетричних стрілочних переводів необхідно класифікувати ділянки рамної рейки, лівої та правої колій хрестовини.

Напрямок укладання переводу і дуга графа, що відповідає рамній рейці, визначається за напівступенем результату вершини: якщо $d^+(v) = 1$ – перевід протишерстний, а рамній рейці відповідає вихідна дуга; якщо $d^+(v) = 2$ – перевід пошерстний, а рамній рейці відповідає дуга, що заходить.

Напрямок відхилення колій стрілочних переводів S (лівосторонній – $S = 0$, правосторонній – $S = 1$) визначається за положенням точок F і K відносно напрямку рамної рейки – орієнтованого відрізка PO (рисунок 2.1).

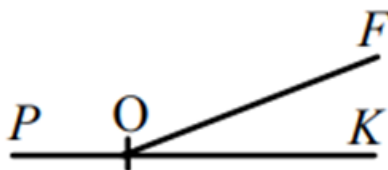


Рисунок 2.1 – Зображення звичайних стрілочних переводів на схемі прикордонного роздільного пункту

Для визначення положення деякої точки A відносно орієнтованого відрізка BC можна використати такий вираз:

$$Z_A^{BC} = \text{sign}((y_A - y_B)(x_C - x_B) - (y_C - y_B)(x_A - x_B)). \quad (2.3)$$

Величина Z набуває значення -1 , якщо точка лежить праворуч від відрізка, значення 1 , якщо точка лежить ліворуч від відрізка, і 0 , якщо точка і відрізок належать одній прямій. Отже, якщо $Z_F^{PO} + Z_K^{PO} < 0$, то стрілочний перевід правосторонній ($S = 1$); якщо $Z_F^{PO} + Z_K^{PO} > 0$, то стрілочний перевід лівосторонній ($S = 0$).

В окремих випадках указуються також дані про прямі вставки, що укладаються вправо від цього стрілочного переводу в напрямку прямої (f_{II}) і/або бокової (f_B) колій. Як правило, вказані прямі вставки визначаються автоматично за схемою взаємного розташування стрілок і в початкових даних не наводяться. Дані про них потрібно вказувати лише за необхідності вибору величини конструктивної вставки, що відрізняється від встановленої інструкцією для цієї схеми взаємного розташування стрілок, і задавання довжини однієї з колій парку для переходу з лівої горловини в праву (при розрахунку координат).

Для окремих схем взаємного укладання стрілочних переводів (попутної односторонньої і хрестовинами назустріч один до одного) величина вставки f визначається шириною деякого міжколійя g . У зв'язку з цим замість вставки f необхідно задати величину необхідного міжколійя g із знаком «-»; інакше буде прийнято його стандартне значення $g = 5,3$ м.

У випадку, коли необхідну ширину міжколійя можна визначити за різницею ординат горизонтальних колій, величину g задавати не потрібно.

Можуть мати місце випадки, коли відстань між суміжними стрілочними переводами визначається за умови замкненості деякого контуру у схемі або залежить від заданої довжини однієї з колій парку. Тоді величина вставки розраховується за різницею координат суміжних точок, і замість вставки слід указати число 9999.

Для вершин ВКП мають бути задані номер колії W і радіус кривої R ; за необхідності - довжина прямої вставки f_{II} на відрізьку до вершини, суміжної з v_i , і кут повороту кривої α ($X^c = \{W, R, f_{II}, \alpha\}$).

У випадках, коли кут α і/або пряма вставка f_{II} не можуть бути визначені автоматично, їх слід задавати.

