

За ред. д.т.н., професора Е.І. ДАНИЛЕНКО

ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах

TOM 1

**Рейкова колія, конструкції ВБК, стрілочні переводи,
з'єднання і пересічення колій**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

ТОМ 1

**Рейкова колія, конструкції ВБК, стрілочні переводи,
з'єднання і пересічення колій**

Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах

*За загальною редакцією доктора технічних наук, професора
ДАНІЛЕНКА Е.І.*



«Хай-Тек Прес»

Київ–2019

Рецензенти:

- Косарчук В. В.** — д.т.н., професор, зав. кафедри «Теоретична та прикладна механіка» КІЗТ ДУІТ (Київ);
Шрамченко В. П. — к.т.н., професор кафедри «Колія та колійне господарство» Українського державного університету залізничного транспорту (Харків);
Ковтун П. В. — к.т.н., доцент, зав. кафедри «Будівництво і експлуатація доріг» Білоруського державного університету транспорту (Білорусь);
Вербицький В.Г. — д.ф.-м.н., професор за спеціальністю «Залізнична колія», зав. кафедри «Програмне забезпечення автоматизованих систем» Запорізької державної інженерної академії (Запоріжжя);
Яковлев В.О. — Головний інженер (2003–2017 рр.) Департаменту колії та споруд ПАТ «Укрзалізниця».

Колектив авторів:

Даніленко Е. І., д.т.н., проф.; Молчанов В. М., к.т.н., доц.; Курган М.Б., д.т.н., проф.;
 Бойко В.Д., д.т.н., доц.; Твердомед В. М., к.т.н., доц.; Олійник О. А., м.н.с.; Сорока О. О., м.н.с.

*Затверджено Вченою радою Київського інституту залізничного транспорту (КІЗТ)
 та Державного університету інфраструктури та технологій (ДУІТ, Київ), протокол №4 від 06.12.2018 р.;
 Вченою радою Українського державного університету залізничного транспорту (Харків),
 протокол №9 від 27.11.2018 р.*

П-79 Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Підручник для вищих навчальних закладів в 2-х томах: / за ред. д.т.н., проф. Е.І. Даніленко. — Т.1. — К.: «Хай-Тек Прес», 2019. — 344 с.

ISBN 978-966-910-034-4

Описано основоположні принципи оптимального проектування конструкцій залізничної колії, викладено послідовність етапів вибору та раціонального проектування основних елементів конструкції верхньої будови колії; наведені сучасні методики проектування та інженерних розрахунків рейсової колії в прямій і кривих ділянках; в тому числі для ділянок, призначених для експлуатації поїздів зі значайними швидкостями руху, і також для ділянок прискореного ($V=141-160$ км/год) і швидкісного ($V=161-200$ км/год) руху поїздів; розглянуто конструкції та методи проектування стрілочних переводів та інших конструкцій з'єднань і пересічень колії, в тому числі розглянуті особливості проектування стрілочних переводів для прискореного і швидкісного руху поїздів.

Усі наведені методики проектування і розрахунків залізничної колії супроводжуються числовими прикладами, в яких розглянуті різноманітні інженерні задачі з проектування різних елементів залізничної колії.

Призначено для студентів, магістрів, аспірантів вищих навчальних закладів спеціальностей 273 «Залізничний транспорт» та 275 «Транспортні технології» денної та заочної форми навчання.

Рекомендується для використання інженерно-технічними робітниками колійної галузі Укрзалізниці.

УДК 625.144.1 (075.8)

© Даніленко Е. І., Молчанов В. М., Курган М.Б., Бойко В.Д.,
 Твердомед В. М., Олійник О. А., Сорока О. О., 2019

© КІЗТ, ДУІТ, 2019

ISBN 978-966-910-034-4

© «Хай-Тек Прес», 2019

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1. Вихідні фактори й основоположні принципи оптимального проектування залізничної колії	10
Розділ 2. Проектування елементів конструкцій верхньої будови колії	15
2.1. Попередній вибір елементів конструкції верхньої будови колії за експлуатаційними факторами, що задані або проектуються	15
2.1.1. Попередній вибір типу рейок	15
2.1.2. Уточнення попереднього вибору типу рейок і вибір конструкції підрейкових опор, рейкових скріплень і баластної призми	16
2.2. Послідовність наступних етапів вибору конструкції ВБК	22
2.3. Улаштування та конструкція верхньої будови колії в цілому	22
2.3.1. Ланкова колія	23
2.3.2. Безстикова колія	24
2.4. Особливості проектування верхньої будови колії на мостах, шляхопроводах, в тунелях і на переїздах	27
Розділ 3. Проектування і розрахунки рейкової колії	28
3.1. Проектування рейкової колії на прямих ділянках	28
3.1.1. Особливості улаштування рейкової колії на прямих ділянках	29
3.1.2. Взаємозв'язок розмірів рейкової колії та колісних пар	31
3.2. Проектування і розрахунки рейкової колії в кривих	33
3.2.1. Визначення максимально допустимої ширини рейкової колії в кривій	34
3.2.2. Визначення мінімально допустимої ширини рейкової колії в кривій	34
3.2.3. Визначення оптимальної ширини рейкової колії в кривій	37
3.2.4. Розрахунки підвищення зовнішньої рейки в кривих (для залізничних ліній, призначених для швидкостей руху поїздів до $V \leq 140$ км/год)	38
3.2.4.1. Вибір кінцевої величини підвищення зовнішньої рейки в кривих з урахуванням усіх вимог	39
3.2.5. Розрахунки і проектування перехідних кривих	44
3.2.5.1. Призначення перехідних кривих і особливості їх улаштування на залізницях	44
3.2.5.2. Визначення довжини і геометричного параметра S перехідної кривої	46
3.2.5.3. Розрахунки розбивки перехідних кривих	50
3.2.5.3.1. Розбивка перехідної кривої методом зсуву кругової кривої в середину	50
3.2.5.3.2. Розбивка перехідної кривої за методом В.Н. Харламова (зміщення центру в зовнішній бік і зміна радіуса кривої)	52
3.2.6. Розрахунок укладання вкорочених рейок в кривих	54
3.2.6.1. Приклад розрахунку	58

3.2.7. Приклади проектування рейкової колії на ділянках зі звичайним швидкостями руху поїздів (відповідно до ПТЕ: пасажирських — до 140 км/год, рефрижераторних — до 120 км/год, вантажних — до 90 км/год) з вибором і обґрунтуванням основних параметрів колії в прямих і кривих ділянках	61
3.2.7.1. Визначення ширини рейкової колії в прямих ділянках	61
3.2.7.2. Визначення ширини рейкової колії в кривих.....	69
3.2.7.3. Розрахунки необхідного підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривих.....	75
3.2.7.4. Розрахунок допустимих швидкостей руху за параметрами плану залізничної колії при звичайних швидкостях руху поїздів (згідно ПТЕ [14] максимальна швидкість до 140 км/год).....	80
3.2.8. Особливості проектування кривих на лініях прискореного руху поїздів ($V=141-160$ км/год).....	97
3.2.8.1. Класифікація колій і напрямків руху прискорених поїздів за критеріями безпеки руху, плавності та комфортабельності їзди	98
3.2.8.2. Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих на лініях прискореного руху поїздів	99
3.2.8.3. Вимоги до плану лінії при проектуванні і реконструкції залізничних ліній для прискореного руху поїздів.....	103
3.2.8.3.1. Радіуси кривих у плані.....	104
3.2.8.3.2. Довжина перехідних кривих	106
3.2.8.4. Вимоги до поздовжнього профілю лінії на залізничних лініях прискореного руху поїздів	109
3.2.9. Приклади визначення розрахункових параметрів кривих при їх перебудові для впровадження прискореного руху поїздів.....	109
Розділ 4. Розрахунки і проектування стрілочних переводів	130
4.1. Загальні вимоги щодо конструкції стрілочних переводів.....	130
4.2. Вимоги з безпеки руху і фактори, що визначають головні принципи конструювання і вибір основних параметрів	131
4.3. Вибір конструкцій несучих металевих деталей і вузлів	140
4.3.1. Вибір типу рейки	140
4.3.2. Вибір конструкції стрілки.....	140
4.3.3. Вибір конструкції хрестовини і контррейкового вузла.....	143
4.4. Розрахунок і проектування звичайних стрілочних переводів для звичайних швидкостей руху поїздів	145
4.4.1. Головна розрахункова схема. Головні рівняння проєкцій розрахункового контуру.....	145
4.4.2. Розрахунок основних вхідних параметрів стрілки і довжини стрижки вістряка	147
4.4.3. Визначення довжини вістряків і ширини жолобів у корені.....	149
4.4.4. Розрахунок необхідної ширини жолоба між рамною рейкою і вістряком ...	152
4.4.5. Визначення довжини рамних рейок.....	155
4.4.6. Проектування епюри розкладки брусів у межах стрілки і розміщення стрілочних тяг	157

4.4.7. Визначення марки хрестовини і довжини прямої вставки перед хрестовиною.....	159
4.4.8. Визначення розмірів хрестовини	162
4.4.9. Розрахунок довжини вусовиків хрестовини, довжини контррейок і ширини жолобів у хрестовині та між контррейкою і рейкою.....	166
4.4.10. Визначення осьових і розбивочних розмірів стрілочного переводу	169
4.4.11. Розрахунок ординат перевідної кривої	170
4.4.12. Розрахунок довжини рейок, що входять до складу стрілочного переводу....	172
4.4.13. Проектування ширини колії в межах стрілочного переводу	173
4.4.14. Проектування підстрілочної основи.....	175
4.4.15. Приклад проектування та розрахунків одиночного звичайного стрілочного переводу	180
4.4.15.1. Приклад № 1. Розрахунок одиночного звичайного стрілочного переводу типу Р50 із забезпеченням швидкості на бокову колію $V_{бок} = 40$ км/год.....	180
4.4.15.2. Приклад № 2. Розрахунок одиночного звичайного стрілочного переводу типу UIC 60 із забезпеченням швидкості на бокову колію $V_{бок} = 55$ км/год	194
4.5. Розрахунки стрілочного переводу у випадках відомої марки хрестовини або інших заданих лінійних і кутових параметрів	211
4.6. Розрахунок і проектування стрілочних переводів для високих швидкостей руху.....	212
4.6.1. Вибір конструкції несучих металевих деталей і вузлів	212
4.6.2. Розрахунок і проектування стрілки.....	213
4.6.3. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим-гнучким осердям із двома гнучкими гілками.....	214
4.6.4. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим поворотним осердям....	220
4.6.5. Приклади проектування стрілочних переводів для високих швидкостей руху	222
4.6.5.1. Приклад № 3. Проектування стрілочного переводу для прискореного руху поїздів по прямому та боковому напрямкам	222
4.6.5.2. Приклад № 4. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим поворотним осердям	240
4.7. Одиночні різносторонні симетричні стрілочні переводи	242
4.7.1. Особливості конструкції та застосування	242
4.7.2. Розрахунок різностороннього симетричного стрілочного переводу	243
4.7.2.1. Розрахунок основних геометричних параметрів симетричного стрілочного переводу з прямолінійними і криволінійними вістряками... ..	243
4.7.2.2. Розрахунок довжини бічної стрижки криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу	249
4.7.2.3. Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки.....	252
4.7.2.4. Розрахунок ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком.....	256
4.7.2.4-1. Рішення задачі за прикладом 1 (при $U_n'' > \Pi_n$, рис. 4.38).....	257

4.4.7. Визначення марки хрестовини і довжини прямої вставки перед хрестовиною.....	159
4.4.8. Визначення розмірів хрестовини	162
4.4.9. Розрахунок довжини вусовиків хрестовини, довжини контррейок і ширини жолобів у хрестовині та між контррейкою і рейкою.....	166
4.4.10. Визначення осьових і розбивочних розмірів стрілочного переводу	169
4.4.11. Розрахунок ординат перевідної кривої	170
4.4.12. Розрахунок довжини рейок, що входять до складу стрілочного переводу....	172
4.4.13. Проектування ширини колії в межах стрілочного переводу	173
4.4.14. Проектування підстрілочної основи.....	175
4.4.15. Приклад проектування та розрахунків одиночного звичайного стрілочного переводу	180
4.4.15.1. Приклад № 1. Розрахунок одиночного звичайного стрілочного переводу типу Р50 із забезпеченням швидкості на бокову колію $V_{бок} = 40$ км/год.....	180
4.4.15.2. Приклад № 2. Розрахунок одиночного звичайного стрілочного переводу типу UIC 60 із забезпеченням швидкості на бокову колію $V_{бок} = 55$ км/год	194
4.5. Розрахунки стрілочного переводу у випадках відомої марки хрестовини або інших заданих лінійних і кутових параметрів	211
4.6. Розрахунок і проектування стрілочних переводів для високих швидкостей руху.....	212
4.6.1. Вибір конструкції несучих металевих деталей і вузлів	212
4.6.2. Розрахунок і проектування стрілки.....	213
4.6.3. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим-гнучким осердям із двома гнучкими гілками.....	214
4.6.4. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим поворотним осердям....	220
4.6.5. Приклади проектування стрілочних переводів для високих швидкостей руху	222
4.6.5.1. Приклад № 3. Проектування стрілочного переводу для прискореного руху поїздів по прямому та боковому напрямкам	222
4.6.5.2. Приклад № 4. Розрахунок і проектування хрестовини з рухомим поворотним осердям	240
4.7. Одиночні різносторонні симетричні стрілочні переводи	242
4.7.1. Особливості конструкції та застосування	242
4.7.2. Розрахунок різностороннього симетричного стрілочного переводу	243
4.7.2.1. Розрахунок основних геометричних параметрів симетричного стрілочного переводу з прямолінійними і криволінійними вістряками... ..	243
4.7.2.2. Розрахунок довжини бічної стрижки криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу	249
4.7.2.3. Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки.....	252
4.7.2.4. Розрахунок ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком.....	256
4.7.2.4-1. Рішення задачі за прикладом 1 (при $U_n^0 > \Pi_n$, рис. 4.38).....	257

4.7.2.4-2. Рішення задачі за прикладом 2 (при $U_a^0 < \text{Ш}_p$, рис. 4.39)	269
4.7.2.5. Розрахунок довжини рейок, що входять до складу стрілочного переводу	275
4.7.2.5-1. Розрахунок для симетричного переводу з прямолінійними вістряками	275
4.7.2.5-2. Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного переводу з криволінійними вістряками	276
4.7.2.6. Визначення координат для розбивки перевідної кривої симетричного стрілочного переводу	277
4.7.2.6-1. Розрахунок координат для розбивки перевідної кривої переводу з прямими вістряками	277
4.7.2.6-2. Розрахунок координат для розбивки перевідної кривої переводу з криволінійними вістряками	279
4.7.2.7. Проектування ширини колії в межах симетричного стрілочного переводу	280
4.7.2.8. Проектування епюри розкладки брусів в межах з'єднувальних колій симетричного стрілочного переводу	282
4.7.3. Приклад розрахунку одиночного різностороннього симетричного стрілочного переводу	282
4.8. Розрахунки і проектування глухих пересічень колій, з'їздів між коліями і стрілочних вулиць	297
4.8.1. Розрахунки глухих косокутних пересічень	297
4.8.1.1. Конструктивні особливості гострих і тупих хрестовин глухого пересічення	298
4.8.1.2. Особливості руху коліс тупими хрестовинами і розрахунок основних розмірів тупої хрестовини	299
4.8.2. Розрахунки з'їздів між коліями	304
4.8.2.1. Розрахунок нормального одиночного з'їзду між 2-ма паралельними лініями	304
4.8.2.2. Розрахунок одиночного скороченого з'їзду між 2-ма паралельними коліями	305
4.8.2.3. Розрахунок нормального перехресного з'їзду між 2-ма паралельними коліями	306
4.8.3. Розрахунки стрілочних вулиць	308
4.8.3.1. Розрахунок кінцевої прямолінійної стрілочної вулиці	308
4.8.3.2. Розрахунок кінцевої скороченої стрілочної вулиці	308
Список літератури	310
Додатки	313
Додаток А	313
Додаток Б	333
Додаток В	338

ВСТУП

Виданий у 2010 р. 2-томний підручник «Залізнична колія» (авт. професор Е.І. Даніленко) включив у свій обсяг основні розділи теоретичного курсу вказаної навчальної дисципліни. При чому практичних прикладів розрахунків і проектування конкретних конструкцій залізничної колії для заданих умов експлуатації в теоретичному курсі «Залізнична колія» не розглядалось з причин обмеженого загального обсягу підручника.

