

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Перспективи впровадження європейської колії в Україні
за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному
транспорті»

зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ІН2326
(підпис студента)

/ Сергій МАЛЬЦЕВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: _____
(підпис)

/ доцент, к.т.н. Максим АРБУЗОВ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2025 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

Master

(higher education degree)

on the topic: **Prospects for the introduction of the European track in Ukraine**
according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport
in the Specialization: 273 Railway Transport

(Specialization and its code)

Done by the student of the group: IH2326

/ Sergey MALTSEV /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Cand. of T.S. Maksym ARBUZOV /

(position, name, surname)

Normative controller:

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
 Кафедра: «Транспортна інфраструктура»
 Рівень вищої освіти: «Магістр»
 Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»
 Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»
 (шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
 «Транспортна інфраструктура»

_____ **Олексій ТЮТЬКІН**
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Сергій Валерійович Мальцев

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Перспективи впровадження європейської колії в Україні»

Керівник роботи: Арбузов Максим Анатолійович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «02» 12 2024 р. № 1472ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вихідні дані до дипломної роботи: проблематика залізниць України.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Принципи інтероперабельності. Розділ 2. Конструкція колії країн Євросоюзу. Розділ 3. Суміщена колія та перспективи її вдосконалення. Розділ 4. Укладання європейських рейок та скріплення. 5. Економічна ефективність впровадження європейської колії в Україні. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 7 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав: (підпис консультанта, дата) | Завдання прийняв: (підпис студента, дата) |
|---|---|---|---|
| Принципи інтероперабельності | Арбузов М.А., к.т.н., доцент | | |
| Конструкція колії країн Євросоюзу | Арбузов М.А., к.т.н., доцент | | |
| Суміщена колія та перспективи її вдосконалення | Арбузов М.А., к.т.н., доцент | | |
| Укладання європейських рейок та скріплення | Арбузов М.А., к.т.н., доцент | | |
| Економічна ефективність впровадження європейської колії в Україні | Арбузов М.А., к.т.н., доцент | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Розділ 1. Принципи інтероперабельності | 26.10.2024-14.11.2024 | |
| 2 | Розділ 2. Конструкція колії країн Євросоюзу | 15.11.2024-30.11.2024 | |
| 3 | Розділ 3. Методика визначення чисельності монтерів колії у дистанціях колії. | 01.12.2024-16.12.2024 | |
| 4 | Розділ 4. Суміщена колія та перспективи її вдосконалення | 17.12.2024-07.01.2025 | |
| 5 | Розділ 5. Економічна ефективність впровадження європейської колії в Україні | 17.12.2024-07.01.2025 | |
| 6 | Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку. | 08.01.2025-14.01.2025 | |
| 7 | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри | 15.01.2025 | |
| 8 | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії | Згідно з планом ЕК | |

Студент

_____ (підпис)

Сергій МАЛЬЦЕВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Максим АРБУЗОВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

76 стор., 14 табл., 16 літературних джерел.

У магістерській роботі розглядається питання конструкції залізничної колії європейського зразку та вітчизняного, їх технічних параметрів, можливості використання на українських залізницях європейських рейок та скріплення. Проведена оцінка економічної складової застосування європейських елементів верхньої будови колії на вітчизняних залізницях.

Ключові слова: РЕЙКИ, ПРОМІЖНЕ СКРІПЛЕННЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ПРИНЦИПИ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ІНФРАСТРУКТУРИ..... | 8 |
| 2 БУДІВНИЦТВО ТА КОНСТРУКЦІЯ КОЛІЇ ЗАКОРДОННИХ ЗАЛІЗНИЦЬ..... | 14 |
| 2.1 Будівництво залізниці, доріг, морських портів та аеропортів..... | 14 |
| 2.2 Планування залізниці та вибір маршруту..... | 16 |
| 2.3 Інтенсивність джерела шуму високошвидкісного поїзда в Китаї..... | 16 |
| 2.4 Процес будівництва залізниці..... | 17 |
| 2.5 Системи кріплення рейок..... | 20 |
| 2.6 Залізничні рейки європейських та американських стандартів..... | 31 |
| 3 СУМІЩЕНА КОЛІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ..... | 37 |
| 4 УКЛАДАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ РЕЙОК ТА СКРІПЛЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ..... | 44 |
| 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КОЛІЇ В УКРАЇНІ..... | 54 |
| 5.1 Перевірка на міцність колії європейської конструкції при навантаженнях Українських залізниць..... | 54 |
| 5.2 Прівняння європейської колії та вітчизняної за економічними показниками..... | 73 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 74 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК..... | 76 |

ВСТУП

Одним з найважливіших видів транспорту в Європі є залізничний транспорт. Він займає друге місце за пасажирообігом після автомобільного і друге місце за вантажообігом після морського.

У Європі мережа залізниць дуже добре розвинена. Загальна довжина залізничних колій становить понад 260 000 км. Найбільш розвинені залізничні мережі в таких країнах, як Італія, Німеччина, Франція, Велика Британія.

В Європі залізничний транспорт відзначається високим рівнем розвитку та важливим значенням для економіки та інфраструктури. Європейський залізничний транспорт має багату історію та стабільний розвиток у сучасних умовах.

В Україні на відміну від Європи уряд не достатньо сприяє модернізації інфраструктури, підтримці безпеки та екологічних ініціатив у сфері залізничного транспорту. Але ж важливою рисою залізничного транспорту є активна роль саме держави у розвитку та підтримці залізничних систем. Знос парку вагонів Укрзалізниці складає 95%, локомотиви давно не оновлювалися і експлуатуються понаднормативний термін, колійна інфраструктура не отримує належного фінансування.

В даній роботі проаналізовано існуючі на залізничному транспорті конструкції колії Євросоюзу, США та України. Зроблена оцінка технічних характеристик на предмет можливості використання закордонних елементів конструкцій на українських залізницях. Проведена економічна оцінка закупівлі європейських елементів ВБК для України.