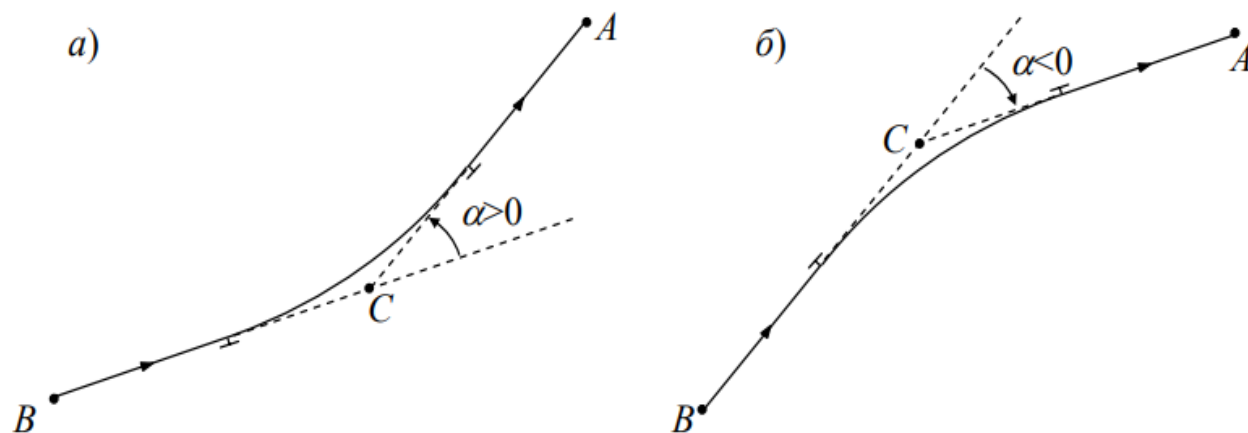
Коли крива є елементом скороченого кінцевого з'єднання колій, один з параметрів (кут α або вставка f_{II}) може бути розрахований за даними про з'єднання. Інший параметр слід задавати.

Невідомий кут повороту кривої α в скороченому з'єднанні розраховується шляхом визначення розрахункової колії і зазначення в моделі для початкової вершини цієї колії його кінцевої вершини, а також довжини вставки f_{II} між ними.

При заданому значенні кута в скороченому з'єднанні може бути розрахована невідома вставка f_{II} . Це значення кута в такому випадку необхідно вказати в моделі.

Кут повороту має бути виражений у градусах, хвилинах і секундах.

Напрямок повороту кругових кривих у внутрішній моделі визначається знаком кута. Для зручності введення вхідна модель містить абсолютне значення величини кута повороту $|\alpha|$, а його знак необхідно встановити в результаті аналізу немасштабної схеми. Можливі випадки орієнтації кривих зображені на рисунку 2.2.



- а) поворот проти годинникової стрілки;
 б) поворот за годинниковою стрілкою

Рисунок 2.2 – Векторне зображення кута повороту кривої

Напрямок кута повороту встановлюється на підставі визначення положення точки A , що відповідає кінцевій вершині дуги, яка виходить, відносно відрізка BC , що відповідає дузі, яка заходить, за допомогою виразу (2.3). При цьому значення кута визначається як $\alpha = \text{sign}(Z_A^{BC}) \cdot |\alpha|$.

У випадках, коли відповідна колія у схемі станції має певну довжину (наприклад тупикова колія заданої довжини), для вершин КК може бути задана відстань f_{II} до вершини, суміжної з v_i . В інших випадках приймається $f_{II} = 0$. При цьому відповідна колія на плані вирівнюється по крайньому лівому кінцю креслення станції.

Остаточний вигляд канонічної моделі для схеми, показаної на рисунку А.1, наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Канонічна модель прикордонного роздільного пункту

N	N_{II}	N_B	w	τ_c	S	f_{II}	f_B
1	2	3	4	5	6	7	8
2	16	4	I	0	1		
4	+6	0	II	0	1		
6	10	0	II	2	0		
8	+12	6	11	3	0		
...

N	N_{II}	N_B	w	R	f_{II}	α^o	α'	α''
201	24	0	0	200				
202	205	0	9	200				
203	204	0	10	200				
204	105	0	0	200				
...

N	N_{II}	N_B	w	f_{II}
101	2	0	I	
102	+4	0	II	
103	+24	0	11	
104	201	0	12	
...
109	0	0	IIa	

Контрольні питання

- 1 З яких частин складаються геометричні моделі роздільних пунктів?
- 2 Визначте градусну міру кута $15,6^\circ$ у градусах, хвилинах і секундах.
- 3 Що являє собою топологічна модель роздільного пункту?
- 4 Який принцип складання списку інцидентності орграфу?
- 5 Які дані містить параметрична модель роздільного пункту?

3 МОДЕЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КОЛІЙ. ПОДАННЯ СИГНАЛІВ У ВНУТРІШНІЙ МОДЕЛІ ПРИКОРДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ

Побудова моделі горизонтальних колій прикордонного роздільного пункту здійснюється в автоматизованому режимі на основі перетворень вхідної моделі Ω_{BX} . Для цього виконується пошук горизонтальних ділянок колій e у введених схемі, визначаються ті пари колій, для яких має бути задана ширина міжколій, ідентифікуються номери колій w і міжколійів m , заданих на немасштабній схемі, інтерактивно вводяться значення ширини міжколійів, визначається належність вершин орграфа G горизонтальним ділянкам колій.