В теперішній час викладання курсу «Залізнична колія» здійснюється для студентів і магістрів основної спеціальності 273 «Залізничний транспорт» спеціалізації «Залізничні споруди та колійне господарство» протягом не менше 4-х семестрів і включає вивчення таких окремих розділів як: «Проектування і розрахунки рейкової колії», «Проектування і розрахунки стрілочних переводів та інших з'єднань і пересічень колій», «Розрахунки верхньої будови колії на міцність і стійкість», «Проектування і розрахунки земляного полотна», «Техніко-економічні розрахунки з вибору конструкції верхньої будови колії», тобто включається розгляд конкретних прикладів проектування залізничної колії.

Таким чином з'явилась необхідність у виданні нового підручника «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії», який практично є доповненням теоретичного курсу 2-томного підручника «Залізнична колія» видання 2010 р.

Основною задачею даного підручника є навчання студентів основам самостійних інженерно-технічних розрахунків по проектуванню елементів конструкцій залізничної колії, з урахуванням заданих або проектних умов експлуатації. Для цього в підручнику наведені основи теорії розрахунків, а також надані приклади розрахунків і проектування основних елементів і конструкцій залізничної колії за усіма розділами, які розглядаються. Таких прикладів проектування і розрахунків не має в курсі «Залізнична колія».

Підручник, складається з 2-х томів:

Том 1 включає 1-4 розділи: 1 — вихідні фактори й основоположні принципи оптимального проектування залізничної колії; 2 — проектування елементів конструкцій верхньої будови колії; 3 — проектування і розрахунки рейкової колії; 4 — розрахунки і проектування стрілочних переводів та інших конструкцій з'єднань і пересічень колій.

Том 2 включає 5, 6 і 7 розділи: 5 — техніко-економічні розрахунки щодо вибору типу і конструкції верхньої будови колії; 6 — розрахунки верхньої будови колії на міцність і стійкість; 7 — розрахунки і проектування земляного полотна.

Залізнична колія представляє собою комплексну інженерну конструкцію, що складається з багатьох окремих споруд і конструкцій, які повинні узгоджено і надійно працювати під дією рухомого складу і природніх факторів, забезпечуючи при тому надійну і безпечну роботу конструкції колії в цілому, а також усіх її елементів протягом тривалого періоду експлуатації.

Строки служби окремих елементів залізничної колії є різними: (від 1,5–3,0 років до 5–15 років — у деяких елементів верхньої будови колії, і до 50–100 років у окремих конструкцій штучних споруд (наприклад мостів і тунелів), але для забезпечення надійної і безпечної роботи усіх без виключення елементів верхньої і нижньої будови колії, треба вміти грамотно виконувати інженерно-технічні розрахунки на міцність, стійкість і довговічність усіх вказаних елементів конструкції залізничної колії.

При роботі під дією рухомого складу і природних агентів у залізничної колії з'являються пружні і залишкові деформації. Пружні деформації зникають після зняття напружень, але залишкові деформації поступово накопичуються і їх неможливо повністю виключити при оцінці деформативної роботи залізничної колії (наприклад, зминання поверхні кочення рейкових елементів, розповзання баласту, деформації земляного полотна на ін.). Тому задача грамотного інженерного проектування і будівництва залізничної колії полягає в тому, щоб забезпечити, по можливості, роботу основних конструктивних елементів переважно в пружній стадії, а при неможливості цього (в деяких випадках) забезпечити обмеження розвитку залишкових деформацій повільно в часі і рівномірно по довжині колії.

Задачі дещо іншого напрямку можуть ставитись при проектуванні таких інженерних конструкцій як, наприклад, стрілочні переводи або інші види з'єднань і пересічень колій. При проектуванні таких конструкцій крім міцності і надійності виникає задача пошуку: або найбільш конструктивно правильних рішень для забезпечення заданих умов експлуатації, або найбільш економічних і технологічних рішень, виходячи наприклад, з умов стандартизації і типізації.

Саме тому, в даному підручнику надані усі необхідні теоретичні методики (в межах викладеного навчального курсу дисципліни), а також наведені приклади рішень основних інженерно-технічних задач для можливості навчання студентів самостійному проектуванню елементів конструкцій залізничної колії.

В підручнику відсутні питання, що пов'язані з проектуванням деяких типових елементів верхньої будови колії, які є вже в більшості стандартизовані (рейки, шпали, скріплення), а також відсутні питання з проектування деяких досить складних інженерних конструкцій, що хоча і входять до складу залізничної колії (таких як мости, тунелі та ін.), але їх проектування і розрахунки вивчаються в окремих навчальних дисциплінах.

В процесі підготовки підручника автори користувались раніше виданою навчальною літературою для даної спеціальності, розробленою членами авторського колективу, і також нормативно-технічною літературою для колійної галузі Укрзалізниці, виданої в тому числі за участю членів авторського колективу, яка визнана як необхідна для вивчення навчальних дисциплін, що безпосередньо відносяться до проектування і розрахунків залізничної колії. До таких видань відносяться роботи: [1, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 21, 22, 24, 25, 26, 29, 31, 37, 40, 41], що перераховані в списку літератури до даного підручника.

Також автори користувались раніше виданими працями відомих вчених і фахівців колійної галузі колишнього СРСР, що були призначені для навчання в ВНЗ СРСР. До таких видань відносяться роботи: [2, 3, 4, 5, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 23, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 43], що перераховані в списку літератури до даного підручника.

Автори висловлюють вдячність усім вченим і фахівцям, які прямо чи опосередковано сприяли підготовці до видання даного підручника, в тому числі особисту вдячність висловлюють фахівцям, які взяли на себе рецензування даного підручника і зробили цінні вказівки до його змісту: зав. кафедри «Теоретична та прикладна механіка» КІЗТ ДУІТ (Київ) докт. техн. наук, професору Косарчуку В.В., зав. кафедри «Колія та колійне господарство» Українського державного університету залізничного транспорту (Харків). канд. техн. наук, професору Шрамченко В.П., зав. кафедри «Будівництво і експлуатація доріг» Білоруського державного університету транспорту (Білорусь), канд. техн. наук, доценту Ковтун П.В., зав. кафедри «Програмне забезпечення автоматизованих систем» Запорізької державної інженерної академії (Запоріжжя), докт. фіз.-мат. наук., професору за спеціальністю «Залізнична колія» Вербицької В.Г. Головному інженеру (2003–2017 рр.) Департаменту колії та споруд ПАТ «Укрзалізниця» Яковлеву В.О.

Окрему особисту вдячність за підготовку підручника до видання, комп'ютерний набір і комп'ютерний дизайн авторський колектив висловлює старшому викладачу кафедри ЗККГ ДУІТ Олійник О.А. та м.н.с. Яремчуку Б.В.

Підручник підготовлено авторським колективом:

- д.т.н., професор Е.І. Даніленко (вступ, розділи 1; 2.3 (в розд. 3 одноосібно §§3.1; 3.2; 3.2.1– 3.2.7; §3.2.8.1 (сумісно з М.Б. Курганом); в розд. 4 одноосібно: §§4.1–4.6; 4.7.1; 4.7.2; 4.7.2.1; 4.8.1–4.8.3; §§4.7.2.2–4.7.2.6 (сумісно з Олійник О.А.);
- к.т.н., доцент В.М. Молчанов (в розд. 3 §3.2.7.1, приклади розрахунків 1–4 (сумісно з Е.І. Даніленком); §3.2.7.2, приклади розрахунків 5–6 (сумісно з Е.І. Даніленком); §3.2.7.3 та приклад розрахунків 7 (сумісно з В.Д. Бойком); §3.2.7.4 та приклади розрахунків 8–9 (сумісно з В.Д. Бойком)); в розд. 4.2 п. 4 (сумісно з Е.І. Даніленком);
- д.т.н., професор М.Б. Курган (в розд. 3 одноосібно §§3.2.8.2; 3.2.8.3; 3.2.8.4; 3.2.9. з прикладами 1–4; сумісно з Е.І. Даніленком §3.2.8.1);
- к.т.н., доцент В.Д. Бойко (в розд. 3 §§3.2.7.3 та приклад розрахунків 7 (сумісно з В.М. Молчановим). §3.2.7.4 та приклади розрахунків 8, 9 (сумісно з В.М. Молчановим));
- к.т.н., доцент В.М. Твердомед (в розд. 3 §3.2.6.1 (сумісно з Е.І. Даніленком); в розд. 4 (сумісно з О.О. Сорокою) приклад розрахунку 2 §4.4.15; приклад розрахунку 3 §4.6.3;
- ст. викладач О.А. Олійник (в розд. 4 одноосібно: §§4.7.2.7; 4.7.2.8; 4.7.3; приклад розрахунку симетричного стрілочного переводу; §§4.7.2.2–4.7.2.6 (сумісно з Е.І. Даніленком);
- ст. викладач О.О. Сорока (в розд. 4 одноосібно: приклади розрахунку 1 §4.4.15; приклад розрахунку 4 §4.6.3; (сумісно з В.М. Твердомедом) приклад розрахунку 2 §4.4.15; приклад розрахунку 3 §4.6.3.

3.2.8. Особливості проектування кривих на лініях прискореного руху поїздів ($V = 141 - 160$ км/год)

При проектуванні або реконструкції кривих при впровадженні прискореного руху поїздів зі швидкостями від $V = 141$ км/год до $V = 160$ км/год необхідно враховувати цілий ряд додаткових критеріїв з безпеки руху поїздів та забезпечення плавності і комфортабельності їх руху, порівняно з рухом поїздів зі звичайними швидкостями $V \leq 140$ км/год.

При цьому слід враховувати встановлені міжнародними стандартами допустимі значення непогашених прискорень $[a_{\text{нп}}]$ (у горизонтальній і вертикальній площинах), а також критеріїв плавності зміни цих параметрів при вході і виході з кривих. У зв'язку з цим потрібні особливі підходи при розрахунках підвищення зовнішньої рейки в кривих, визначенні мінімальних радіусів кривих у криволінійних ділянках і проектуванні перехідних кривих. Особливості проектування кривих на лініях прискореного руху поїздів для українських залізниць викладені в розділах 8 і 9 «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» ЦП-0269 [6].

3.2.8.1. Класифікація колій і напрямків руху прискорених поїздів за критеріями безпеки руху, плавності та комфортабельності їзди

Згідно «Інструкції» ЦП-0269 [9] на українських залізницях лінії прискореного руху віднесені до I категорії колій з додатковим якісним показником, що враховує класифікацію напрямків. Напрямки руху поїздів розділяються залежно від структури поїздопотоків, категорій поїздів, що обертаються, та швидкостей руху. Класифікація напрямків за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків наведена в Інструкції [6] в табл. 8.1. Тут дана таблиця наведена за номером 3.16.

Таблиця 3.16

Класифікація напрямків за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Категорії поїздів і структура поїздопотоків	Максимальне навантаження на вісь, кН/вісь
I-П	Прискорений пасажирський рух суміщений з прискореним рухом приміських поїздів	$141 \leq V_{\text{стал.ог}} \leq 160$ $V_{\text{прим.приск}} = 91 - 140$	$n_{\text{приск}}$ — прискорені пасажирські поїзди ($n_{\text{приск}} = \text{не менш } 85-90\%$); $n_{\text{прим.приск}}$ — прискорені приміські поїзди ($n_{\text{прим.приск}} = 10-15\%$);	Моторвагонні секції/ локомотиви прискорених пасажирських поїздів 180/215, вагони пасажирських прискорених поїздів 160
I-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$121 \leq V_{\text{стал.ог}} \leq 160$ $V_{\text{прим.приск}} = 91 - 140$ $V_{\text{вант}} = 71 - 90$	$n_{\text{приск}}$ — прискорені пасажирські поїзди ($n_{\text{приск}} = 60-70\%$); $n_{\text{прим.приск}}$ — прискорені приміські поїзди ($n_{\text{прим.приск}} = 15-20\%$); $n_{\text{зб}}$ — вантажні + збірні поїзди ($n_{\text{зб}} = 7-10\%$)	Моторвагонні секції/ локомотиви прискорених пасажирських поїздів 180/215, вагони пасажирських прискорених поїздів 160, локомотиви/вагони вантажних збірних поїздів 230/215, локомотиви/вагони вантажних звичайних поїздів 235/232

При впровадженні прискореного руху поїздів розглядається 2 види напрямків:

- І-П — прискорений рух суто пасажирських поїздів (Суміщення з вантажними поїздами не передбачено);
- І-ПС — сумішений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами (Суміщення з вантажними звичайними поїздами дозволяється тільки в окремих випадках, згідно пояснень табл. 3.16).

Для забезпечення безпеки руху поїздів, плавності і комфортабельності їзди, умов стійкості, міцності і надійності експлуатації колії *структуру поїздопотоків і розподілення в ній категорії поїздів* слід призначати залежно від класифікації напрямків руху поїздів.

Класифікація напрямків за критеріями безпеки руху поїздів, плавності і комфортабельності їзди також регламентується відповідно до Інструкції [6] в табл. 8.2 для різних категорій колій (І-П і І-ПС). Тут дана таблиця наведена за номером 3.17.

Таблиця 3.17

Класифікація напрямків за критеріями безпеки, плавності й комфортабельності їзди

Характеристика напрямку		Максимальне допустиме непогашене прискорення $a_{\text{нп}}^{\text{доп}}$, м/с ²	Максимальна допустима зміна непогашеного прискорення за одиницю часу $\psi^{\text{доп}}$, м/с ³	Максимальна допустима швидкість підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки $f_v^{\text{доп}}$, мм/с	Максимальна допустима крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки i_v , ‰
І-П	Прискорений пасажирський рух сумішений з прискореним рухом приміських поїздів	$a_{\text{нп}}^{\text{приск}^{\text{пас}}} = 0,7$	$\psi = 0,5$	$f_v = 30$	$i_v = 0,67$
І-ПС	Сумішений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$a_{\text{нп}}^{\text{приск}^{\text{пас}}} = 0,7$ $a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,3$	$\psi = 0,6$	$f_v = 30$	$i_v = 0,67$

Пояснення до таблиці 3.17

1. В обґрунтованих випадках, з метою ліквідації обмежень швидкості в окремих кривих, в залежності від типу локомотива допустиме значення непогашених прискорень для прискорених поїздів з дозволу Укрзалізниці може бути збільшено до $a_{\text{нп}}^{\text{приск}^{\text{пас}}} = 0,8-1,0$ м/с²;
2. На напрямках з великою різницею між максимальними швидкостями пасажирських і вантажних поїздів при техніко-економічному обґрунтуванні й узгодженні з Укрзалізницею допустиме значення непогашених прискорень для вантажних поїздів може бути збільшено до $a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,4$ м/с².

3.2.8.2. Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих на лініях прискореного руху поїздів

На відміну від залізничних ліній для звичайних швидкостей руху поїздів ($V \leq 140$ км/год), методика визначення яких викладена раніше у розділі 3.2.4, методика визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих на лініях прискореного руху суттєво відрізняється від типової.