1 ПРИНЦИПИ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ІНФРАСТРУКТУРИ

Технічні специфікації інтероперабельності (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти, яким повинна відповідати кожна підсистема або частина підсистеми, щоб задовольнити основні вимоги та забезпечити оперативну сумісність залізничної системи Європейського Союзу.

Сьогодні здійснюється рух від національного бачення до європейської сумісності. Раніше цей процес передбачав сукупність Міжнародних угод, Міжнародних правил та Національних правил (із або без взаємного визнання). Сьогодні – це європейські Технічні специфікації, Європейські стандарти та Національні правила [1].

Для функціонування принципів інтероперабельності існують передумови та законодавча база [1]:

1991 - Директива Ради 91/440/ЕСС про розвиток залізниць Співтовариства;

1996 - Директива 96/48: Інтероперабельність транс'європейської (TEN) високошвидкісної залізничної системи;

2001 - Перший залізничний пакет: Директива про сумісність 2001/16 (що стосується мережі CR TEN);

2004 - Другий залізничний пакет: Директива про сумісність змінена (що стосується мережі TEN), Директива з безпеки 2004/49/CE та Регламент 881/2004, що створено Європейським залізничним агентством (ERA);

2007 - Третій залізничний пакет: краще гарантовані права пасажирів, відкриття ринку для міжнародних залізниць послуг (з січня 2010), Європейська ліцензія машиністів;

2008 - Директива щодо оперативної сумісності 2008/57/EC (охоплює всю залізничну мережу Союзу); Директива 2008/110/EC про внесення змін до Директиви про безпеку (введено ЕСМ);

2016 - Четвертий залізничний пакет (технічна складова): основний перегляд регламенту ERA, директив щодо оперативної сумісності та безпеки:

нові ролі та обов'язки для ERA, єдиний сертифікат безпеки та вдосконалений процес авторизації транспортних засобів.

Директиви інтеперабельності – це Директиви щодо безпеки та Регламент ERA [1]:

- Директива 96/48: Інтеперабельність транс'європейської (TEN) високошвидкісної залізничної системи
- Директива 2001/16: Інтеперабельність транс'європейських (TEN) звичайна залізнична система
- Директива щодо сумісності 2004/50, яка змінює 96/48 і 2001/16
- Директива про безпеку 2004/49/ЕС
- Регламент 881/2004 (Європейське залізничне агентство)
- Директива 2008/57/ЕС про сумісність залізничної системи в межах спільнот (що охоплює як HS, так і CR та розширює сферу дії TSI поступово до всієї залізничної системи);
- Директива (ЄС) 2016/797 про сумісність залізничної системи в межах Європейського Союзу (перегляд Директиви 2008/57/ЕС)
- Директива (ЄС) 2016/798 про безпеку залізниці (перероблена Директива 2004/49/ЕС)
- Регламент (ЄС) 2016/796 про Агентство Європейського Союзу з Залізниці та скасування Регламенту (ЄС) № 881/2004.

Директива інтеперабельності EU 2016/797 – Предмет і сфера застосування встановлює умови, які необхідно виконати для досягнення сумісності в залізничній системі Союзу у спосіб, сумісний із Директивою (ЄС) 2016/798, щоб визначити оптимальний рівень технічної гармонізації, щоб зробити можливим полегшення, покращення та розвиток залізниці, та надати транспортні послуги в межах Союзу та третім країнам.

Директива інтеперабельності EU 2016/797 встановлює також визначення основних понять [1].

Інтероперабельність - означає здатність залізничної системи забезпечувати безпечний та безперебійний рух поїздів, які досягають необхідних рівнів продуктивності.

Підсистеми - означає структурні або функціональні частини залізничної системи Союзу, як зазначено в Додатку II.

Складові сумісності - означає будь-який елементарний компонент, групу компонентів, підвузол або повну збірку обладнання, включене або призначене для включення в підсистему, від якої прямо чи опосередковано залежить сумісність залізничної системи, включаючи як матеріальні, так і нематеріальні об'єкти.

Технічна специфікація взаємодії (TSI) - означає специфікацію, ухвалену відповідно до Директиви, яка охоплює кожну підсистему або частину підсистеми з метою відповідності основним вимогам і забезпечення взаємодії залізничної системи Союзу.

Директива EU 2016/797, що становить залізничну систему Союзу, може бути розбита на наступні підсистеми [1]:

Структурна підсистема:

- Інфраструктура
- Енергія
- Колійне управління, управління та сигналізація
- Бортові засоби управління та сигналізації
- Рухомий склад

Функціональна підсистема:

- Експлуатація та управління трафіком
- Технічне обслуговування
- Телематичні програми для пасажирських і вантажних перевезень

TSI - це загальний (гармонізований) технічний стандарт, що визначає елементи основних вимог, які необхідно гармонізувати для досягнення

сумісності (безпека, надійність і доступність, здоров'я, захист навколишнього середовища, технічна сумісність, доступність).

TSI стосуються структурних підсистем (інфраструктура, рухомий склад, енергетика) або функціональних підсистем (технічне обслуговування, експлуатація та управління рухом, телематичні програми для пасажирських і вантажних послуг).

Структура TSI доповнюється національними правилами (NRs).

Інфраструктурна TSI є додатком до Регламенту Комісії (ЄС) №1299/2014 від 18 листопада 2014 року щодо технічних специфікацій взаємодії, що стосується підсистеми «інфраструктури» залізничної системи в Європейському Союзі.

До Регламенту (ЄС) № 1299/2014 внесено зміни Імплементативним Регламентом Комісії (ЄС) 2019/776 від 16 травня 2019 р. [1]:

Розділ 1: Техніко-географічний масштаб.

Розділ 2: вказує його передбачувану сферу застосування (наприклад, без SRT і PRM).

Розділ 3: встановлює основні вимоги до інфраструктури та частина підсистем технічного обслуговування.

Розділ 4: встановлює функціональні та технічні характеристики виконано інфраструктурою та частиною технічного обслуговування підсистеми та її інтерфейси по відношенню до інших підсистем.

Розділ 6: вказує, які процедури необхідно використовувати для оцінки відповідності складових сумісності або перевірка ЄС підсистем.