Простим орланцюгом орграфа є послідовність дуг e_i , у якій кінцева вершина будь-якої дуги, відмінної від останньої, є початковою вершиною наступної, причому всі вершини, що входять до неї, різні. Оскільки в орграфі G нема паралельних дуг, орланцюг може бути заданий послідовністю вершин, що входять до неї: $w = (v_0, v_1, \dots, v_n)$. Тоді горизонтальною ділянкою колії є такий простий орланцюг, у якого ординати всіх його вершин однакові: $y_0 = y_1 = \dots = y_n$. При цьому кожна така колія повинна мати максимальну довжину на графі G , і, отже, вершина v_0 не повинна мати дуг, що заходять, а v_n – горизонтальних дуг, що виходять (тобто дуг з однаковими ординатами кінцевих вершин).

Пошук горизонтальних колій починається із сортування списку дуг орграфа G за зростанням абсцис їхніх лівих вершин $x(v)$. Далі відсортовані горизонтальні дуги e включаються в деяку колію w_j за умови збігу ординат $y(v_1) = y(v_2) = y(w_j)$.

Після побудови всіх горизонтальних колій їх нумерують послідовними умовними номерами $w_j = j$, $j = 1, \dots, M$, де M – кількість горизонтальних колій у схемі. Для кожної отриманої ділянки колії здійснюється пошук відповідного об'єкта $w \in \Omega_{BX}$ відповідно до умови

$$\begin{cases} x(w_0) < x(w) < x(w_n); \\ y(w_0) = y(w) = y(w_n). \end{cases} \quad (3.1)$$

За відсутності номера колії w у списку Ω_{BX} колії присвоюється умовний номер N_w . Далі всім відрізкам e , включеним до складу горизонтальних колій, ставиться у відповідність номер відповідної колії N_w .

Для автоматичного визначення тих пар колій (w_i, w_j) , $i \neq j$, для яких має бути задана ширина міжколіїв, необхідно побудувати дерево $D = (W, H)$ суміжних колій прикордонного роздільного пункту, для чого попередньо побудувати зважений неорієнтований граф відстаней між коліями $\bar{\Gamma} = (W, \bar{\Lambda})$, кожна вершина якого w_i відповідає горизонтальній колії роздільного пункту. Вага Δy_{ij} ребра (w_i, w_j) дорівнює абсолютній величині різниці екранних ординат відповідних колій ($\Delta y_{ij} = |y(w_i) - y(w_j)|$). При цьому прийнято, що зазначене ребро існує, якщо існує перпендикуляр, що перетинає обидві горизонтальні колії w_i і w_j ; інакше $\Delta y_{ij} = 0$. Формально умову існування ребра (w_i, w_j) у графі $\bar{\Gamma}$ можна записати як

$$\begin{cases} x(v_{0i}) < x(v_{nj}); \\ x(v_{0j}) < x(v_{ni}), \end{cases} \quad (3.2)$$

де $x(v_0), x(v_n)$ – екранні абсциси відповідно початку та кінця колії.

На графі $\bar{\Gamma}$ будується найкоротший остів \bar{D} , у якого сума ваг ребер найменша. У цьому випадку остів \bar{D} складають ребра, що зв'язують тільки суміжні колії роздільного пункту. Початкові та кінцеві вершини зазначених ребер відповідають тим парам колій, для яких має бути задана ширина міжколійів.

Для побудови найкоротшого остова доцільно використовувати алгоритм Прима [4].

Далі проводиться контроль відповідності заданих міжколійів $m \in \Omega_{BX}$ ребрам дерева \bar{D} .

Наприкінці визначаються дійсні значення ординат Y_i всіх горизонтальних колій схеми, для чого має бути задана ордината опорної точки Y_0 , що знаходиться на одній з цих колій. Для розрахування ординат Y_i необхідно побудувати орієнтоване дерево D , приймаючи вершину остова \bar{D} , що відповідає колії з заданою ординатою Y_0 , як корінь.