Згідно Інструкції ЦП-0269 (частина 2) [9] розрахункове підвищення зовнішньої рейки в кривих на лініях прискореного руху поїздів визначається залежно від класифікації напрямку і структури поїздопотоків за формулами, наведеними в таблиці 8.3 [6]. Тут дана таблиця наведена за номером 3.18.

Таблиця 3.18

Підвищення зовнішньої рейки в кривих залежно від характеристик напрямку і типу поїзда

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Розрахункова формула
І-П	Прискорений пасажирський рух суміщений з прискореним рухом приміських поїздів	$141 < V_{\text{max пас}} \leq 160$ $V_{\text{приміськ}} = 91-140$	$h = \frac{S_1}{g} \left[\frac{V_{\text{max}}^2}{3,6^2 \cdot R} - a_{\text{доп}} \right] \quad (3.88)$ h_{min} при $a_{\text{min}}^{\text{приміськ/пас}}$, формула (3.88)
		$121 < V_{\text{max пас}} \leq 160$ $V_{\text{приміськ/пас}} = 91-140$ $V_{\text{доп}} = 71-90$	h_{min} при $a_{\text{min}}^{\text{приміськ/пас}}$, формула (3.88) $h_{\text{ср.м}}^{\text{ср.м}} = 12,5 \cdot \frac{V_{\text{ср.м}}^2}{R} \pm \Delta h \quad (3.89)$ h_{max} при $a_{\text{доп}}^{\text{приміськ/пас}}$, формула (3.88) $h_{\text{рек}} = h_{\text{модифікація}}$ (з формул 3.88 і 3.89)
І-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$121 < V_{\text{max пас}} \leq 160$ $V_{\text{приміськ/пас}} = 91-140$ $V_{\text{доп}} = 71-90$	h_{min} при $a_{\text{min}}^{\text{приміськ/пас}}$, формула (3.88) $h_{\text{ср.м}}^{\text{ср.м}} = 12,5 \cdot \frac{V_{\text{ср.м}}^2}{R} \pm \Delta h \quad (3.89)$ h_{max} при $a_{\text{доп}}^{\text{приміськ/пас}}$, формула (3.88) $h_{\text{рек}} = h_{\text{модифікація}}$ (з формул 3.88 і 3.89)

Пояснення до таблиці 3.18

У наведених формулах (3.88–3.89) прийнято: $V_{\text{max пас}}$ і $V_{\text{max вантаж}}$ — максимальні швидкості в кривій відповідно пасажирського (прискореного) й вантажного руху поїздів, км/год; $V_{\text{ср.м}}$ — середньозважена швидкість поїздопотоків, км/год (розраховується за методикою, викладеною в «Правилах визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії» (ЦП-0236) [15]); $\pm \Delta h$ — допустимі відхилення підвищення зовнішньої рейки кривої відносно розрахованого за середньозваженою квадратичною швидкістю, мм (див. табл. 2.3 «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП-0269) [6]); R — радіус кривої, м; $S_1 = 1600$ мм — відстань між рейками по осям; $g = 9,81$ м/с² — прискорення сили тяжіння.

Встановлені значення підвищень перевіряються на допустимі значення показників табл. 3.17 для всіх категорій поїздів за швидкостями в конкретних кривих. Для вантажних поїздів непогашені прискорення перевіряються як для максимальної, так і мінімальної швидкості.

Для практичного визначення величини підвищення зовнішньої рейки в кривих, відповідно до класифікації напрямків, слід користуватись вказівками, викладеними в Інструкції [9], табл. 8.4, 8.5, 8.6, які тут наведені за номерами 3.19, 3.20, 3.21. А саме табл. 3.19 застосовується для напрямку І-ІІ, таблиця 3.20 застосовується для напрямку І-ПС (формула 3.88), а табл. 3.21 застосовується для урахування середньозваженої швидкості за формулою 3.89.

Значення підвищень в табл. 3.20 з виноскою *) встановлюється з дозволу Укрзалізниці для збільшеного нормативу непогашених прискорень для вантажних поїздів $a_{np}^{доп} = \pm 0,4 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 3.19

Мінімальне підвищення зовнішньої рейки, h_{\min} , мм, в кривих за максимальною швидкістю руху пасажирського поїзда (напрямок І-ІІ)

Радіуси, м	Максимальна швидкість руху, км/год				
	140	145	150	155	160
900	110 ³	130 ³			
1000	130	135 ¹	150 ¹	140 ³	
1100	110	125	140	145 ¹	145 ²
1200	90	105	120	135	150
1300	75	85	100	115	130
1400	60	75	85	100	115
1500	50	60	75	85	100
1600	40	50	60	75	85
1700	30	40	50	60	75
1800	20	30	40	50	65
1900	15	25	35	45	55
2000	10	15	25	35	45
2100		10	20	30	35
2200		5	15	20	30
2300			5	15	25
2400				10	20
2500				5	15
2600					10
2700					5

Примітка: — в таблиці жирним шрифтом наведені значення підвищень зовнішньої рейки в кривих для $a_{np}^{приск\,нас}$ 0,7 м/с², за винятком позначених виноскою:

1) $a_{np}^{приск\,нас} = 0,8 \text{ м/с}^2$; 2) $a_{np}^{приск\,нас} = 0,9 \text{ м/с}^2$; 3) $a_{np}^{приск\,нас} = 1,0 \text{ м/с}^2$.

Якщо мінімальне підвищення h_{\min} за табл. 3.20 перевищує підвищення, встановлене за середньозваженою швидкістю $h_{\text{ср.зв.}}^{\text{розр.}}$ за табл. 3.21 більше ніж на величину Δh (див. ф. (3.89)), то для запобігання інтенсивного розладу колії рекомендується зменшити підвищення прийняте за табл. 3.20 приблизивши його до значення за табл. 3.21. Але слід враховувати, що зменшення підвищення, яке відповідає непогашеному прискоренню $a_{np}^{шв\,нас} = 0,7 \text{ м/с}^2$, на 15, 30, 50 мм викличе збільшення непогашеного прискорення пасажирських поїздів відповідно до $a_{np}^{шв\,нас} = 0,8 \text{ м/с}^2$, $a_{np}^{шв\,нас} = 0,9 \text{ м/с}^2$, $a_{np}^{шв\,нас} = 1,0 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 3.20

Мінімальне підвищення зовнішньої рейки, $h_{\text{мн}}$, мм, в кривих за максимальною швидкістю руху пасажирського поїзда (напрямок І-ПС)

Радіус, м	Максимальна швидкість руху, км/год				
	120	130	140	150	160
700	125 ¹ -140*	140 ^{1*}			
800	110	115 ² -135 ^{1*}			
900	85	105 ¹ -120*	110 ^{3*}		
1000	65	95	100 ² -115 ^{1*}	120 ^{3*}	
1100	50	75	95 ¹ -110*	95 ² -110 ^{2*}	
1200	35	60	90	85 ² -105 ^{1*}	105 ^{3*}
1300	25	50	75	85 ¹ -100*	85 ¹ -100 ^{2*}
1400	15	35	60	85	80 ² -100 ^{1*}
1500	5	25	50	75	85 ¹ -100*
1600		15	40	60	85
1700		10	30	50	75
1800			20	40	65
1900			15	35	55
2000			10	25	45
2100				20	35
2200				15	30
2300				5	25
2400					20
2500					15
2600					10
2700					5

Примітка: — в таблиці жирним шрифтом наведені значення підвищень зовнішньої рейки в кривих для $a_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ за винятком позначених виноскою: 1) $a_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 0,8 \text{ м/с}^2$; 2) $a_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 0,9 \text{ м/с}^2$; 3) $a_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 1,0 \text{ м/с}^2$.

Пояснення до таблиці 3.20

При вказаній величині підвищення з виноскою ³⁾ на вантажні поїзди, що рухаються з мінімальною встановленою швидкістю руху $V_{\text{мін}}^{\text{вст}} = 70 \text{ км/год}$ будуть діяти від'ємні непогашені прискорення більше встановлених допустимих значень $a_{\text{нпог}}^{\text{вст}} = -0,3 \text{ м/с}^2$ (в межах $a_{\text{нп}} = -0,3-0,4 \text{ м/с}^2$). Розрахунок величини фактичних непогашених прискорень виконується для мінімальної швидкості вантажних поїздів $V_{\text{мін}}^{\text{вст}}$ за формулою:

$$a_{\text{нп}} = \frac{V_{\text{мін}}^2}{3,6^2 R} - \frac{g \cdot h}{S_1} \quad (3.90)$$

Для різних категорій поїздів допустимі швидкості руху в кривих різних радіусів, в тому числі в сполучених та складових кривих, визначаються відповідно до «Правил визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії» (ЦП-0236) [15].

Таблиця 3.21

Підвищення зовнішньої рейки $h_{\text{розр.}}^{\text{серед.}}$, мм, в кривих за середньозваженою швидкістю поїздопоток (напрямок І-ПС, формула (3.89))

Радіус, м	Середньозважена швидкість руху, км/год								
	80	85	90	95	100	105	110	115	120
800	100	115	125	140					
850	95	105	120	135					
900	90	100	115	125	140				
1000	80	90	100	115	125	140			
1100	75	80	90	105	115	125	140		
1200	65	75	85	95	105	115	125	140	
1300	60	70	80	85	95	105	115	125	140
1400	55	65	70	80	90	100	110	120	130
1500	55	60	70	75	85	90	100	110	120
1600	50	55	65	70	80	85	95	105	115
1700	45	55	60	65	75	80	90	95	105
1800	45	50	55	65	70	75	85	90	100
1900	40	50	55	60	65	75	80	85	95
2000	40	45	50	55	65	70	75	85	90
2500	30	35	40	45	50	55	60	65	70
3000	25	30	35	40	40	45	50	55	60
3500	25	25	30	30	35	40	45	45	50
4000	20	25	25	30	30	35	40	40	45

Примітка: незаповнені клітинки слід розуміти так, що при відповідних швидкостях руху й радіусах кривих (на пересіченні рядка й стовпчика) величина підвищення зовнішньої рейки перевищує допустиме значення 150 мм або величина підвищення є недопустимою за критерієм непогашених прискорень.

3.2.8.3. Вимоги до плану лінії при проектуванні і реконструкції залізничних колій для прискореного руху поїздів

Впровадження прискореного ($V=141-160$ км/год) і швидкісного ($V=161-200$ км/год) руху поїздів на залізницях потребує спеціальних вимог до залізничних ліній в частині їх алаштування у плані і профілі. Такі вимоги потрібно задовольняти або у період проектування і будівництва нових залізниць, або на етапі реконструкції залізничних ліній звичайного руху, передбачених для впровадження прискореного або швидкісного руху поїздів.

При реконструкції залізниць звичайного руху для впровадження на них прискореного руху поїздів однією з найважливіших робіт є перебудова плану лінії, яка включає виправлення існуючих кривих у плані з відновленням проектних радіусів, або перебудова існуючих кривих у плані з улаштуванням таких нових мінімальних радіусів, які потрібні для забезпечення безпеки і плавності руху поїздів при нових більш високих швидкостях руху, що встановлюються.

3.2.8.3.1. Радіуси кривих у плані

Згідно «Державних будівельних норм проектування і будівництва» споруд транспорту ДБН В.2.3-19-2008 [16] залізничні лінії для швидкісного і прискореного руху поїздів потрібно проектувати і будувати таким чином, щоб найкращим чином були забезпечені умови безпеки руху поїздів, плавності і комфортабельності їзди. А це можливо при присутності найбільшої кількості у плані лінії прямих ділянок і при сполученні прямих з кривими лише таким чином, щоб були виконані вимоги по плавності руху поїздів і комфортабельності їзди.

Згідно «Інструкції з улаштування та утримання колії» ЦП/0269 [6] на залізничних лініях України, які призначені для прискореного руху поїздів, встановлено визначати мінімальні радіуси кривих за розрахунковими формулами, наведеними в табл. 9.1 [6], залежно від категорій лінії. В нашому тексті дана таблиця наведена за номером 3.22.

Таблиця 3.22

Мінімальний радіус кривої залежно від характеристик напрямку і типу поїздів

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Розрахункова формула
I-П	Прискорений пасажирський рух суміщений з прискореним рухом приміських поїздів	$141 < V_{\max \text{ пас}} \leq 160$ $V_{\text{прим. приск.}} = 91-140$	$R_{\min} = \frac{S_1 \cdot V_{\max \text{ пас}}^2}{3,6^2 (S_1 [a_{\text{пн}}^{\text{пас}}] + gh)} \quad (3.91)$
I-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$121 < V_{\max \text{ пас}} \leq 160$ $V_{\text{прим. приск.}} = 91-140$ $V_{\text{вантаж.}} = 71-90$	$R_{\min} = \frac{V_{\max \text{ пас}}^2 - k V_{\text{сер. п}}^2}{3,6^2 [a_{\text{пн}}^{\text{пас}}]} \quad (3.92)$
			$R_{\min} = \frac{V_{\max \text{ вант.}}^2 - k V_{\text{сер. п}}^2}{3,6^2 [a_{\text{пн}}^{\text{вант.}}]} \quad (3.93)$
			$R_{\min} = \frac{V_{\max \text{ пас}}^2 - V_{\max \text{ вант.}}^2}{3,6^2 [a_{\text{пн}}^{\text{пас}} - a_{\text{пн}}^{\text{вант.}}]} \quad (3.94)$
			$R_{\text{рек}} = R_{\min} \text{ (з формул 3.92 — 3.94)}$

Примітка: У формулах (3.92 і 3.93) коефіцієнт k враховується як $k = k_0 \cdot k_1$, де k_0 — коефіцієнт, що враховує зміщення центру тяжіння екіпажу при вписуванні в зовнішню сторону по відношенню до осі кривої; згідно рекомендацій [31] приймається: при швидкості до 140 км/год $k_0 = 1,0$; при швидкості більше 140 км/год $k_0 = 1,2$.

Пояснення до таблиці 3.22.

При визначенні фактичних швидкостей руху поїздів за даними швидкісними стрічками приймається $k_1 = 1$ і загальний коефіцієнт визначається як $k = k_0$.

Крім того, в «Правилах» [15] у формулах (3.92 і 3.93) рекомендовано вводити коригувальний коефіцієнт k_1 для урахування максимально можливих за тяговими розрахунками швидкостей потоку усіх поїздів при визначенні середньозваженої швидкості $V_{ср} = k_1 \cdot V_{ср}^{max}$, де $k_1 = 0,75-0,85$.

У цьому випадку загальне значення коефіцієнта k у формулах (3.92 і 3.93) рекомендується приймати:

- при реалізуємих швидкостях до 140 км/год $k = k_0 \cdot k_1 = 1,0 \cdot 0,85 = 0,85$;
- при реалізуємих швидкостях більше 140 км/год $k = k_0 \cdot k_1 = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96$.

Для практичних розрахунків щодо визначення мінімальних радіусів на напрямках пасажирського прискореного руху І-П може використовуватись таблиця 9.2 [9], яка наведена в даному тексті за номером 3.23.

На напрямках сумішеного руху прискорених пасажирських і вантажних поїздів — І-ПС мінімальний радіус визначається залежно від умов експлуатації за табл. 9.3, 9.4, 9.5 [9], наведеними в даному тексті за номерами 3.24, 3.25, 3.26.

Криволінійні ділянки між прямими з кутом повороту більше 5 хвилин слід класифікувати як кути повороту осі колії (злами) і в таких місцях необхідно влаштовувати кругові криві радіусом 10 000 м без перехідних кривих.