Розділ 7: вказує на стратегію впровадження цієї TSI та Конкретні випадки.

Технічний обсяг. TSI INF стосується підсистеми інфраструктури та частини підсистеми технічного обслуговування залізничної системи Союзу, визначеної відповідно в пунктах 2.1 та 2.8 Додатку II до Директиви (ЄС) 2016/79: 2.1. Інфраструктура Колії, пункти, залізничні переїзди, інженерні споруди (мости, тунелі тощо), залізничні елементи станцій (включаючи

входи, платформи, зони доступу, місця обслуговування, туалети та інформаційні системи, а також їх доступність). Особливості для осіб з обмеженими можливостями та осіб з обмеженою мобільністю, засоби безпеки та захисту. Технічне обслуговування Процедури, відповідне обладнання, логістичні центри для робіт з технічного обслуговування та резерви, що забезпечують обов'язкове коригування та профілактичне технічне обслуговування для забезпечення сумісності залізничної системи Союзу та гарантування необхідної продуктивності.

Граничні значення, встановлені в TSI (EU) №1299/2014, не призначені для застосування як звичайні проектні значення. Однак проектні значення повинні бути в межах, встановлених у цьому TSI. Функціональні та технічні специфікації інфраструктури та частини підсистем технічного обслуговування та їхніх інтерфейсів, не передбачають використання спеціальних технологій або технічних рішень, за винятком випадків, коли це суворо необхідно для сумісності залізничної системи Союзу. Інноваційні рішення для взаємодії, які не відповідають вимогам, визначеним у цій TSI, та/або які не підлягають оцінці, як зазначено в цій TSI, вимагають нових специфікацій та/або нових методів оцінки. Щоб дозволити технологічні інновації, ці специфікації та методи оцінки повинні бути розроблені за допомогою процесу для інноваційних рішень. Якщо робиться посилання на стандарти EN, будь-які зміни називаються, якщо інше не зазначено в TSI (EU) №1299/2014 [1].

Основні параметри, що характеризують підсистему інфраструктури, згруповані відповідно до наступних аспектів: Схема лінії, Параметри колії, Стрілки та перехрестя, Стійкість колії до прикладених навантажень, Стійкість конструкції до навантажень від руху, Обмеження негайної дії щодо дефектів геометрії колії, Платформи, Здоров'я, безпека та навколишнє середовище, Забезпечення експлуатації, Стаціонарні установки для обслуговування поїздів.

Таким чином, складові інтероперабельності інфраструктури - це рейки, системи рейкового кріплення, колійні шпали. Саме ці елементи виготовлені за стандартами ЄС мають перспективу використання на дорогах Укрзалізниці. Визначимо технічні та економічні особливості даного процесу.

2 БУДІВНИЦТВО ТА КОНСТРУКЦІЯ КОЛІЇ ЗАКОРДОННИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

2.1 Будівництво залізниці, доріг, морських портів та аеропортів

Будівництво доріг і залізниць часто передбачає створення незначних схилів на крутій пересіченій місцевості, як правило, за допомогою практики вирізання та насипання та перегляду дренажних систем для нових дорожніх полотен. Там, де вони добре спроектовані та виконані, проблеми зведені до мінімуму. Там, де не вистачає належного проектування та виконання, виникають проблеми з дренажем і руйнування схилів. Під час залізничної манії в Англії 1840-х років багато зсувів відбувалося на насипах і вирубках, тому що фактори безпеки, необхідні для різних типів гірських порід, тоді не були добре зрозумілі. Це призвело до рішучих теоретичних і практичних інвестицій у геоморфологію пагорбів. Навіть з наявними знаннями все ще можуть виникнути проблеми: у 2008 році після сильного снігопаду ротаційний зсув зруйнував майже 500 м залізничної лінії в Каскадному хребті Орегона (Hansen, 2008). Ці кілька прикладів показують актуальність геоморфології для забезпечення транспортних артерій.

Прибережні дороги значно дестабілізують, як правило, через те, що геоморфологічні наслідки такого будівництва були проігноровані. У багатьох випадках дороги були побудовані вздовж берегів, мало враховуючи роль підпірних морських скель як колишніх активних систем і джерела прибережного матеріалу. Результатом часто було обвалення цих «покинутих» морських скель на прибережні дороги та втрата природних пляжів через брак осаду (рис. 2.1). Сплячі зсуви також знову активізувалися через будівництво дороги, що врізалася в скелю, а камені на вершині скелі обвалилися на дороги вниз.



Рис. 2.1. Масовий рух уздовж узбережжя Каліфорнії.

зліва: обрив схилу в 1979 році, спричинений будівництвом дороги під колишніми активними морськими скелями (К. Малліган); справа: зсув і майно, зруйноване в Huntington Palisades під час землетрусу магнітудою 6,8 балів у січні 1994 року.

На відміну від здебільшого лінійного впливу будівництва доріг і залізниць, будівництво сучасних морських портів і аеропортів створює площовий вплив. Давно минули часи, коли потреби країни в портах можна було задовольнити невеликими пристанями в захищених бухтах і лиманах. Щоб пристосуватись до зростаючих розмірів сучасних суден, більшість великих портів тяжіли до моря, заповнюючи водно-болотні угіддя, осушуючи глини, відновлюючи прибережний шельф, днопоглиблюючи або засипаючи за дамби та хвилерізи. Сучасні порти Лос-Анджелеса та Роттердама є вираженням того, що можливо з урахуванням комерційних потреб і відповідних технологій. Подібним чином перенесення та розширення великих міжнародних аеропортів призвело до вирівнювання прибережних дюн поблизу Лос-Анджелеса, відновлення водно-болотних угідь біля Амстердама та захоплення прибережних вод Гонконгу. Багато морських портів і аеропортів було збільшено, лише побіжно потурбуючись про їхні довгострокові екологічні наслідки; геоморфологія повинна бути невід'ємною частиною процесу планування [2].