Для визначення значень ординат Y_i використовують процедуру обходу дерева D у глибину. При цьому ордината наступної колії визначається як

$$Y_j = Y_i + g_{ij} \text{sign}(y(w_i) - y(w_j)). \quad (3.3)$$

Викладені процедури дають змогу виконати автоматизоване перетворення вхідної моделі прикордонного роздільного пункту і отримати модель його горизонтальних колій (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Внутрішня модель горизонтальних колій прикордонного роздільного пункту

N_0	X_0	Y_0
2	112	49
$w_{нк}$	$w_{ек}$	$E, м$
I	3	6,5
II	I	5,3
5	II	10,6
...

Метою формування списку сигналів прикордонного роздільного пункту є перетворення опису сигналу у вигляді структури $q_{вх}$ у вхідній моделі в опис $q_{вн}$.

Сигнали у внутрішній моделі подаються як список, кожний елемент якого описується вершиною v (ЦП, до якого належить сигнал), напрямком установлення сигналу відносно ЦП (0 – за хрестовиною на прямій колії; 1 – за хрестовиною на боковій колії; 2 – у створі з ізолюючим стиком рамної рейки), типом k_q і номером сигналу N_q (таблиця 3.2). Номер сигналу і його тип встановлюються за даними вхідної моделі.

Таблиця 3.2 – Внутрішня модель сигналів прикордонного роздільного пункту

v	z	k_q	N_q
4	0	0	II
22	2	0	HI
108	1	0	H5
...

Контрольні питання

- 1 Які елементи колійного розвитку прикордонних роздільних пунктів необхідно подати у внутрішній моделі?
- 2 Що називають орланцюгом орграфа?
- 3 У чому полягає принцип побудови внутрішньої моделі горизонтальних колій прикордонного роздільного пункту?
- 4 Що є метою формування списку сигналів прикордонного роздільного пункту?
- 5 Які параметри враховує внутрішня модель сигналів прикордонного роздільного пункту?

4 ВИХІДНА МОДЕЛЬ ПРИКОРДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ

Вихідна модель колійного розвитку прикордонних роздільних пунктів має містити сукупність параметрів, які б давали змогу вирішувати завдання широкого кола: побудова масштабних планів і схем цих пунктів, підготовка для цього технічної документації, інтерактивний синтез планів колійного розвитку складної конструкції, створення моделей для проведення імітаційного моделювання.

Зазвичай вихідна модель подається як сукупність розрахункових параметрів плану колійного розвитку, що містить дані про з'єднувальні криві та відстані між характерними точками плану з їхніми координатами. Інформація про параметри з'єднувальних кривих подається як структури

$$C_i = \{v, \alpha, R, T, K\}, \quad i = 1, 2, \dots, n_c, \quad (4.1)$$

де v – номер вершини кривої;

α – кут повороту кривої, град, хв, с;

R – радіус кривої;

T – тангенс кривої;

K – довжина кривої;

n_c – кількість кривих на плані.

Дані про відстані між характерними точками плану (центрами стрілочних переводів, вершинами кутів повороту, кінцями колій) подаються як структури

$$E_j = \{v, u, l, f\}, \quad j = 1, 2, \dots, n_e, \quad (4.2)$$

де v, u – номери відповідно лівої і правої точок відрізка;

l – загальна відстань між точками;

f – довжина прямої вставки;

n_e – кількість відрізків плану.

При розрахуванні даних про відстані між точками необхідно користуватися формулами для визначення елементів кінцевих з'єднань і кривих [5]. Так, довжина кривої визначається як

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}, \quad (4.3)$$

а довжина тангенса кривої (відстань по прямій від початку захрестовинної кривої до вершини кута її повороту) як

$$T = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (4.4)$$

При цьому в кінцевих з'єднаннях довжина прямої вставки від заднього ізолюючого стику рамної рейки стрілочного переводу до початку захрестовинної кривої розраховується як

$$f = \frac{e}{\sin \alpha} - b - T, \quad (4.5)$$

де b – відстань від центра стрілочного переводу до його заднього ізолюючого стику рамної рейки [6], м (таблиця Б.1).

Координати характерних точок плану подаються як структури

$$P_k = \{v, x, y\}, \quad k = 1, 2, \dots, n_p, \quad (4.6)$$

де v – номер вершини;

x, y – координати точки в локальній системі;

n_p – кількість точок на плані.