Таблиця 3.23

Мінімальні радіуси кривих, м, за формулою 3.91 на напрямку І-П

Непогашене прискорення, $a_{приск}^{max}$ м/с ²	Максимальна швидкість пасажирського поїзда, км/год				
	140	145	150	155	160
0,7	934	1000	1070	1140	1210
0,8	880	945	1010	1080	1150
0,9	830	890	955	1020	1085
1,0	790	845	905	970	1030

Таблиця 3.24

Мінімальні радіуси, м, за формулою 3.92 на напрямку І-ПС

Середньозважена швидкість поїздопотоку, км/год	Максимальна швидкість пасажирського поїзда, км/год				
	120	125	130	135	140
80	810	950	1090	1230	1380
85		850	990	1130	1280
90			880	1030	1180
95				910	1070

Таблиця 3.25

Мінімальні радіуси, м, за формулою 3.93 на напрямку І-ПС

Середньозважена швидкість, км/год	Мінімальна швидкість вантажного поїзда, км/год				
	70	75	80	85	90
85	760				
90	1030	840			
95	1290	1110	910		
100	1570	1380	1180	970	750
105	1860	1670	1470	1260	1040
110	2160	1980	1780	1570	1340

Таблиця 3.26

Мінімальні радіуси, м, за формулою 3.94 на напрямку І-ПС

Мінімальна швидкість вантажного поїзда, км/год	Максимальна швидкість пасажирського поїзда, км/год					
	135	140	145	150	155	160
70	990	1100	1210	1320	1440	1560
75	930	1030	1140	1260	1380	1500
80			1080	1190	1310	1430
85			1010	1120	1240	1360
90						1290

Примітка: незаповнені клітинки в табл. 3.23-3.26 слід розуміти так, що при відповідних швидкостях руху (на пересіченні рядка й стовпчика) можна використовувати всі значення радіусів, які задовольняють швидкостям відповідних категорій поїздів згідно класифікації (табл. 3.16) при підвищенні зовнішньої рейки в кривих до 150 мм включно.

3.2.8.3.2. Довжина перехідних кривих

Кругові, криві з прямими ділянками, а також складові (багаторадіусні) криві різних радіусів необхідно сполучати перехідними кривими. Форма перехідної кривої зберігається у вигляді радіоїдальної спіралі з лінійним відводом підвищення й кривизни.

Як і на залізничних коліях із встановленими звичайними швидкостями руху $V \leq 140$ км/год на лініях прискореного руху поїздів довжина перехідної кривої встановлюється за умовами забезпечення:

- відводу підвищення зовнішньої рейки, що визначається швидкістю підйому колеса по відводу зовнішньої рейки f , за формулою (3.95);

$$l = \frac{h \cdot V_{\text{max}}}{3,6 \cdot [f]}; \quad (3.38)'$$

- відводу кривизни, що визначається швидкістю наростання поперечного непогашеного прискорення ψ за формулою (3.96).

$$l = \frac{a_{\text{пл}} \cdot V_{\text{max}}}{3,6 \cdot [\psi]}. \quad (3.39)'$$

Нормативні значення $[f]$ і $[\psi]$ приймаються відповідно табл. 8.2 Інструкції [6] (тут дана таблиця наведена за номером 3.17). Більше значення перехідної кривої з двох, отриманих за формулами (3.38)' і (3.39)', приймається як остаточне.

Якщо положення кривої в плані дозволяє виконати подовження перехідних кривих, то перебудова кривих при впровадженні прискореного руху повинна забезпечувати максимальне значення параметра $C = R \cdot l$, тобто мінімально допустимий радіус R_{\min} і максимальні перехідні криві l_{\max} для отримання мінімальної вартості реконструкції ділянки, мінімальної дії горизонтальних сил па колію і максимально допустимої швидкості відповідно до табл. Д.1 Інструкції ЦП-0236 [15] (в нашому посібнику див. табл. 3.15 в розділі 3.2.7.4).

При встановленні довжини перехідних кривих на напрямках суто пасажирського прискореного руху поїздів — І-П слід орієнтуватись на реалізацію в кривих якомога більшої швидкості, поки не буде досягнута максимальна (рис. 3.23).

Для практичного користування мінімальна довжина перехідних кривих на напрямках І-П визначається за графіками (рис. 3.23) або за табл. 3.27 залежно від рівня максимальної швидкості.



Рис. 3.23. Залежність довжини перехідної кривої від радіуса кривої і максимальної швидкості руху

Таблиця 3.27

Довжина перехідних кривих на напрямках І-П

V_{\max} , км/год	Довжина перехідної кривої для радіусів, м										
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
120	120	130	150	110	80	60	50	30	20	20	10
130	120	130	150	160	140	120	100	80	60	50	30
140	120	130	150	160	180	160	130	110	90	70	60
150	120	130	150	160	180	190	190	160	140	110	100
160	120	130	150	160	180	190	200	220	190	170	140

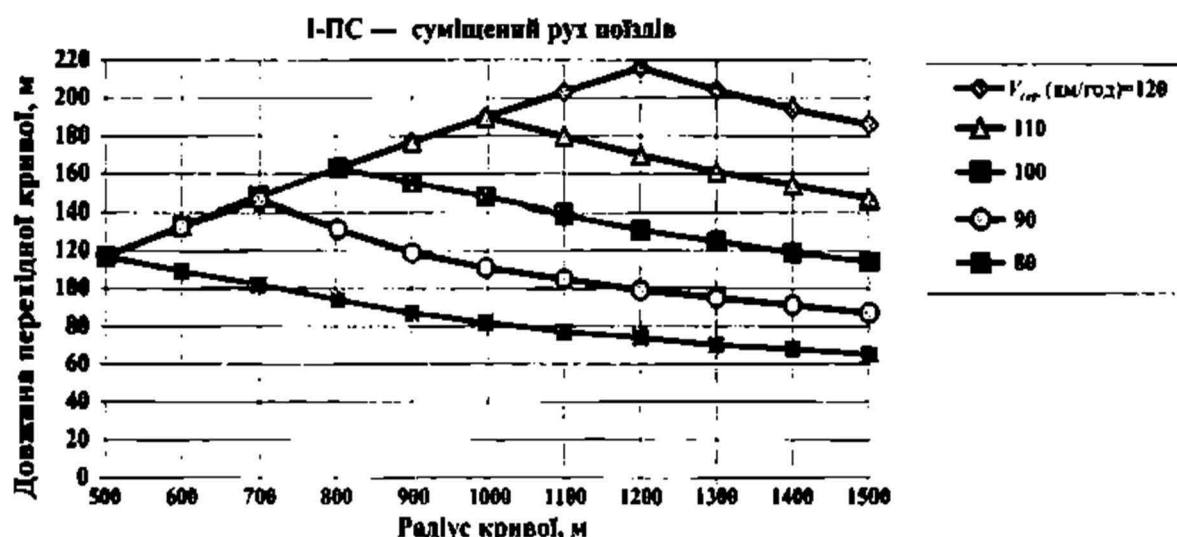


Рис. 3.24. Залежність довжини перехідної кривої від радіуса для потоку поїздів

Таблиця 3.28

Довжина перехідних кривих на лініях I-ПС

$V_{сер}$, км/год	Довжина перехідної кривої для радіусів, м										
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
80	120	110	100	90	90	80	80	70	70	70	70
90	120	130	140	130	120	110	100	100	90	90	90
100	120	130	150	160	150	150	140	130	120	120	110
110	120	130	150	160	180	190	180	170	160	150	150
120	120	130	150	160	180	190	200	220	200	190	190

На напрямках суміщеного руху прискорених пасажирських, вантажних і звичайних вантажних поїздів — I-ПС мінімальна довжина перехідних кривих визначається за графіками на рис. 3.24 залежно від середньозваженої швидкості потоку поїздів або за табл. 3.28.

Кругова крива вважається динамічно плавною (відхилення не перевищують номінальних значень), якщо різниця стріл вигину $\Delta f_{кр}$ в суміжних точках через 10 м при довжині хорди $a=20$ м не перевищує величини, що визначається за формулою (3.95) або за табл. 3.29

$$\Delta f_{кр} = \frac{125 \cdot [\psi] \cdot a^3 \cdot 3,6^3}{2 \cdot V^3}, \quad (3.95)$$

Стан перехідних кривих оцінюється за відхиленнями від рівномірного наростання стріл вигину. Номінальні відхилення, що допускаються від рівномірного наростання стріл на перехідних кривих у точках, розташованих через 10 м при довжині хорди $a=20$ м визначаються за формулою (3.96) або приймаються за табл. 3.29.

$$\Delta f_{нх} = \frac{125a^3}{4 \cdot C_{мах}}, \quad (3.96)$$

де $C_{мах}$ — найбільше значення параметру (мінімально допустимий радіус $R_{мах}$ і максимальні перехідні криві $l_{мах}$), при яких забезпечується максимальна швидкість.

Таблиця 3.29

Нормативні дані щодо утримання динамічно плавних кривих, мм

Показники	Значення номінальних відхилень (допусків) при максимальній швидкості руху, км/год				
	120	130	140	150	160
Різниця суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круговій кривій	8	6,5	5	3,5	3
Найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих	5	4	3	2	2

3.2.8.4. Вимоги до поздовжнього профілю лінії при проектуванні і реконструкції залізничних колій для прискореного руху поїздів

Поздовжній профіль при реконструкції залізниць для швидкісного руху має відповідати вимогам «Державних будівельних норм і правил «Залізничні колії 1520 мм» ДБН В.2.3-19-2008 [16] і додатковим вимогам даного розділу.

Згідно «Інструкції з улаштування та утримання колій залізниць України» ЦП/0269 [6] поздовжній профіль на лініях прискореного руху поїздів повинен відповідати наступним вимогам.

При реконструкції поздовжнього профілю на ділянках, де змінюється конфігурація профілю (яма-горб-яма...), слід віддавати перевагу профілю криволінійного обрису запроєктованого вертикальною кривою радіусом R_v з плавною послідовною зміною крутості ухилів, при якому досягається найменший час руху і має місце більш низький рівень поздовжніх і вертикальних прискорень, що сприяє комфортабельній їзді.

Величина радіуса вертикальної кривої визначається за формулою:

$$R_v = \frac{\Delta l}{\Delta i}, \quad (3.97)$$

де Δl — довжина елемента поздовжнього профілю; приймається 100...25 м; Δi — алгебраїчна різниця ухилів 0...1,5 ‰, що сполучаються. (Найменше значення Δl і найбільше значення Δi застосовуються в важких умовах).

Локальні вертикальні криві слід передбачати у випадках, коли алгебраїчна різниця ухилів, що сполучаються, більша $\Delta i \geq \sqrt{\frac{80}{R_v^{\text{ток}}}}$, тобто: $\Delta i \geq 2,0 \text{ ‰}$ при $R_v^{\text{ток}} = 20 \text{ км}$, $\Delta i \geq 2,3 \text{ ‰}$ при $R_v^{\text{ток}} = 15 \text{ км}$, $\Delta i \geq 2,8 \text{ ‰}$ при $R_v^{\text{ток}} = 10 \text{ км}$.

3.2.9. Приклади визначення розрахункових параметрів кривих при їх перебудові для впровадження прискореного руху поїздів (з використанням методики, викладеної в розділах 8 і 9 Інструкції ЦП-0269)

Загальні положення

Дотримання критеріїв міцності та стійкості колії, за якими встановлюються умови обертання рухомого складу [19], не в усіх випадках обмежує інтенсивність накопичення в колії

розладів і зносу її елементів. Особливо це стосується улаштування та утримання колії в кривих ділянках. Так, неправильно встановлене підвищення зовнішньої рейки призводить до зсувів колії, розладів ширини колії, прискоренню бічного зносу рейок. Створення багаторадіусних кривих замість однорадіусних з метою зменшення обсягу зсувів при рихтуванні не тільки швидше дестабілізує колію, але й викликає появу численних перехідних зон, які при неправильному улаштуванні представляють загрозу безпеці руху поїздів.

Існуючі підходи та припущення, якими проектувальники користувались при вирішенні розрахункових параметрів плану та профілю кривих при швидкостях руху поїздів до $V = 100\text{--}140$ км/год. лише незначно впливали на показники плавності і комфортабельності їзди поїздів, тому при впровадженні прискореного руху поїздів $V = 141\text{--}160$ км/год для українських залізниць були розроблені нові нормативні вимоги і нові підходи до визначення нормативних параметрів рейкової колії в кривих і визначення допустимої швидкості руху поїздів в кривих ділянках колії («Інструкція» ЦП-0269 (частина 2) від 2012 р.) [6]. Проблема перебудови кривих не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану залізничної колії.

Нижче надаються приклади вирішення задач з визначення раціональних розрахункових параметрів плану та профілю кривих, згідно нормативних вимог Інструкції ЦП-0269 (частина 2) [9], а також визначення допустимих швидкостей руху поїздів в кривих ділянках колії, з урахуванням існуючих вимог з безпеки руху, плавності і комфортабельності їзди.

При встановленні допустимих швидкостей руху в кривих основна увага приділяється трьом параметрам — радіусу, підвищенню зовнішньої рейки і крутизни його відводу (прикладі 1-3); для складових кривих додатково приділяється увага зміні радіусів (кривизни) при переході з однієї кривої в іншу (приклад 4); для суміжних кривих ретельно розглядається їхнє сполучення (довжина прямої вставки, параметр сполучення тощо).

Приклад 1. Визначення допустимої швидкості руху за існуючими й проектними параметрами кривої

Розглянемо найпростіший випадок, коли екіпаж переходить з прямої ділянки на перехідну, а потім в кругову криву (рис. 3.25).

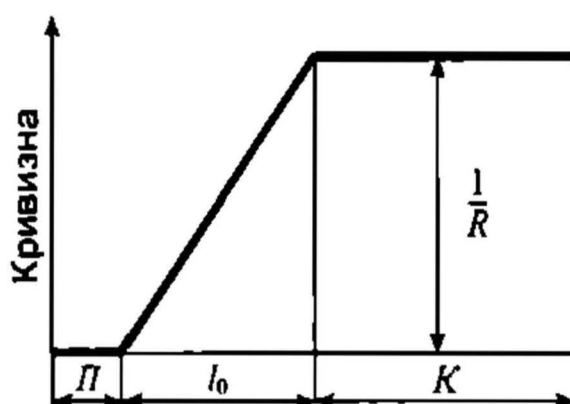


Рис. 3.25. Графік кривизни на ділянці: пряма (П) — перехідна крива (l_0) — кругова крива (K)

Рішення цієї задачі може бути здійснене за таких умов:

- 1-й варіант — параметри існуючої кривої задано; потрібно знайти максимально допустиму швидкість руху;
- 2-й варіант — задана встановлена для ділянки максимальна швидкість; необхідно визначити проектні параметри кривої. У другому варіанті потрібно знати характеристику напрямку за категоріями поїздів і структурою поїздопотоку де розташована крива ділянка колії, див. табл. 3.16 (в Інструкції ЦП-0269 [6] дана таблиця має номер 8.1)

Послідовність розрахунків. При відомих існуючих чи проектних параметрах кривої (довжина перехідної кривої (L), радіус кругової кривої (R) та підвищення зовнішньої рейки (h)) визначається допустима швидкість руху $V_{\text{доп}}$ у межах перехідних кривих (ППК₁ — КПК₁ і КПК₂ — ППК₂) за двома критеріями: $V^{(i)}$ — за крутизною відводу підвищення має бути $i_s \leq [i_s]$; і $V^{(\psi)}$ — за швидкістю зміни непогашеного прискорення в часі, де $\psi = \frac{da}{dt}$, тобто має бути $\psi \leq [\psi]$ (див. рис. 3.26).