2.2 Планування залізниці та вибір маршруту

Залізничне планування та будівництво нових залізниць повинні відповідати вимогам місцевого міського генерального планування, бути сумісними з напрямком і масштабом найближчого та довгострокового розвитку міста, а також повністю узгоджуватися з міським генеральним плануванням, щоб уникнути перетину існуючих або планованих територій, де зосереджені будівлі, чутливі до шуму та вібрації. Нові залізничні сортувальні станції, вантажні залізничні магістралі та інші технічні споруди, які безпосередньо не обслуговують місто, повинні по можливості оминати міські території. При проектуванні залізниці забруднення навколишнього середовища залізничним шумом і вібрацією можна уникнути або істотно зменшити за допомогою розумного вибору маршруту [3].

2.3 Інтенсивність джерела шуму високошвидкісного поїзда в Китаї

Керівні положення щодо значення інтенсивності джерела шуму, вібрації та принципів управління в оцінці впливу на навколишнє середовище проектів будівництва залізниці регулюють забруднення навколишнього середовища залізничним шумом і вібрацією. За результатами дослідження натурних даних випробувань характеристик джерела шуму вібрації в комплексній випробувальній та дослідній експлуатації оцінена вся система швидкісних залізниць Пекін-Тяньцзінь, Шицзячжуан-Тайюань, Хефей-Нінбо, Хефей-Ухань і Чженчжоу-Сіань.

Польові випробування проводилися на прямій трасі насипу з безшовною сталевією рейкою 60 кг/м у хорошому стані поверхні та на трасі мосту з висотою захисної стіни 1 м. Вимірювання проводилося на відстані 25 м від центру лінії поїзда та 3,5 м над поверхнею рейки. Результати наведено в таблиці 2.1 [4].

Таблиця 2.1 Інтенсивність джерела шуму швидкісної залізниці (дБ).

| Швидкість (км/год) | Набережна траса | | Маршрут мосту | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Безбаластна колія | Баластована колія | Безбаластна колія | Баластована колія |
| 160 | 82.5 | 79,5 | 76.5 | 73.5 |
| 170 | 83,0 | 80,0 | 77,0 | 74,0 |
| 180 | 84,0 | 81,0 | 78,0 | 75,0 |
| 190 | 84.5 | 81.5 | 78.5 | 75.5 |
| 200 | 85.5 | 82.5 | 79,5 | 76.5 |
| 210 | 86.5 | 83.5 | 80.5 | 77.5 |
| 220 | 87.5 | 84.5 | 81.5 | 78.5 |
| 230 | 88.5 | 85.5 | 82.5 | 79,5 |
| 240 | 89,0 | 86,0 | 83,0 | 80,0 |
| 250 | 89,5 | 86.5 | 83.5 | 80.5 |
| 260 | 90,5 | 87.5 | 84.5 | 81,0 |
| 270 | 91,0 | 88,0 | 85,0 | 81.5 |
| 280 | 91.5 | | 85.5 | |
| 290 | 92,0 | | 86,0 | |
| 300 | 92.5 | | 86.5 | |
| 310 | 93.5 | | 87.5 | |
| 320 | 94,0 | | 88,0 | |
| 330 | 94.5 | | 88.5 | |
| 340 | 95,0 | | 89,0 | |
| 350 | 95.5 | | 89,5 | |

Зі збільшенням швидкості росте рівень шуму. Безбаластна траса має вищі значення шуму, що говорить про поглинання вібрацій баластною подушкою. Але баластна колія не використовується при швидкостях понад 270 км/год.

2.4 Процес будівництва залізниці

Будівництво залізниць також називають колійним укладанням і баластуванням. Це процес укладання залізничних шпал і колій на полотно. Процес будівництва залізниці в основному включає транспортування та укладання залізничних шпал і рейок, транспортування та укладання баласту.

Підготовчі роботи перед будівництвом залізниці

На відміну від інших типів будівництва доріг, таких як будівництво огорож на шосе, перед початком будівництва залізниці необхідно заздалегідь

підготувати такі матеріали, як сталеві рейки, рейкові кріплення та баласт. Вимірювальні роботи перед будівництвом залізниці також повинні бути завершені до початку будівництва. Після простого очищення земляного полотна можна приступати до наступних кроків будівництва залізниці.

Сталеві рейки, рейкові шпали та залізничні кріплення, які використовуються:

- рейка UIC51, UIC60, рейка BS60A, BS75R, рейка ASCE25, ASCE175;
- всі види дерев'яних шпал, бетонних шпал і композитних шпал;
- з'єднання рейок, затискачі для рейок, система кріплення рейок, рейкові болти, рейкові прокладки тощо.

Укладання баласту в нижній шар. Для першого укладання баласту залізничної колії слід укласти лише нижній шар, головним чином баластний пояс, укладений у зоні під двома рейками. Решту баласту транспортують потягами після прокладання залізничного полотна.

Потім здійснюється перевезення та укладання залізничних шпал (рис. 2.2).



Рис. 2.2 Перевезення та укладання залізничних шпал

Через поточну конструкцію залізничних колій здебільшого використовують бетонні шпали, вага яких є відносно великою. Тому для їх

транспортування потрібно використовувати механізми. Колійнобудівна машина піднімає бетонну шпалу із заднього контейнера, переносить її на передню консоль, опускає на необхідне місце, регулює положення і ставить на баласт. Після того, як кожен залізничну шпалу покладено, машина переміщується вперед на певну відстань, тому проходить циклічність, щоб здійснити укладку залізничної колії. Залізничні кріплення, такі як залізні пластини, колійні болти, рейкові скоби тощо, будуть попередньо встановлені на рейковій шпалі в цей час і будуть знову встановлені після розміщення рейки.

Для прокладання колії, як і раніше, використовується колійнобудівельна техніка. Машина піднімає секцію сталеві рейки вгору та переміщує її до залізної пластини, яка знаходиться над залізничною шпалою. Після регулювання положення колійна машина опускає рейку і продовжує укладати наступну ділянку рейки. У цей час діють працівники, які обслуговують обладнання для кріплення рейкових скріплень, щоб рейка була закріплена.

Баластні роботи включають транспортування, вивантаження, трамбування, обрізання баласту та інші операції. Усі ці процеси можна завершити за допомогою машини для укладання баласту з повною продуктивністю.