За наявності на прикордонному роздільному пункті сортувального парку з гірковою горловиною вихідна модель має містити списки параметрів з'єднувальних кривих на спускній частині гірки та сортувальних коліях, дані про відстані між точками та координатами центрів стрілочних переказів. Також для гіркових горловин вихідна модель додатково включає координати точок, що визначають місця можливого устанавлення вагонних уповільнювачів на сортувальних коліях, а також суми кутів повороту на маршрутах скочування відчепів. Структура параметрів місць можливого розміщення паркових вагонних уповільнювачів R складається з номерів сортувальних колій g і координат (x, y) точки в суміжних з коліями міжколійях, де забезпечується допустима для встановлення уповільнювачів ширина міжколійя $e_{min}/2$:

$$R = \{g, g + 1, x, y\}, \quad g = 1, 2, \dots, n_w - 1, \quad (4.7)$$

де n_w – кількість сортувальних колій у парку.

У таблиці 4.1 наведено частину вихідної моделі, побудованої відповідно до розроблених вище вхідної та внутрішньої моделей прикордонної передавальної станції. Спочатку складено структури

параметрів для кривих ділянок, а потім для відстаней між ЦП, ВКП, КК з їхніми координатами. При цьому порядок подання точок у моделі відповідає напрямку розгляду колійного розвитку зліва направо.

Таблиця 4.1 – Вихідна модель прикордонного роздільного пункту

Елемент кривої				
ν	α	R	T	K
201	6°20'24"	200	11,08	22,12
202	6°20'24"	200	11,08	22,12
203	6°20'24"	200	11,08	22,12
...
206	5°11'24"	300	13,60	27,16
...				
Відстань між точками				
ν	u	l	f	
101	2	311,29	311,29	
2	4	58,59	19,99	
4	6	58,36	25,00	
...	
24	201	58,86	32,18	
201	104	284,50	273,44	
...				
Координата точки				
ν	x		y	
101	40		49	
102	40		44	

Продовження таблиці 4.1

2	112	49
4	121	44
...
24	114	37
201	103	32
104	40	31
...
201	723	38
7	730	38
107	784	38
...		

Наведена система геометричних моделей забезпечує складання плану колійного розвитку прикордонних роздільних пунктів із відносно невеликим колійним розвитком. Роздільні пункти зі значною кількістю колій і парків необхідно попередньо поділити на конструктивні блоки та сформувати геометричні моделі для кожного блоку окремо.

Контрольні питання

- 1 Яке призначення вихідної моделі колійного розвитку?
- 2 Як подана вихідна модель прикордонних роздільних пунктів?
- 3 Які структури формують параметри з'єднувальних кривих, відстаней між точками та координатами?

4 Які види відстаней між характерними точками враховує вихідна модель?

5 Які параметри кривих необхідно подати у вихідних моделях колійного розвитку прикордонних роздільних пунктів?

6 Які структури є характерними для вихідних моделей роздільних пунктів із гірковою горловиною в сортувальному парку?

7 Як формуються геометричні моделі прикордонних роздільних пунктів із значним колійним розвитком?

Список літератури

1 Бобровський В. І., Козаченко Д. М., Вернигора Р. В., Малашкін В. В. Моделі, методи і алгоритми автоматизованого проектування залізничних станцій: монографія. Дніпропетровськ: Вид-во «Маковецький», 2010. 156 с.

2 Про прикордонний контроль: Закон України від 05.11.2009 р. № 1710-VI, ред. від 23.03.2023 р. *Офіційний вісник України*. 2009. № 93. С. 22.

3 Про затвердження інструкцій про взаємодію посадових осіб митних органів, що здійснюють митні процедури в міжнародному залізничному сполученні, і працівників залізниць України: наказ Мінтрансзв'язку України 18.09.2008 р. № 1019/1143. *Офіційний вісник*. 2008. № 95. С. 111.