Допустима швидкість в круговій кривій (КПК₁ — КПК₂) $V^{(a)}$ встановлюється за умови неперевищення допустимого непогашеного прискорення $a_{\text{нп}} \leq [a_{\text{нп}}]$ (рис. 3.26). В розрахунках відповідно до нормативів табл. 8.2 [9] (в нашому тексті ця табл. має номер 3.17) прийнято: $[\psi] = 0,6 \text{ м/с}^3$, $[a_{\text{нп макс}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$ — для пасажирських і $[a_{\text{нп макс}}] = 0,3 \text{ м/с}^2$ — для вантажних поїздів.

За остаточну, що рекомендується для експлуатації приймається найменша швидкість із розрахованих: $V = \min \{V^{(i)}, V^{(\psi)}, V^{(a)}\}$.

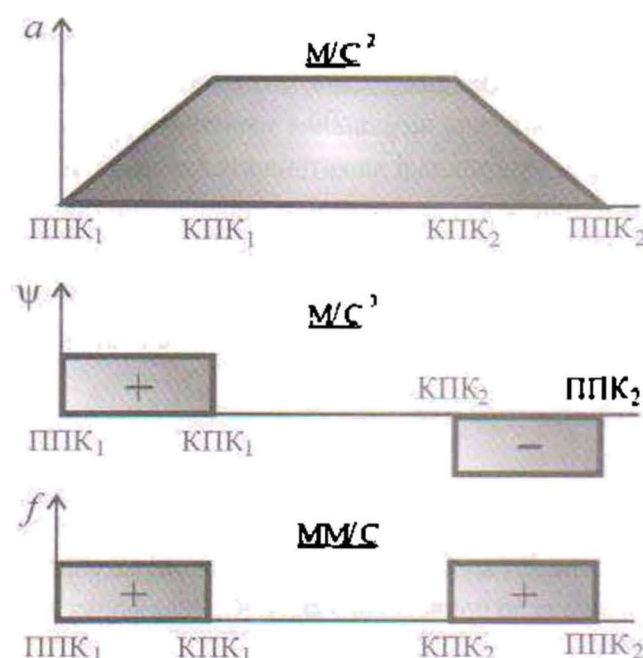


Рис. 3.26. Границі дії критеріїв $a_{\text{нп}}$, ψ , f : $a_{\text{нп}}$ — непогашене прискорення, м/с^2 ; ψ — швидкість зміни непогашеного прискорення в часі, м/с^3 ; f — швидкість підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки, мм/с .

Максимальна швидкість в *круговій кривій* визначається з формули (9.1) Інструкції ЦП-0269 [6] (в нашому тексті це позначено як формула 3.91 в табл. 3.22). В переписаному відносно визначення V_{\max} вигляді дана формула має вид:

$$V^{(a)} = 3,6 \sqrt{R \left[[a_{\max}] + \frac{g}{S_1} h \right]}, \quad (3.91)''$$

де 3,6 — коефіцієнт переходу від швидкості в км/год до швидкості в м/с; R — фактичний радіус кривої, або проектний після її виправлення в плані, м; $[a_{\max}]$ — допустиме прискорення для відповідної категорії поїздів, м/с²; g — прискорення сили тяжіння ($g = 9,81$ м/с²); S_1 — відстань між рейками по осям ($S_1 = 1600$ мм); h — фактичне підвищення або те, що рекомендується, мм;

Максимальна швидкість в *перехідній кривій* визначається з формул Інструкції [6]: відповідно (9.5) — відвід підвищення зовнішньої рейки і (9.6) — відвід кривизни [6]. В нашому тексті ці формули позначені відповідно (3.38)' і (3.39)'.

В переписаному відносно V_{\max} (за показниками допустимого ухилу відводу і швидкості наростання поперечного прискорення ψ) вказані формули будуть мати вид (3.38)'' і (3.39)'.

Перша формула є визначальною

$$V^{(h)} = \frac{3,6 l_0 [f]}{h} \quad (3.38)''$$

друга використовується для перевірки:

$$V^{(\psi)} = \frac{3,6 l_0 [\psi]}{a_{\max}} \quad (3.39)''$$

Практично, на українських залізницях, де прийнята лінійна залежність зміни відводу підвищення зовнішньої рейки, допустима швидкість руху встановлюється згідно Інструктивного документу [15] «Правила визначення підвищення зовнішньої рейки...» за табл. 4.1, залежно від крутизни відводу. В нашому прикладі дана таблиця наведена за номером 3.30.

Величина допустимої швидкості за критерієм неперевищення швидкості зміни непогашеного прискорення $\psi \leq 0,6$ м/с³ повинна перевірятися за формулою Д2 з табл. Д.1 того ж Інструктивного документу [15]. В нашому тексті ця формула наведена в табл. 3.15 §3.2.7.4 і також має номер Д.2. В переписаному виді формула наведена нижче за номером (Д.2)'.

$$\psi = \frac{V^3}{3,6^3 C} - \frac{ghV}{3,6 S_1 l_0} \leq [\psi], \quad (Д.2)''$$

де $C = R \cdot l_0$.

Для знаходження допустимої швидкості $V^{(\psi)}$ вирішується кубічне рівняння. Рішення кубічного рівняння (Д.2)'' відносно $V^{(\psi)}$ здійснюється за правилами алгебраїчних рівнянь після перетворення початкового рівняння до приведенного виду. Кінцева формула для рішення має вигляд:

$$V^{(\psi)} = \sqrt[3]{-q + \sqrt{q^2 + p^3}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{q^2 + p^3}}, \quad (3.98)$$

де $V^{(\psi)}$ — допустима швидкість за критерієм неперевищення ψ ; p, q — коефіцієнти приведенного кубічного рівняння; $q = -23,3 \cdot C \cdot \psi$, $p = -26,5 \cdot i \cdot C 10^{-3}$.

Наведена формула (3.98) дійсна при $q^2 + p^3 > 0$.

Таблиця 3.30

Допустимі швидкості руху в залежності від крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій

Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки, мм/м	Максимально допустима швидкість руху, км/год
до 0,67 включно	160
понад 0,67 до 0,7 включно	140
понад 0,7 до 1,0 включно	120
понад 1,0 до 1,2 включно	110
понад 1,2 до 1,4 включно	100
понад 1,4 до 1,6 включно	90
понад 1,6 до 1,9 включно	80
понад 1,9 до 2,3 включно	70
понад 2,3 до 2,7 включно	60
понад 2,7 до 3,0 включно	50
понад 3,0 до 3,1 включно	40
понад 3,1 до 3,5 включно	25
понад 3,5 до 4,5 включно	15
понад 4,5	Закриття руху поїздів

Рішення за 1-м варіантом. При відомих параметрах кривої визначаються допустимі швидкості руху на перехідній і в круговій кривій.

Вихідні дані: Радіус кругової кривої $R = 900$ м, довжина перехідної кривої $l_{пер\ кр} = 100$ м, підвищення зовнішньої рейки $H = 90$ мм.

Для визначення максимально допустимої швидкості розраховуються додаткові параметри:

- крутизна відводу підвищення $i_e = \frac{h}{l_0} = \frac{90}{100} = 0,9$ мм/м;
- параметри перехідної кривої $C = R \cdot l_0 = 900 \cdot 100 = 90000$ м²;
- $q = -23,3 \cdot 90000 \cdot 0,6 = -1258200$; $\rho = -26,5 \cdot 0,9 \cdot 90 = -2146,5$.

Тоді за формулою (3.91)" для пасажирських поїздів:

$$V^{(a)} = 3,6 \sqrt{900 \left[0,7 + \frac{9,81}{1600} 90 \right]} = 121 \text{ км/год.}$$

При $i_e = 0,9$ мм/м за табл. 3.30 або за формулою (3.38)"

$$V^{(b)} = \frac{3,6 \cdot 100 \cdot 30}{90} = 120 \text{ км/год.}$$

Допустима швидкість за критерієм зміни швидкості непогашеного прискорення в часі (формула 3.98) дорівнює:

$$\begin{aligned} V^{(c)} &= \sqrt[3]{1258200 + \sqrt{1258200^2 - 2146,5^3}} + \sqrt[3]{1258200 - \sqrt{1258200^2 - 2146,5^3}} = \\ &= \sqrt[3]{1258200 + 1254264} + \sqrt[3]{1258200 - 1254264} = \sqrt[3]{2512464} + \sqrt[3]{3936} = 135,5 + 15,8 = 151,7 \text{ км/год.} \end{aligned}$$

Безпосереднє застосування формули (3.98) ускладнює розрахунки, тому в багатьох випадках достатньо перевірити виконання умови (Д.2)'' з використанням швидкості, яка вже визначена за іншим критерієм:

$$\psi = \frac{120^3}{3,6^3 \cdot 90000} - \frac{9,81 \cdot 90 \cdot 120}{3,6 \cdot 1600 \cdot 100} = 0,23 \text{ м/с}^3.$$

В даному випадку умова виконується ($0,23 < 0,6 \text{ м/с}^3$), тому швидкість за критерієм зміни непогашеного прискорення в часі не буде визначальною, і її можна було би не враховувати.

Результати розрахунків за вище викладеною послідовністю наведені в табл. 3.31.

Таблиця 3.31

Допустимі швидкості за існуючими параметрами кривої ($R_{кр} = 900 \text{ м}$, $l_{кр} = 100 \text{ м}$)

Перехідна крива		Кругова крива	
Довжина перехідної кривої, м	100	Радіус кругової кривої, м	900
		Підвищення, мм	90
Розрахункові параметри			
Ухил відводу підвищення, мм/м	0,90		
Параметр С, м ³	90000		
Максимальні швидкості			
Швидкість за критерієм i_a	120	Швидкість за критерієм $a_{кр}$	121
Швидкість за критерієм ψ	151		
Остаточно прийнята максимально допустима швидкість в кривій для пасажирських поїздів (кратна 5 км/год)			120

Як випливає з аналізу даних табл. 3.31, допустима швидкість 120 км/год встановлена за параметрами кругової кривої, тобто за її радіусом $R = 900 \text{ м}$ (формула (3.91)) і за крутизною відводу підвищення зовнішньої рейки в перехідній кривій формула (3.95). В кінцевому підсумку за допустиму швидкість при проходженні всієї кривої, що складається з ПК₁+КК+ПК₂, приймається швидкість $V_{доп} = 120 \text{ км/год}$.

Рішення за 2-м варіантом виконується наступним чином (приймаємо напрямок І-П згідно класифікації поїздопотоків за табл. 8.1 [6]). (В нашому тексті це таблиця 3.16). Задається проектна швидкість, а параметри кривої розраховуються за методикою, викладеною в розділі 9 [9] та формулами (3.91)'', (3.38)'', (3.39)'', (Д.2)'', наведеними в цьому розділі.

Наприклад, для реалізації проектної швидкості $V_{пр} = 140 \text{ км/год}$ замість існуючої $V_{кр} = 120 \text{ км/год}$, необхідно для кругової кривої, що знаходиться на напрямку прискореного руху (І-П) за формулою (3.91) табл. 3.22 або за табл. 3.23 прийняти проектний радіус $R_{пр} = 934 \text{ м}$, що відповідає максимальному підвищенню $h = 150 \text{ мм}$ при допустимому значенні непогашеного прискорення $[a_{кр}] = 0,7 \text{ м/с}^2$.

За умови збільшення радіуса максимально допустима швидкість за формулою (3.91) становить:

$$V^{(a)} = 3,6 \sqrt{934 \left[0,7 + \frac{9,81}{1600} 150 \right]} = 140 \text{ км/год}.$$

Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки в *перехідній кривій* при прийнятій раніше з прикладу 1 довжині перехідної кривої $L = 100$ м, складає $i_s = \frac{h}{l_0} = \frac{150}{100} = 1,5$, мм/м, що стає вирішальним фактором для встановлення допустимої швидкості. Визначаємо допустиму швидкість в перехідній кривій за табл. 4.1 [15] (в нашому прикладі це табл. 3.30) $V^{(n)} = 90$ км/год.

При $q = -1288920$ і $\rho = -3712,65$ допустима швидкість за критерієм неперевикнення ψ знайдеться за формулою (3.101) $V^{(\psi)} = 164$ км/год.

Результати розрахунків зведено до табл. 3.32.

Як показали розрахунки, що впливають з табл. 3.32, максимально допустима швидкість в кривій знизилась до 90 км/год. Це відбулося тому, що для реалізації максимальної швидкості 140 км/год крім збільшення радіусу кривої і підвищення зовнішньої рейки необхідно *подолати перехідну криву, забезпечивши відповідний ухил відводу*.

Довжина перехідної кривої визначається за формулами (9.5) і (9.6) або за рис. 9.1 з Інструкції ЦП-0269 [6] (в нашому прикладі це формули (3.38), (3.39) і рис. 3.23). При швидкості $V_{\max} = 140$ км/год і радіусі $R_{кр} = 934$ м довжину перехідної кривої слід прийняти $l_0 = 150$ м.

Результати розрахунків за даним прикладом зведено до табл. 3.33.

Таблиця 3.32

Допустимі швидкості за проектними параметрами кривої ($R_{кр} = 934$ м, $l_0^{кр} = 100$ м)

Перехідна крива		Кругова крива	
Довжина перехідної кривої, м	100	Радіус кругової кривої, м	934
		Підвищення, мм	150
Розрахункові параметри			
Ухил відводу підвищення, мм/м	1,50		
Параметр C , м ²	93400		
Максимальні швидкості			
Швидкість за критерієм i_s	90	Швидкість за критерієм a_{\max}	140
Швидкість за критерієм ψ	164		
Максимально допустима швидкість (кратна 5 км/год)			90

Таблиця 3.33

Допустимі швидкості за проектними параметрами кривої ($R_{кр} = 934$ м, $l_0^{кр} = 150$ м)

Перехідна крива		Кругова крива	
Довжина перехідної кривої, м	150	Радіус кругової кривої, м	934
		Підвищення, мм	150
Розрахункові параметри			
Ухил відводу підвищення, мм/м	1,00		
Параметр C , м ²	140100		
Максимальні швидкості			
Швидкість за критерієм i_s	140	Швидкість за критерієм a_{\max}	140
Швидкість за критерієм ψ	180		
Максимально допустима швидкість (кратна 5 км/год)			140

Рішення за 2-м варіантом (при характеристиці напрямку І-ПС, що відповідає класифікації поїздопотоків за табл. 3.16 наших розрахунків (в Інструкції ЦП-0269 [6] це табл. 8.1). Задану проектну швидкість, прийmemo також 140 км/год. Параметри кривої розраховуються за методикою, викладеною в розділі 9 Інструкції ЦП-0269 [6], але для сумішеного руху поїздів. Насамперед визначається середньозважена швидкість поїздопотоків в залежності від кількості, маси і швидкості кожної категорії поїздів (див. формулу 3.3 в «Правилах» ЦП-0236 [15]). Нехай визначено, що $V_{ср} = 90$ км/год. Тоді мінімальний радіус кругової кривої визначається за формулами 3.92–3.94 табл. 3.22 нашого тексту (в Інструкції [6] ці формули викладені в табл. 9.1 за номерами 9.2-9.4) і приймається $R_{кр}$ як найбільше значення. Для спрощення розрахунків можна користуватись табл. 3.24, 3.25, 3.26. За табл. 3.24 приймаємо $R_{кр} = 1180$ м. Мінімальне підвищення зовнішньої рейки для пасажирського поїзда, що рухається зі швидкістю 140 км/год, приймається за табл. 3.19; воно дорівнює $h = 90$ мм. Результати розрахунків зведено до табл. 3.34.