В кінці виконують опоряджувальні роботи з будівництва залізничної колії. Після укладання колії та баластування секції рейки необхідно закріпити, щоб утворити стабільну лінію. Для з'єднання рейкових ділянок звичайних залізниць зазвичай використовуються накладки та стикові болти. Для високошвидкісних залізничних ліній для з'єднання ділянок рейок зазвичай використовується метод термітного зварювання. Насамкінець велика дорожньо-експлуатаційна машина виконає механічні роботи та завершує облаштування та огляд колії.

2.5 Системи кріплення рейок

Функція системи рейкового скріплення полягає в кріпленні рейок до шпали або бруса. Загалом система кріплення рейок складається з рейкових анкерів, пластин, стяжок, прокладок, клем, дюбелів, шурупів, болтів тощо.

Розглянемо критерії проектування системи рейкового скріплення. Існують суворі критерії щодо виробництва системи кріплення рейок; це пояснюється тим, що безпека залізниці не може бути поставлена під загрозу. Слід враховувати особливості системи кріплення рейок, щоб потім виготовляти максимально надійні готові вироби.

Сила затиску рейки. Сила затиску може відрізнитися залежно від різних видів системи кріплення та вимог замовника. Як правило, більшість кріпильних систем забезпечують силу затиску від 7,5 до 12,5 кН із відхиленнями носка затискачів від 10 до 15 мм. Згідно з європейськими стандартами, для більшості магістральних залізничних колій мінімальна сила, щоб проштовхнути рейку через систему кріплення, становить 7 кН і 9 кН для високошвидкісних залізниць і ліній для важких вантажів.

Плече/анкер є досить важливим у системі кріплення. Він повинен витримувати вплив навантажень і вібрації, що передаються на шпалу, за умови захисту шпали від поломки або розшаровування. Згідно з європейським стандартом, усі частини кріплення повинні витримувати силу висмикування 60 кН без руйнування шпали.

Ізолятор. Щоб зупинити зношування інших елементів кріплення, необхідний ізолятор, він працює як подушка. Таким чином, матеріали повинні бути стійкими до зношування, бути здатними до впливу хімічних речовин і розкладатися під впливом ультрафіолетового світла. У міру зміни характеру сигнальної та електричної систем вимоги до ізолятора відрізняються.

Рейкові прокладки. Іноді на рейках лежить велике навантаження, а погані з'єднання, нерівності колії та несправності рухомого складу можуть посилити навантаження. Щоб вирішити проблему, вкладаються рейкові

прокладки. Зазвичай рейкова прокладка виготовляється з гуми товщиною 10 мм і є пластиком, таким як EVA, товщиною від 5 до 10 мм. Типова жорсткість накладки становить 40-450 кН/мм, а 5-міліметрова пластикова накладка може забезпечити жорсткість до 6000 кН/мм.

Компанії «AGICO», «Vossloh», «Pandrol», «Plastwil», «SCHWING AG» є закордонними розробниками, виробниками і експортерами економічних пружних систем кріплення рейок для різних типів колій і умов руху, що забезпечує безпечні та надійні системи кріплення з високою силою натягу та стійкістю до повзучості, щоб ефективно захистити рейку від нахилу. Асортимент кріпильних систем включає як для баластних, так і для плитних колій у різних умовах, від важких перевезень до метро та високошвидкісних рейок, а також міських залізничних ліній. Спираючись на більш ніж 50-річний досвід і рішення для кінцевих користувачів у всьому світі, кріпильні елементи добре використовуються для забезпечення того, щоб залізнична колія зберігала однакові властивості весь час, особливо натяжні затискачі з наддинамічною втомною міцністю та утримуючою силою, щоб гарантувати безпечну роботу рейок навіть за особливих умов, що знижує вартість обслуговування та частоту для кінцевих користувачів.

Система кріплення рейок SKL3/SKL12/SKL14.



Рис. 2.2 Системи проміжного скріплення типу SKL

Таблиця 2.2. Специфікації для комплекту скріплення типу SKL

| Пункт | Кількість | матеріал |
|----------------------|-----------|----------------------------------|
| Натяжна скоба SKL | 2 | 60Si2CrA, 60Si2CrA, 38Si7 |
| Гвинт Ss35 | 2 | 4.6 клас: Q235 |
| | | Оцінка 5.6: 35# |
| | | Оцінка 8.8: 45# |
| Плоска шайба | 2 | Q235 |
| Дюбель пластиковий | 2 | HDPE, армований нейлон 66 (PA66) |
| Направляюча пластина | 2 | Посилений нейлон 66 (PA66) |
| Рейкова прокладка | 1 | EVA, або гума |

Система кріплення E-clip.

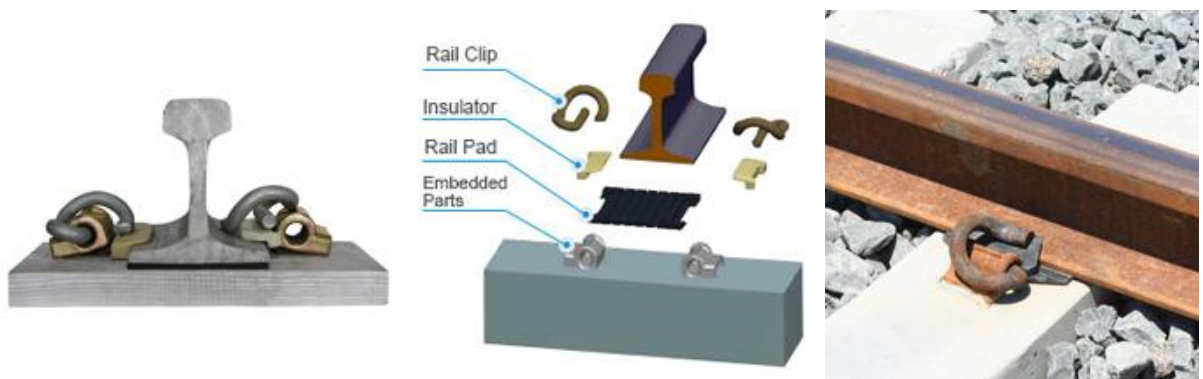


Рис. 2.3 Системи проміжного скріплення типу E-clip

Таблиця 2.3. Специфікації систем кріплення рейок типу E

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-------------------|-----------|----------------------------|
| E кліп | 2 | 60Si2MnA, 60Si2CrA |
| Плече | 2 | QT500-7, QT450-10 |
| Рейкова прокладка | 1 | HDPE, гума або EVA |
| Ізолятор | 2 | Посилений нейлон 66 (PA66) |

Система рейкового кріплення КПО.