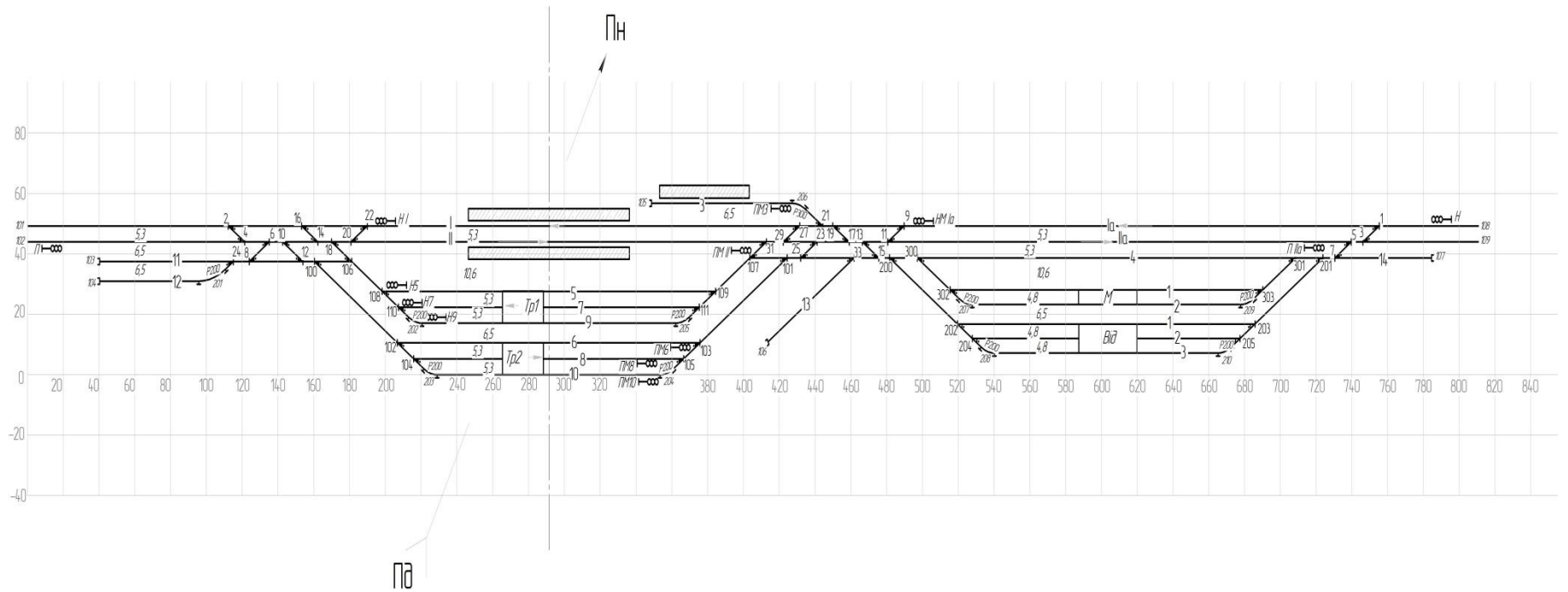
4 Крєневич А. П. Алгоритми і структури даних: підручник. Київ: ВПЦ «Київський Університет», 2021. 200 с.

5 Залізничні станції та вузли: навч. посіб. / І. В. Берестов, Г. В. Шаповал, М. Ю. Куценко та ін.; за ред. І. В. Берестова. Харків: Райдер, 2012. 464 с.

6 Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0138: затв. наказом Укрзалізниці № 427-Ц від 22.12.2005 р. Київ: Транспорт України, 2006. 336 с.

ДОДАТОК А

Топологічна модель прикордонного роздільного пункту



ДОДАТОК Б

Довідкові дані для формування геометричних моделей

Таблиця Б.1 – Основні розміри звичайних стрілочних переводів колії 1520 мм

Тип рейок	Марка хрестовини	Кут хрестовини α ,	Основні розміри, м		
			a_0	a	b
P65	1/11шв	5,19	11,29	14,06	20,42
P65	1/11	5,19	11,29	14,06	19,30
P65	1/9	6,34	12,46	15,23	15,81
P50	1/11	5,19	10,15	14,48	19,05
P50	1/9	6,34	11,13	15,46	15,60

Таблиця Б.2 – Мінімальна відстань від центра стрілочного переводу до граничного стовпчика

Ширина міжколій, м	Марка хрестовини та радіус захрестовинної кривої			
	1/11 (P300)		1/9 (P200)	
	без ЕЦ	обладнані ЕЦ	без ЕЦ	обладнані ЕЦ
4,1	69	59,16	58	-
4,8	48	53,06	40	43,36
5,3	47	46,81	39	43,36
6,5	46	46,81	37	37,10
$\geq 7,5$	46	46,81	37	37,10

Примітка - ЕЦ – електрична централізація

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПЛАНУ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ
ПРИКОДОННОГО РОЗДІЛЬНОГО ПУНКТУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання розрахунково-графічної
та контрольної робіт з дисципліни
«САПР ПРИКОРДОННИХ РОЗДІЛЬНИХ ПУНКТИВ»

Відповідальна за випуск Шелехань Г. І.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 08.09.2023 р.

Умовн. друк. арк. 2,5. 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.