Таблиця 3.34

Допустимі швидкості за проектними параметрами кривої ($R_{кр} = 1180$ м, $l_{кр} = 100$ м)

Перехідна крива		Кругова крива	
Довжина перехідної кривої, м	100	Радіус кругової кривої, м	1180
		Підвищення, мм	90
Розрахункові параметри			
Ухил відводу підвищення, ‰	0,90		
Параметр C , м ²	118000		
Максимальні швидкості			
Швидкість за критерієм i	140	Швидкість за критерієм $a_{кр}$	138
Швидкість за критерієм ψ	167		
Максимально допустима швидкість (кратна 5 км/год)			140

Як випливає з результатів розрахунків табл. 3.34, максимально допустима швидкість в кривій складає 140 км/год при існуючій довжині перехідної кривої $l_{кр} = 100$ м і проектному радіусі кругової кривої $R_{кр} = 1180$ м.

Розрахунки показали, що у розглянутому варіанті №2 на напрямку прискореного руху І-П радіус кривої збільшується відносно існуючого на 34 м, а на напрямку сумішеного руху І-ПС — збільшується на 280 м.

Дуже важливим техніко-економічним показником при перебудові залізниць при впровадженні прискореного і швидкісного руху поїздів є переміщення (зсув осі колії) відносно існуючого плану лінії. При збільшенні радіуса з $R_{існ}$ до $R_{пр}$ зсув осі колії Δ розраховується як різниця бісектрис $\Delta_R = B_{пр} - B_{існ}$ і різниця зсувів від перехідних кривих $\Delta_l = p_{пр} - p_{існ}$, тобто:

$$\Delta = (B_{пр} + p_{пр}) - (B_{існ} + p_{існ})$$

або

$$\Delta = \left[R_{пр} \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{пр}^2}{24 R_{пр}} \right] - \left[R_{існ} \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{існ}^2}{24 R_{існ}} \right]. \quad (3.99)$$

Формула (3.99) наводиться з підручника [27].

Розрахунки показують, що у першому випадку вісь існуючої колії переміститься по бісектрисі на близько 3 м, у другому — на 24 м при куті повороту кривої $\alpha=45^\circ$. Отже, відокремлення вантажного руху від пасажирського (напрямок І-ІІ) є більш раціональним рішенням з точки зору обсягів робіт і вартості перебудови плану залізниці.

Приклад 2. Визначення параметрів існуючої кривої за результатами зйомки методом стріл (паспорт кривої форми АГУ-4 [28])

Відповідно до вимог Інструкції [6] п. 6.4 перед введенням прискореного руху поїздів залізнична колія, рухомий склад та інші пристрої обслуговування залізниць повинні бути приведені до стану, який забезпечує прискорений рух поїздів із встановленими швидкостями. Отже, виникає задача щодо оцінки стану кожної кривої щодо забезпечення плавності й комфортабельності їзди. Крива вважається динамічно пальною, якщо відхилення в стрілах вигину не перевищують нормативних значень, тобто $\Delta f_{\text{спр}} \leq |\Delta f_{\text{спр}}|$ і $\Delta f_{\text{п}} \leq |\Delta f_{\text{п}}|$ згідно формул (3.95), (3.96) і табл. 3.29 нашого тексту. (В Інструкції ЦП-0269 [6] ті ж формули і таблиці наведені за номерами (9.7), (9.8) і табл. 9.12). Розглянемо цю задачу докладно.

Технічним відділом дистанції колії складається характеристика кривої ділянки колії (форма АГУ-4 [28]), яка включає паспорт кривої: технічна характеристика кривої, графік стріл і підвищення зовнішньої рейки.

Для прикладу розглянуто криву, що знаходиться на непарній колії ділянки Синельникове — Чаплине регіональної філії «Придніпровська залізниця», км 251– км 255. Вихідні дані кривої отримано зйомкою стріл вигину від 20-метрової хорди і підвищення зовнішньої рейки в тих же точках кривої (рис. 3.27).

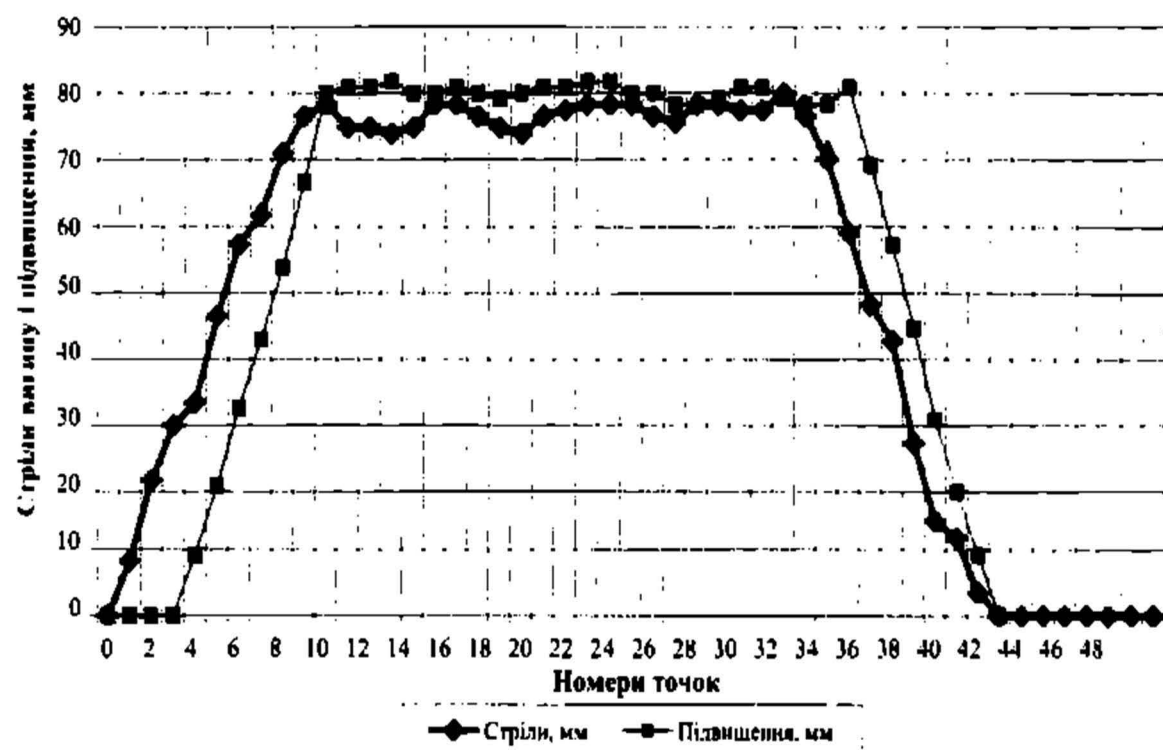


Рис. 3.27. Графіки натурних стріл вигину і підвищення зовнішньої рейки кривої

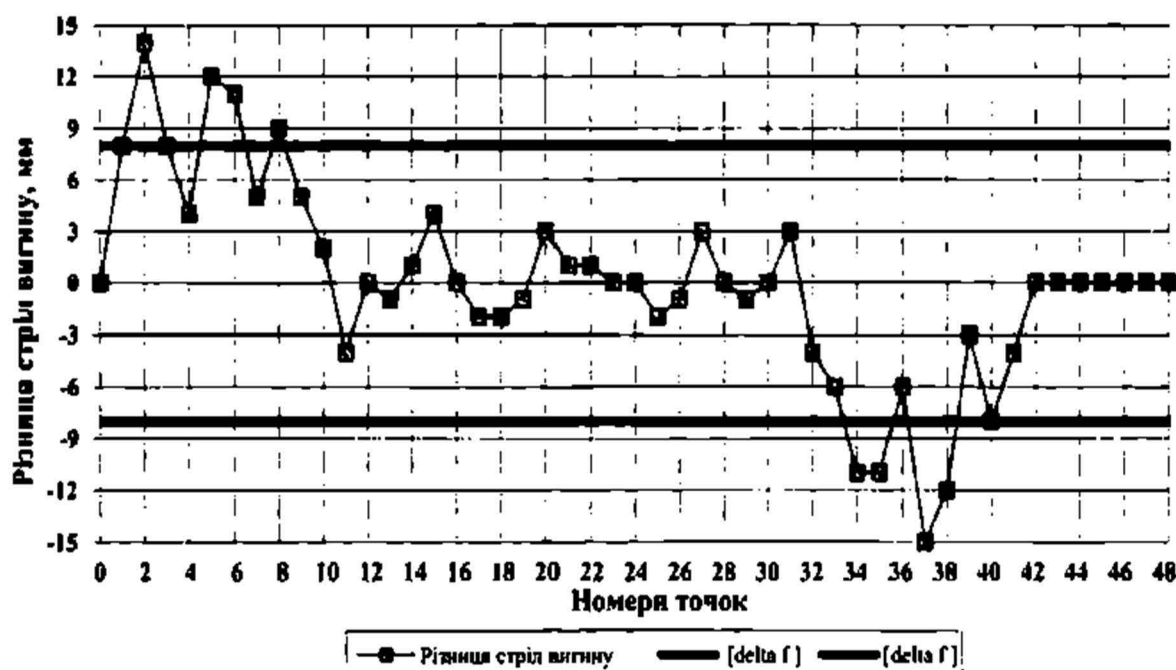


Рис. 3.28. Різниця стріл вигину по довжині кривої

Аналіз графіка стріл (рис. 3.27) показує, що крива не є динамічно плавною, так як різниці суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круговій кривій і найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих табл. 3.29 нашого тексту (табл. 9.12 [6]) перевищують номінальні значення (жирна лінія), рис. 3.28.

Розрахунок величин фактичних непогашених прискорень виконується за формулою (8.3) [6]. В нашому тексті ця формула подана за номером (3.90)' (наведена в §3.2.8.2)

$$a_{\text{м}} = \frac{V_{\text{мін}}^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S_1} \quad (3.90)'$$

При розбіжностях відводів підвищення і кривизни, що мають місце в прикладі, слід також перевірити допустиму швидкість виходячи з допустимої величини зміни непогашеного прискорення $\psi = 0,6 \text{ м/с}^3$. Величина зміни прискорення визначається за формулою (наведена в §3.2.9)

$$\psi = \frac{V^3}{3,6^3 C} - \frac{ghV}{3,6 S_1 I_0} \leq [\psi] \quad (Д.2)''$$

Результати розрахунків для наочності наведено на графіках, рис. 3.29.

При співставленні графіків на рис. 3.27 і 3.29 впливає, що в кінці першої перехідної кривої значення непогашених прискорень перевищують допустимі, тобто $0,78 > 0,70$, а також відбувається зміна критерія ψ за знаком, тобто $\Delta\psi = |\psi' - \psi|$, що порушує плавність і комфортабельність їзди по кривій. Описане явище спостерігається тому, що наростання стріл вигину відбувається неплавно (рис. 3.28) та початок і кінець відводу кривизни й підвищення зовнішньої рейки не співпадають (рис. 3.29).

Для визначення допустимої швидкості руху по кривій в табл. 3.35 наведено її параметри.

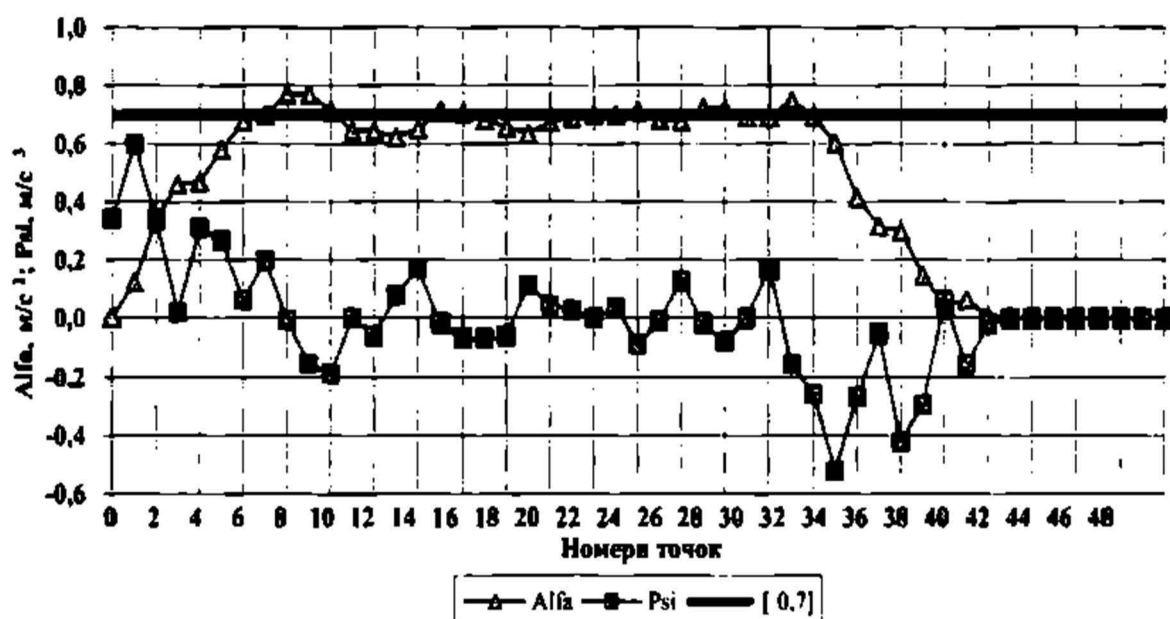


Рис. 3.29. Графіки непогашених прискорень та їх зміна в часі по довжині кривої

Таблиця 3.35

Параметри існуючої кривої на 01.10.2016 р.

Найменування показники	Параметри кривої
Радіус кривої R , м	650
Довжина крутової кривої K , м	317,65
Довжина першої перехідної кривої l_{01} , м	90
Довжина другої перехідної кривої l_{02} , м	90
Підвищення h , мм	80
Довжина ділянки відводу підвищення l_{0h1} , м	70
Довжина ділянки відводу підвищення l_{0h2} , м	70
Крутизна відводу підвищення i , мм/м	1,14
Кут повороту α , град/мін	27°56'

Радіус кривої можна визначити через величину середнього значення стріли вигину f (мм) у межах крутової кривої за формулою

$$R = \frac{50000}{f} \quad (3.100)$$

Формула (3.100) випливає з теореми: «Перпендикуляр, опущений з будь-якої точки кола на діаметр — є середнім геометричним між відрізками діаметра», тобто $\frac{f}{a/2} = \frac{a/2}{2R - f}$; $\frac{a}{2} = \sqrt{f(2R - f)}$. Ураховуючи малість стріли f порівняно з діаметром $2R$, при довжині хорди $a = 20$ м було отримано вираз (3.100).

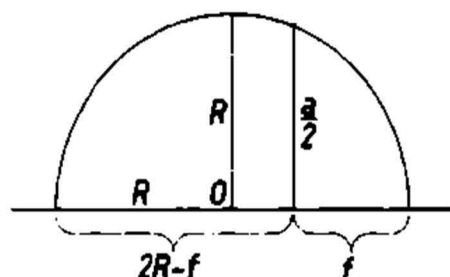


Рис. 3.30. f — стріза сегменту; $a/2$ — половина хорди; R — радіус кола

З рис. 3.30 знаходиться середнє значення стріли вигину, воно дорівнює $f = 77$ мм, отже радіус за формулою (3.100) буде визначено як $R = 650$ м.

При відомих значеннях радіусу і підвищення зовнішньої рейки допустима максимальна швидкість в круговій кривій за умовою неперевиршення (α) визначається за формулою (3.91)", яка наведена в §3.2.9.

$$V^{(\alpha)} = 3,6 \sqrt{650(0,7 + 0,00613 \cdot 80)} = 100 \text{ км/год.}$$

В зоні перехідних кривих швидкість руху поїзда обмежується допустимою швидкістю підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки. Взаємозв'язок між швидкістю руху поїздів і допустимим ухилом відводу підвищення зовнішньої рейки i_v визначається «Правилами ЦП-0236» [15].