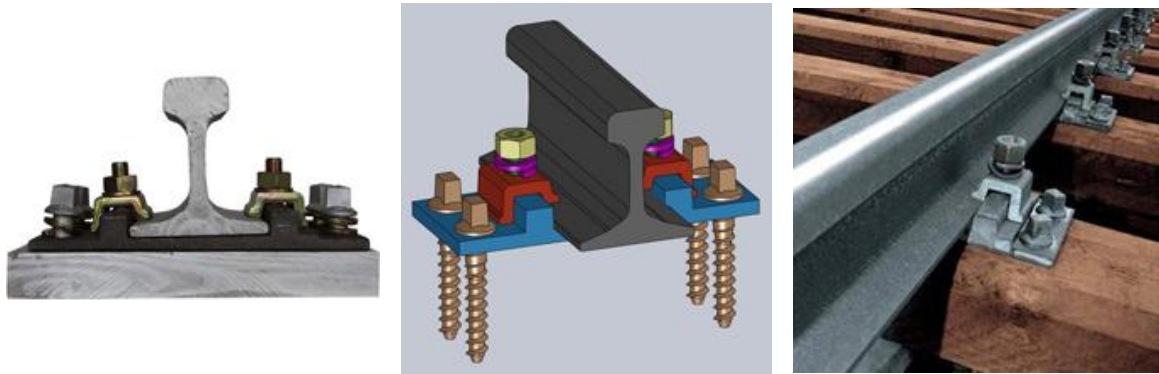


Рис. 2.4 Системи проміжного скріплення типу КПО

Таблиця 2.4. Технічні умови на комплект скріплення типу КПО

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-------------------------|-----------|------------------|
| Клема КПО | 2 | Q235 |
| Болт | 2 | 4.6 клас: Q235 |
| | | Оцінка 5.6: 35# |
| | | Оцінка 8.8: 45# |
| Шуруп HS 4 | 4 | Оцінка 4.6: Q235 |
| | | Оцінка 5.6: 35# |
| | | Оцінка 8.8: 45# |
| Шестигранна гайка 2 | 2 | 5 клас: 35# |
| | | 8 клас: 45# |
| Подвійна пружинна шайба | 2 | 65 млн |

Пружинне кріплення у виді плоскої клеми

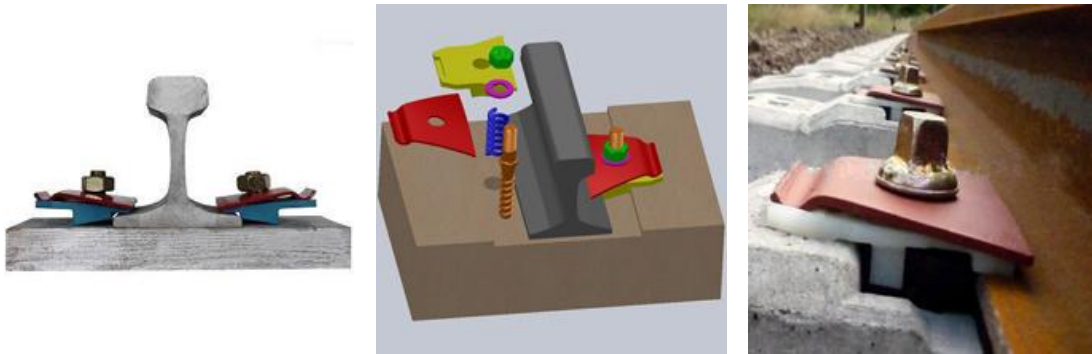


Рис. 2.5 Системи проміжного скріплення типу плоскої клеми

Таблиця 2.5. Специфікації для комплекту скріплення типу пружинного плоского кріплення

| Пункт | Кількість | матеріал |
|----------------|-----------|----------------------------|
| Клема плоска | 2 | 60Si2MnA, 60Si2CrA |
| Ізолятор | 2 | Посилений нейлон 66 (PA66) |
| Гвинтовий шип | 2 | Оцінка5.6:35# |
| Пружинна шайба | 2 | ML08AI |

Система кріплення рейкових костилів. Система кріплення рейкових костилів популярна на ринку Північної Америки, особливо центральної Америки.



Рис. 2.6 Системи проміжного скріплення типу рейкових костилів

Таблиця 2.6. Специфікації для комплекту скріплення типу рейкових костилів

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-----------|-----------|---|
| костилі | комплект | Q235A |
| Підкладка | 1 | QT450-10 для лиття Q235 для прокатки |

Високошвидкісна система кріплення рейок WJ-8



Рис. 2.7 Системи проміжного скріплення для високошвидкісних ліній типу WJ-8

Система кріплення рейок WJ-8 часто використовується для рейок 60 кг/м з безбаластною плитою або шпалами з уступами. Він відповідає умовам експлуатації: пасажирський поїзд зі швидкістю 350 км/год з навантаженням на вісь не більше 170 кН; змішаний пасажирсько-вантажний рух зі швидкістю 250 км/год з навантаженням на вісь не більше 230 кН.