При $i_v = \frac{h}{l_{\text{он}}} = \frac{80}{70} = 1,14$ за табл. 3.30 нашого тексту (в «Правилах» [15] це табл. 4.1) за умови $1,0 < i_v \leq 1,2$ знаходимо максимальну допустиму швидкість руху $V = 110$ км/год.

Остаточно приймається за допустиму найменша зі швидкостей (в круговій кривій $V^{(\alpha)} = 100$ км/год, в перехідній $V' = 110$ км/год), тобто приймається $V_{\text{дон}} = 100$ км/год.

Уведення на залізницях України нових форм паспортів кривих (форма АГУ-4 [28]), у яких передбачена побудова після зйомки кривих графіків стріл вигину й підвищення зовнішньої рейки, дає можливість визначати наявність незбігу відводів кривизни й підвищення, правильно встановлювати допустиму швидкість руху і намічати заходи для усунення таких відступів особливо на ділянках, де передбачається впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів.

Приклад 3. Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих залежно від характеристики напрямку і типу поїздів

При аналізі структури й обсягів перевезення на різних залізничних напрямках було встановлено наступне. На напрямку Лозова-Сімферополь кількість пасажирських поїздів в різні періоди року становить від 55 до 80%, вантажних — від 45 до 20% відповідно. На напрямку Київ-Зернове співвідношення поїздів таке: вантажних 20–30%, пасажирських 80–70%; на напрямку Київ-Одеса: вантажних 25–30%, пасажирських 75–70%.

Кожний з напрямків має різні параметри поздовжнього профілю й плану, різні можливості щодо реалізації прискореного й швидкісного руху поїздів.

Наведені дані підтверджують необхідність при виконанні розрахунків з встановлення проектних параметрів кривих і максимально допустимої швидкості враховувати обсяги перевезень, структуру поїздопотоків, експлуатаційні умови, параметри плану відповідно до класифікації згідно Інструкції ЦП-0269 [6] (табл. 8.1, в нашому тексті це табл. 3.16), яка у подальшому може уточнюватись і деталізуватись.

Для встановлення характеристики напрямку необхідно розрахувати показник $\gamma = 100n_p / (n_p + n_{\text{п}} + n_{\text{в}})$ як відношення вантажних до суми вантажних, пасажирських і приміських поїздів. Наприклад, на ділянці: Львів-Жмеринка $\gamma < 20$, Жмеринка-Козятин $20 < \gamma < 30$, Козятин-Фастів $40 < \gamma < 50$, Фастів-Київ $30 < \gamma < 40$.

Розрахунок достовірної середньозваженої швидкості за даними швидкостемірних стрічок трудомістка процедура, яка потребує високої інженерної кваліфікації [18]. В той же час, не передбачено зберігання вихідних даних про структуру поїздопотоків, на основі яких виконувались розрахунки, отже їх не можна перевірити чи повторити в службі колії. На теперішній час не налагоджено моніторинг — тобто безперервний контроль і порівняння реалізованих швидкостей зі швидкостями встановленими за наказом.

В дослідженнях, що виконують студенти, можна задавати параметри поїздопотоків для кожної категорії поїздів: мінімальне й максимальне значення швидкості (за результатами тягових розрахунків), а також масу і кількість поїздів. Для прикладу вихідні дані наведено в табл. 3.36 і 3.37.

Таблиця 3.36

Розрахункові дані для поїздопотоків на напрямку прискореного руху поїздів І-ІІ

№ з/п	Маса поїзда <i>Q</i> , тонн	Кількість <i>N</i> , пар/добу	Швидкість руху, км/год	
			мінімальна	максимальна
Пасажирські				
1	600	8	140	160
2	700	12	130	150
3	800	8	120	140
Загальна кількість		28		
Приміські				
1	300	2	120	140
2	350	4	100	120
3	400	2	90	110
Загальна кількість		8		

Таблиця 3.37

Розрахункові дані для поїздопотоків на напрямку суміщеного руху поїздів І-ІС

№ з/п	Маса поїзда Q , тонн	Кількість N , пар/добу	Швидкість руху, км/год	
			мінімальна	максимальна
Пасажирські				
1	800	7	110	120
2	1000	10	110	115
3	1200	7	100	110
Загальна кількість		24		

Закінчення таблиці 3.37

№ з/п	Маса поїзда <i>Q</i> , тонн	Кількість <i>N</i> , пар/добу	Швидкість руху, км/год	
			мінімальна	максимальна
Приміські				
1	300	1	100	110
2	350	2	90	105
3	400	1	80	100
Загальна кількість		4		
Вантажні				
1	3000	15	75	90
2	3500	22	75	85
3	4000	15	60	80
Загальна кількість		52		

Значення підвищення зовнішньої рейки відповідного радіусу кривої й прийнятої структури поїздопотоку на напрямках І-П і І-ПС розраховуємо за методикою, наведеною в Інструкції ЦП-0269 [9] (див. табл. 8.3) з використанням вихідних даних, наведених в табл. 3.36 і 3.37. Формули для розрахунків підвищення зовнішньої рейки h для напрямків руху І-П і І-ПС наведені в нашому тексті в табл. 3.18.

Результати розрахунків h наведені на рис. 3.31 і 3.32 для різних радіусів кривих. Наприклад, для напрямку І-П і радіусу 1400 м підвищення зовнішньої рейки дорівнює:

$$h_{\min \text{ нас}} = \frac{S_t}{g} \left[\frac{V_{\max}^2 \text{ нас}}{3,6^2 \cdot R} - [\alpha_{\text{нт}} \text{ нас}] \right] = \frac{1600}{9,81} \left[\frac{160^2}{12,96 \cdot 1400} - 0,7 \right] = 115 \text{ мм.} \quad (3.88)'$$

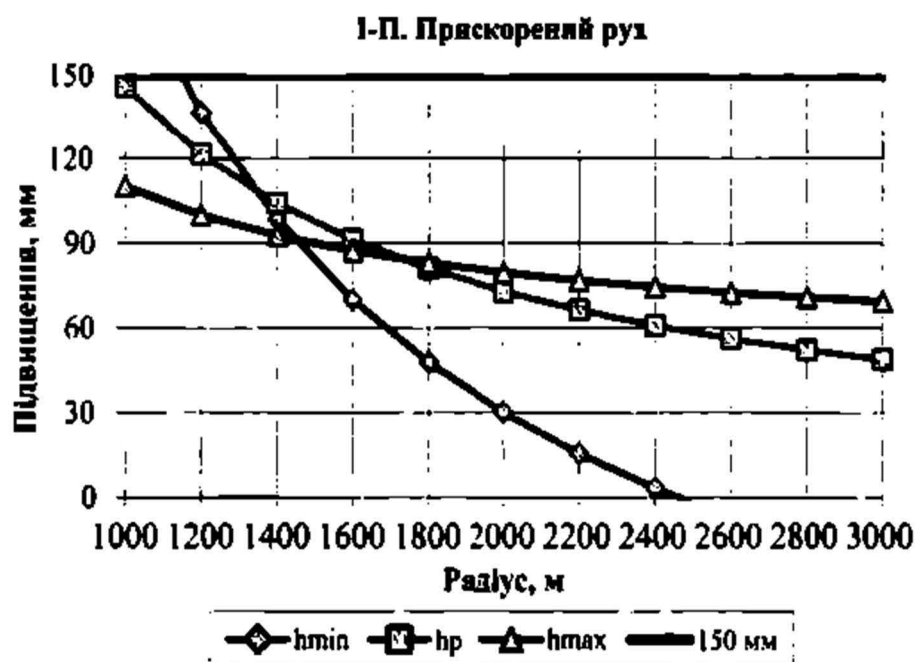


Рис. 3.31. Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіусу кривої (напрямок І-П)

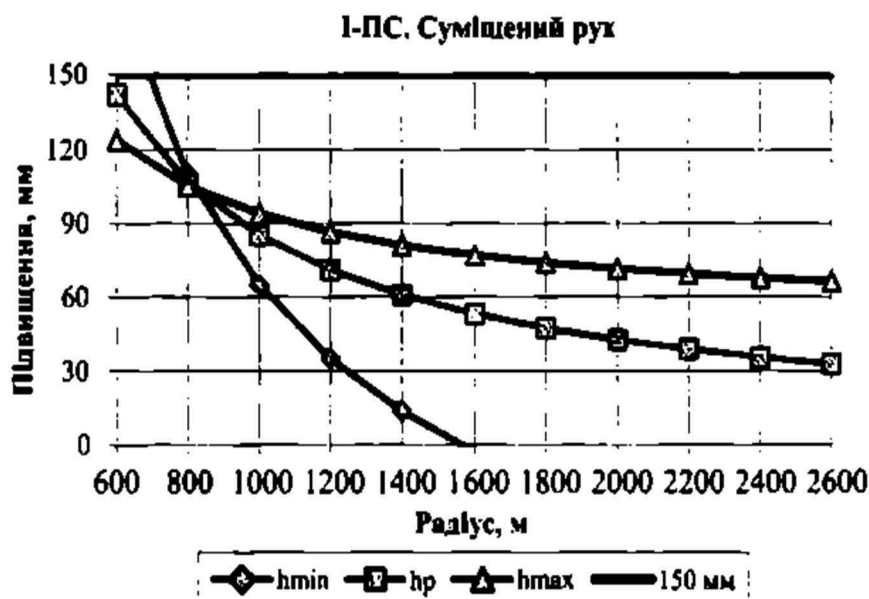


Рис. 3.32. Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої (напрямок I-ПС)

Підвищення зовнішньої рейки на всіх кривих при заданій структурі поїздопотоків повинні знаходитись між h_{\min} і h_{\max} .

Можливість застосування рекомендованого підвищення h_p або необхідність коригування існуючого в колії підвищення, необхідно перевірити на неперевіщення допустимих непогашених прискорень $[a_{\text{нп, доп}}] \leq a_{\text{нп}} \leq [a_{\text{нп, макс}}]$ [15].

Розрахунок величин фактичних непогашених прискорень виконується для максимальних і мінімальних швидкостей за формулою

$$a_{\text{нп}} = \frac{V_{\text{хдо}}^2}{3,6^2 R} - \frac{g \cdot h}{S_1}, \quad (3.17)'$$

Для аналізу ефективності переулаштування кривих з метою підвищення швидкості руху пасажирських поїздів розглянемо результати робіт, що виконані на ділянці Гребінка-Полтава-Красноград-Лозова службою колії Південної залізниці, де проведено роботи з перевлаштування 11 кривих ділянок колії, збільшивши радіус кривих до 1500–1600 метрів, див. табл. 3.38.

Якщо б на даній ділянці планувалось впровадження прискореного руху пасажирських поїздів з переключенням вантажного руху на паралельний хід (напрямок I-П), то для радіуса кривої $R=1600$ м підвищення зовнішньої рейки h знаходиться за табл. 3.19 нашого тексту (або згідно Інструкції ЦП-0269 [9] табл. 8.4) і складає $h=85$ мм. А для радіуса кривої $R=1500$ м — $h=100$ мм, у цьому випадку на вказаній ділянці (за виключенням перегону за п.1) може бути реалізована максимальна швидкість пасажирських поїздів на рівні $V=160$ км/год.

Якщо ж на напрямку Полтава-Лозова зберігається суміщений рух (I-ПС), то рішення повинно прийматись з урахуванням вимог щодо забезпечення оптимальної роботи залізничної колії.

Таблиця 3.38

Виконання робіт з перевлаштування кривих ділянок колії на ділянці Полтава-Красноград

№ з/п	Перегін	Місце знаходження кривої	Обсяг робіт, тис. м ³	Середня висота насипу, м	Максимальне зміщення осі колії в кривій, м	Параметри існуючої кривої		Параметри проекційної кривої	
						Радіус, м	Довжина, м	Радіус, м	Довжина, м
1	Пост 8 км – Минівка	13 км	5,3	1,6	9,10	705	93	750	533
2	Минівка-Селешина	16 км пк 6+69-9+36	1,7	1,5	2,33	1139	245	1500	280
3	Минівка-Селешина	17 км пк 7+23-9+84	2,7	1,5	2,65	1001	260	1500	400
4	Сухий- 6/п 43 км	39 км пк 3+66-7+50	6,5	0,9	6,5	1020	375	1600	550
5	Сухий- 6/п 43 км	40 км пак 7+40-41 км пак 0+22	3,9	0,7	2,68	1070	285	1600	440
6	Ланна-Куми	68 км пк 2+10-5+88	0,4	0,8	4,68	1075	378	1600	530

Для забезпечення оптимальної роботи залізничної колії необхідно, щоб поїзди всіх категорій, що проходять за добу, рухались по кривій з мінімальними значеннями α_{ni} , тобто повинна виконуватись умова:

$$\sum n_i Q_i \alpha_{ni} \rightarrow \min, \quad (3.101)$$

де n_i , Q_i , α_{ni} — відповідно число, маса і непогашені прискорення, що реалізуються поїздом i -ї категорії.

Підставляючи у формулу (3.101) вираз для визначення α_{ni} через швидкість, радіус кривої й підвищення зовнішньої рейки (формула (3.17)', отримаємо:

$$n_1 Q_1 \left[\frac{V_1^2}{R} - \frac{gh}{S_1} \right] + n_2 Q_2 \left[\frac{V_2^2}{R} - \frac{gh}{S_1} \right] + \dots \rightarrow \min.$$

Звідки

$$\sum (n_i Q_i V_i^2) \rightarrow \min, \quad (3.102)$$

З аналізу формули (3.102) випливає висновок про необхідність урахування відповідної структури поїздопотоку на всіх напрямках за класифікацією, що наведена в табл. 8.1 Інструкції [6] (табл. 3.16 нашого тексту), і проводити коригування підвищення зовнішньої рейки в кривих при встановленні максимальної швидкості руху відповідно до табл. 3.21 і рис. 3.32 нашого тексту (або згідно Інструкції ЦП-0269 [6] це буде табл. 8.6), тобто необхідно прийняти для радіуса 1600 метрів підвищення зовнішньої рейки $h=50$ мм. Тоді за

формулою (3.91)" (див. приклад 1) максимальна швидкість пасажирських поїздів має бути $V = 144$ км/год.

З наведеного прикладу випливає, що сполучення прискорених пасажирських і вантажних поїздів є небажаним. Слід вважати доцільним на напрямках впровадження швидкісного руху забезпечити суто пасажирський рух поїздів.

Приклад 4. Перебудова складової кривої для підвищення швидкості руху

Розглядається чотирьохрадіусна крива на напрямку Гребінка-Полтава за параметрами, що наведені Укрзалізничпроект в матеріалах «Інструментальна перевірка плану і поздовжнього профілю колії ділянки Гребінка-Миргород», Харків, 2004.

За рахунок застосування різних значень непогашених прискорень на кожній з чотирьох кривих Південною залізницею було запропоновано встановити максимальну швидкість 110 км/год. Розрахунки виконані за умови, щоб за рахунок різних значень непогашених прискорень в складових кривих і однакового підвищення зовнішньої рейки отримати однакову максимально допустиму швидкість упродовж всієї складової кривої.

Допустима швидкість руху в кривих (одиноких, складових, сполучених) розрахована з використанням формули (3.91)", тобто, за умовою неперевищення критерію a .