Таблиця 2.7. Специфікації для комплекту скріплення типу WJ-8

| Пункт | Кількість | матеріал |
|----------------------|-----------|----------------------------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2MnA |
| Гвинтовий шип | 2 | 20MnTiB |
| Плоска шайба | 2 | Q235A |
| Рейковий ізолятор | 2 | PA66 |
| Направляюча пластина | 2 | Посилений нейлон 66 (PA66) |

| | | |
|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |
| Стяжна пластина | 1 | QT450-10 |
| Дюбель пластиковий | 2 | HDPE, армований нейлон 66 (PA66) |
| Регульована підкладка | 2 | PE |
| Регульована накладка Tie Plate | 2 | PE |

Високошвидкісна система кріплення рейок WJ-7



Рис. 2.8 Системи проміжного скріплення для високошвидкісних ліній типу WJ-7

Система рейкового кріплення WJ-7 часто використовується для рейок вагою 60 кг/м з безбаластною плитою або шпал без бортиків. Він відповідає умовам експлуатації для: пасажирський поїзд зі швидкістю 350 км/год з навантаженням на вісь не більше 170 кН; змішаний пасажирсько-вантажний поїзд зі швидкістю 250 км/год з навантаженням на вісь не більше 230 кН.

Таблиця 2.8. Специфікації для комплекту скріплення типу WJ-7

| Пункт | Кількість | матеріал |
|---------------------|-----------|----------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2MnA |
| Шайба гайки Т-болта | 2 | Q235A |
| Рейковий ізолятор | 2 | PA66 |

| | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
| Стяжна пластина | 1 | QT450-10 |
| Ізольована буферна пластина | 1 | Гумовий |
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |
| Анкерний болт | 1 | Q235A |
| Пружинна шайба | 2 | 60Si2Mn |
| Звичайна пральна машина | 2 | QT450-10 |
| Дюбель пластиковий | 2 | HDPE, армований нейлон 66 (PA66) |

Високошвидкісна система кріплення типу V



Рис. 2.9 Системи проміжного скріплення для високошвидкісних ліній типу V

Система кріплення рейок типу V часто використовується для рейок 60 кг/м з баластними або бетонними зв'язками з уступами. Він відповідає умовам експлуатації для: пасажирський поїзд зі швидкістю 350 км/год з навантаженням на вісь не більше 170 кН; змішаний пасажирсько-вантажний поїзд зі швидкістю 250 км/год з навантаженням на вісь не більше 230 кН.

Таблиця 2.9. Специфікації для комплекту скріплення типу V

| Пункт | Кількість | матеріал |
|---------------------|-----------|----------------------------------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2MnA |
| Гвинтовий шип | 2 | 20MnTiB |
| Плоска шайба | 2 | Q235A |
| Космічні фігури | 2 | Q235A |
| Вимірвальний фартух | 2 | Гумовий |
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |
| Регульована колодка | 1 | PE |
| Дюбель пластиковий | 2 | HDPE, армований нейлон 66 (PA66) |

Система кріплення типу IV

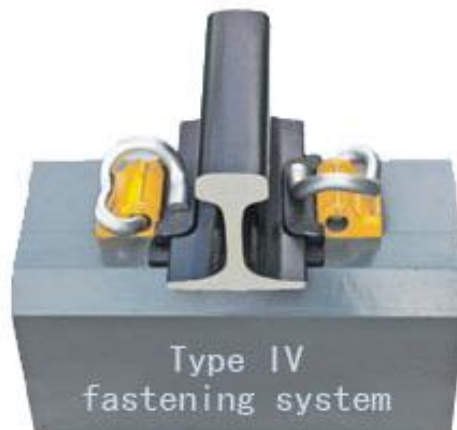


Рис. 2.10 Системи проміжного скріплення для ліній типу IV

Система кріплення рейок типу IV часто використовується для рейок 60 кг/м з баластними або бетонними шпалами без уступів. Він відповідає умовам експлуатації для: пасажирський поїзд зі швидкістю 350 км/год з навантаженням на вісь не більше 170 кН; змішаний пасажирсько-вантажний поїзд зі швидкістю 250 км/год з навантаженням на вісь не більше 230 кН.

Таблиця 2.10. Специфікації для комплекту скріплення типу IV

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-------------------|-----------|---------------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2MnA |
| Рейковий ізолятор | 2 | PA66 |
| Рейкове плече | 2 | QT450-10 |
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |

Система кріплення Clip II / Clip I

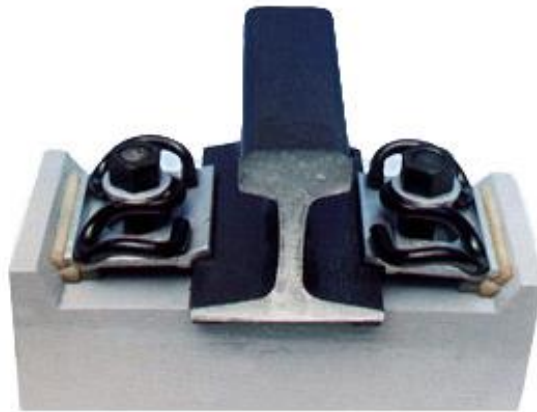


Рис. 2.11 Системи проміжного скріплення Clip II / Clip I

Система кріплення Clip II/Clip I застосовується до стандартної рейкової лінії 50/60 кг/м або лінії радіусом ≥ 300 м бетонної шпали з бортиком. Кліпси системи кріплення Clip II такі ж, як системи кріплення Clip I.

Таблиця 2.11. Специфікації для комплекту скріплення Clip II/Clip I

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-----------------------|-----------|---------------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2CrA |
| Шуруп + гайка + шайба | 2 | Q235A |
| Рейковий ізолятор | 2 | Q235 |
| Перегородка | 2 | PA66 |
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |

Система кріплення Слір III



Рис. 2.12 Системи проміжного скріплення Слір III

Система кріплення Слір III застосовується до 60 кг/м шпал без бортиків, і це безболтова система. Він включає рейкові затискачі, рейкові плечі та ізолятори.

Таблиця 2.12. Специфікації для комплекту скріплення Слір III

| Пункт | Кількість | матеріал |
|-------------------|-----------|---------------|
| Рейковий затиск | 2 | 60Si2MnA |
| Рейковий ізолятор | 2 | PA66 |
| Рейкове плече | 2 | QT450-10 |
| Рейкова колодка | 1 | EVA, або гума |

Контроль якості систем скріплення. Кожен кріпильний елемент, який виробляється, суворо перевіряється протягом усього виробничого процесу, від закупівлі сировини до готового продукту, щоб забезпечити його надійність та безпеку використання.