До недоліків такого підходу слід віднести те, що розраховані максимально допустимі швидкості не проконтрольовані за такими параметрами як зміна непогашеного прискорення в часі:

$$\psi = \frac{a_{i+1}^{nn} - a_i^{nn}}{t}, \quad (3.103)$$

і зміна кривизни:

$$k = \frac{1}{R_{i-1}} - \frac{1}{R_i}. \quad (3.104)$$

Встановлена допустима швидкість $V_{\text{доп}} = 110$ км/год для всієї кривої при різних непогашених прискореннях (в м/с^2) відповідно $a_{nn1} = 0,50$, $a_{nn2} = 0,95$, $a_{nn3} = 0,78$ і $a_{nn4} = 0,42$, розрахованих за формулою (3.17)". Підвищення зовнішньої рейки прийнято однаковим для всіх кривих $h = 100$ мм. Інші дані наведено на рис. 3.33.

Якщо виконати графік кривизни існуючої складової кривої (рис. 3.34), то можна побачити, як змінюється кривизна на кожній ділянці кривої.

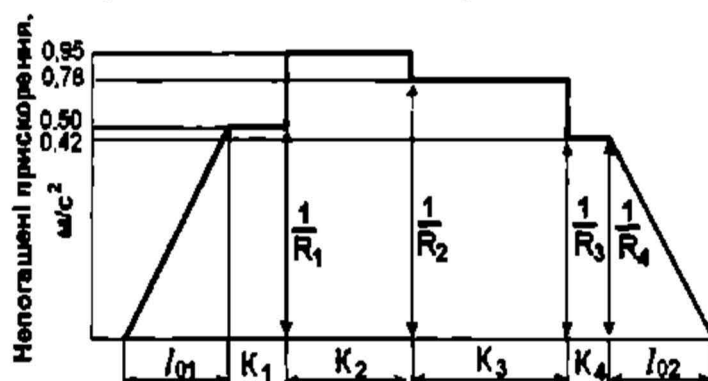


Рис. 3.33. Графік непогашених прискорень існуючої кривої

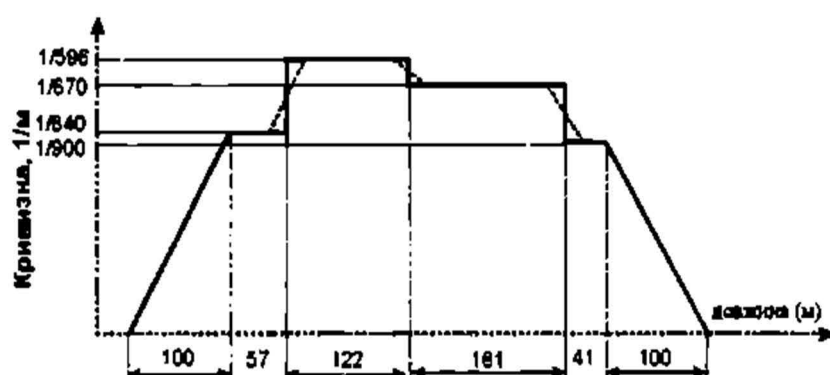


Рис. 3.34. Графік кривизни існуючої кривої

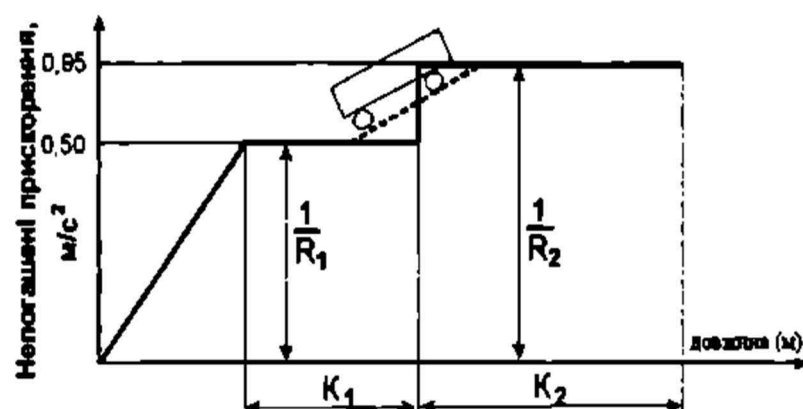


Рис. 3.35. Графік непогашених прискорень при зміні кривизни на 1-й і 2-й кривих

Щоб оцінити, чи не порушиться плавність руху поїздів протягом усієї ділянки, необхідно проаналізувати зміну непогашених прискорень в часі. Для цього розглянемо перехід екіпажу з першої до другої кривої (рис. 3.35), де кривизна й непогашені прискорення змінюються найбільш суттєво.

При русі екіпажу по першій кривій радіусом R_1 виникають непогашені прискорення ($a_{un}^1 = 0,50$ м/с²). В другій кривій радіусом R_2 відповідно $a_{un}^2 = 0,95$ м/с². При тому *перехідна крива, що сполучає першу й другу криву, відсутня*. Тому зміна непогашених прискорень відбувається за час t , на шляху, що дорівнює довжині екіпажу b , тобто згідно формули (3.103) отримаємо:

$$\psi = \frac{(a_{un-2} - a_{un-1})V}{b}. \quad (3.105)$$

Якщо в формулу (3.105) підставити вирази (3.17)', за якими визначаються непогашені прискорення, то отримаємо нерівність (3.106), з якої й знаходиться допустима швидкість руху:

$$\psi = \frac{1}{b} \left[V^3 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) - \frac{gV}{S_1} (h_2 - h_1) \right] \leq [\psi]. \quad (3.106)$$

(Дана формула (3.110) наведена в Інструктивному документі [15] в табл. Д.1 формула Д.7) (В нашому тексті це табл. 3.15 §3.2.7.4). У формулах 3.105 і 3.106 приймається за довжину екіпажу « b » — довжина пасажирського вагону.

Відповідно до формули (3.106) визначається різниця кривизни і різниця підвищення у точці сполучення кривих різних радіусів:

$$1\text{-а і 2-а криві: } \left[\frac{1}{840} - \frac{1}{596} \right] - \frac{1}{2052} > \frac{1}{3000}; (h_2 - h_1) = 100 - 100 = 0 \text{ мм.}$$

Так як сполучаються криві одного напрямку без прямої вставки і різниця кривизни $\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} > \frac{1}{3000}$, то відповідно до «Правил» [15], слід користуватися рис. Д.4. при $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$. Це дає можливість відмовитись від розрахунків за формулою (3.106), а знаходити рішення безпосередньо за графіком Д.4, який наведений в нашому тексті на рис. 3.36.

Слід звернути увагу, що прийнята у прикладі величина критерію $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$ менша, ніж ті значення, що наведені в табл. 8.2 [9] для напрямків прискореного І-П і суміщеного І-ПС руху поїздів. Пояснення полягає в тому, що в Інструкції ЦП-0236 [15] сказано, що для пасажирських поїздів $[\psi] = 0,6 \text{ м/с}^3$ застосовуються при наявності перехідних кривих і довжині прямої вставки більшої, ніж 25 м, а також при відсутності прямої вставки для S-подібних кривих. У всіх інших випадках (у прикладі 2-га і 3-тя криві без перехідних кривих) потрібно брати $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$.

За графіком рис. 3.36 відповідно до отриманих значень $\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{2052}$ і $(h_2 - h_1) = 0 \text{ мм}$ встановлена допустима швидкість $V_{\text{доп}} = 79 \text{ км/год}$.

Аналогічно виконуються розрахунки при сполученні 2-ї і 3-ї і також 3-ї і 4-ї кривих. В результаті отримано: $V_{2\text{ доп}} = 112 \text{ км/год}$, $V_{3\text{ доп}} = 85 \text{ км/год}$ і $V_{4\text{ доп}} = 120 \text{ км/год}$. Таким чином, за причиною різкої зміни непогашеного прискорення при переході екіпажу з першої на другу криву, тобто за критерієм $[\psi]$, допустима швидкість повинна прийматись не 110, як запропонувала Південна залізниця, а $V_{\text{доп}} = 79 \text{ км/год}$ (округлено $V_{\text{доп}} = 80 \text{ км/год}$).

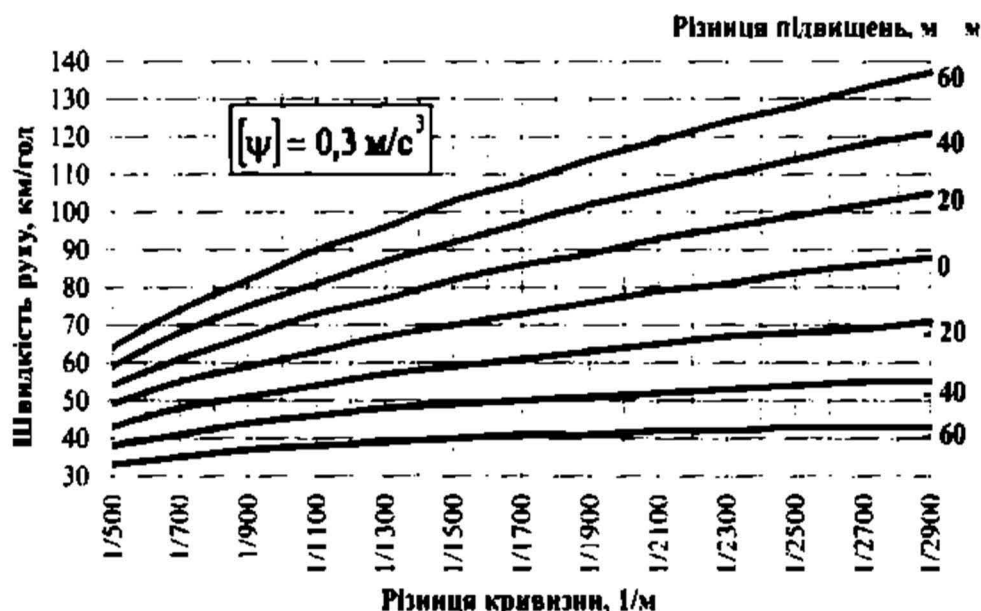


Рис. 3.36. Залежність допустимої швидкості руху від $(h_2 - h_1)$ і $(1/R_2 - 1/R_1)$ при сполученні кривих одного напрямку і $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$.

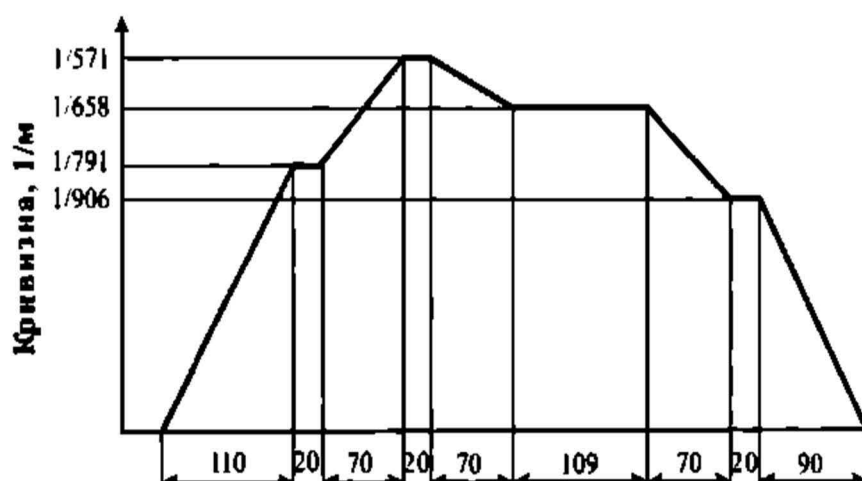


Рис. 3.37. Графік кривизни проектной кривої

При реконструкції ділянок для впровадження швидкісного руху поїздів необхідно відкоректувати перш за все параметри кривих, які є визначальними для реалізації максимальної швидкості. Тобто, за наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування збільшити радіуси окремих кривих, привести підвищення зовнішньої рейки у відповідність до швидкості руху, довжину перехідних кривих — у відповідність до величини підвищення й крутизни його відводу. Прийняти такі параметри утримання кривих, які б забезпечили безпеку, плавність і комфортабельність їди (див. табл. 3.17 нашого тексту або табл. 8.2 «Інструкції» [6]). Якраз на вибір вище названих параметрів кривих впливають і обсяги перевезень, і структура поїздопотoku (кількість, маса й швидкість вантажних, пасажирських і приміських поїздів), і складність плану існуючої лінії, й експлуатаційні умови.

Для перебудови чотирьохрадіусної кривої складно використовувати методи кутових діаграм чи аналітичні методи, що розраховуються без застосування ЕОМ. Нами пропонується виконувати розрахунки за програмою РВПлан згідно методики [29], розробленої в ДНУЗТ, дана методика дає можливість підібрати такі параметри кривих, які реально можуть забезпечити реалізацію більш високої швидкості. На рис. 3.37 представлена перебудована крива з мінімально зміненими радіусами кругових кривих від 0,7 до 5,9 % (визначаються за формулами табл. 3.22 нашого тексту (або згідно «Інструкції» [6] це табл. 9.1) і введеними проміжними перехідними кривими, що забезпечують плавний перехід від 2-ї до 3-ї й 4-ї кривих (вимоги до перехідних кривих наведено в параграфі 3.2.8.3). При цьому зміщення осі колії не перевищує 40 мм. Результати розрахунків наведено в табл. 3.39.

В табл. 3.40 наведено допустимі швидкості, що розраховані Південною залізницею для графіка кривизни існуючої кривої за рис. 3.34, а також допустимі швидкості по реконструйованій кривій за рис. 3.37, які розраховані в даному прикладі за методикою «Правил» [15], з використанням методики [29].

Як можна бачити у розглянутому прикладі, для проектной кривої може бути встановлена швидкість на рівні 120 км/год із забезпеченням плавності руху по усіх ділянках.

З даного прикладу видно, що у випадку наявності складових (багаторадіусних) і сполучених кривих методика ускладнюється і допустиму швидкість руху необхідно визначати ще й за параметрами сполучення.

Таблиця 3.39

Параметри проектної (реконструйованої) кривої

Довжина перегінних кривих, м	Радіус, м	Довжина кривих кривих, м	Підвищення, мм
110	791	20,50	90
70	571	20,50	150
70	658	109,16	120
70	906	20,00	60
90			

Таблиця 3.40

Допустима швидкість руху по складовій кривій

Параметри кривої	Допустима швидкість, км/год				
	Крива 1	Крива 2	Крива 3	Крива 4	Прийнято
По існуючій кривій (Південна залізниця)	79	112	85	120	80
По реконструйованій кривій (за методикою [15])	126	119	122	127	120

На основі наведених прикладів студент повинен усвідомлено прийти до висновків, що викладені в Інструкції [30]:

- 1) Для утримання параметрів кривих на напрямках прискореного руху пасажирських поїздів у межах встановлених норм слід встановлювати підвищення зовнішньої рейки в кривих при забезпеченні однакової силової дії на обидві рейкові нитки від потоку поїздів, що проходить упродовж доби.
- 2) При суміщеному русі пасажирських і вантажних поїздів для запобігання проблем експлуатаційного й технічного характеру, пов'язаних перш за все з розладами верхньої будови колії, порушенням плавності й комфортабельності їзди, потрібно передбачати максимально можливе розділення вантажних і пасажирських перевезень.

Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах

За загальною редакцією доктора технічних наук, професора
ДАНІЛЕНКА Едуарда Івановича

ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

ТОМ 1

**Рейкова колія, конструкції ВБК, стрілочні переводи,
з'єднання і пересічення колій**

Керівник видавничих проектів Т. Ю. Чистякова

Формат 70х100/16. Підписано до друку 20.03.2019.

Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Таймс.

Обл.-вид. арк. 25,13. Ум. друк. арк. 27,95

Наклад 300 прим.

Видавництво «Хай-Тек Прес»

Тел./факс (067) 466 73 24

e-mail: books@htpress.com.ua

www.htpress.com.ua

Свідомство про внесенні суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і книгорозповсюджувачів
видавничої продукції: серія ДК № 2688 від 15.11.2006 р.