Процес контролю якості включає:

- випробування сировини
- перша перевірка виробництва продукції

- перевірка під час виробництва
- перевірка готової продукції

Елементи перевірки якості:

- хімічний склад
- фізичні властивості: (межа міцності, межа текучості та подовження, вигин, твердість, металографічний аналіз)

Ударна перевірка:

- випробування антикорозійних властивостей
- розміри та якість зовнішнього вигляду

2.6 Залізничні рейки європейських та американських стандартів

Рейки європейського стандарту - це залізничні рейки, виготовлені відповідно до стандарту EN 13674. Стандартні рейки EN широко використовуються в Європі та навіть у всьому світі. Сталеві рейки європейського стандарту мають високі показники безпеки та часто використовуються на пасажирських, вантажних, високошвидкісних і міських залізничних транзитних лініях [5].

У 27 країнах ЄС і багатьох країнах, таких як Сполучене Королівство, Ісландія, Туреччина, Чорногорія, Швейцарія, Норвегія тощо, сталеві рейки європейського стандарту використовуються як переважні сталеві рейки для основних міських залізничних ліній.

Європейські стандартні рейки впроваджують європейські залізничні стандарти. Експерти спільно розробляють європейські залізничні стандарти від CEN (Європейський комітет стандартизації) і CENELEC (Європейський комітет стандартизації в електротехніці). Європейські залізничні стандарти охоплюють майже всю залізничну інфраструктуру.

Кранові рейки, легкі рейки, релейні рейки тощо відповідають стандартам EN 13674-1 та EN 13674-4. До популярних моделей належать залізнична рейка 39E1 (BS80A), рейка 45E3 (RN45), рейка 46E2 (U33), рейка

49E1 (S49), рейка 49E5, рейка 54E1 (UIC54), рейка 54E3 (S54), рейка 54E5, рейка 56E1, 60E1 (UIC60) рейка та рейка 60E2 тощо.

Таблиця 2.13. Специфікації залізничних рейок

| Тип рейки | Стандарт | Голівка (мм) | Висота (мм) | Підшва (мм) | Шийка (мм) | Вага (кг/м) | Довжина (м) |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 39E1(BS 80A) | EN 13674-4 | 67,00 | 138,00 | 125,00 | 12,00 | 39,77 | 12-25 |
| 45E1 (BS 90A) | EN 13674-4 | 66,60 | 142,8 | 127,00 | 13,80 | 45,10 | 12-25 |
| 45E3(RN 45) | EN 13674-4 | 66,00 | 142,00 | 130,00 | 15,00 | 44,79 | 12-25 |
| 46E2(U33) | EN 13674-1 | 62,00 | 145,00 | 134,00 | 15,00 | 46,27 | 12-25 |
| 49E1(S49) | EN 13674-1 | 67,00 | 149,00 | 125,00 | 14,00 | 49,39 | 12-25 |
| 49E2 | EN 13674-1 | 67,00 | 148,00 | 125,00 | 14,00 | 49,10 | 12-25 |
| 49E5 | EN 13674-1 | 67,00 | 149,00 | 125,00 | 14,00 | 49,13 | 12-25 |
| 50E1 | EN 13674-1 | 65,00 | 153,00 | 134,00 | 15,50 | 50,37 | 12-25 |
| 50E2 | EN 13674-1 | 72,00 | 151,00 | 140,00 | 15,00 | 49,97 | 12-25 |
| 50E4 | EN 13674-1 | 70,00 | 152,00 | 125,00 | 15,00 | 50,46 | 12-25 |
| 50E6(U50) | EN 13674-1 | 65,00 | 153,00 | 140,00 | 15,50 | 50,90 | 12-25 |
| 54E1(UIC54) | EN 13674-1 | 70,00 | 159,00 | 140,00 | 16,00 | 54,77 | 12-25 |
| 54E2(UIC54E) | EN 13674-1 | 67,00 | 161,00 | 125,00 | 16,00 | 53,82 | 12-25 |
| 54E3(S54) | EN 13674-1 | 67,00 | 154,00 | 125,00 | 16,00 | 54,57 | 12-25 |
| 56E1 (BS113 фунтів) | EN 13674-1 | 69,85 | 158,75 | 140,00 | 20,00 | 56,30 | 12-25 |
| 60E1(UIC60) | EN 13674-1 | 72,00 | 172,00 | 150,00 | 16,50 | 60,21 | 12-25 |
| 60E2 | EN 13674-1 | 72,00 | 172,00 | 150,00 | 16,50 | 60,03 | 12-25 |

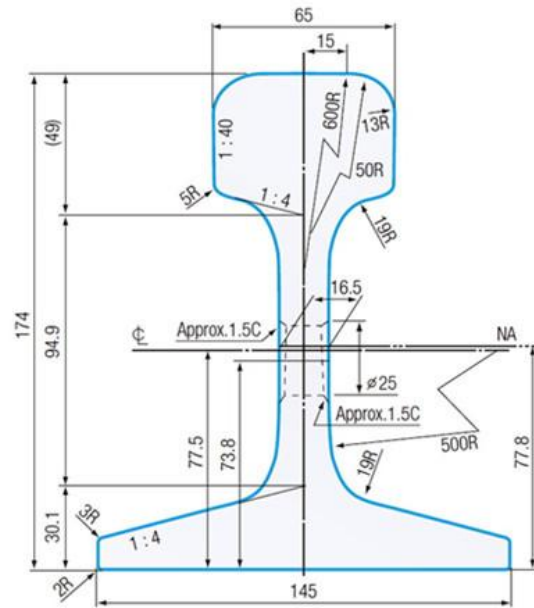


Рис. 2.13 Профіль рейок UIC 60E1

Північноамериканські рейки: 90-фунтова рейка АРА-А - це тип залізничної рейки, рекомендований Американською залізничною асоціацією (АРА) для ліній легкої вантажної залізниці, низькочастотних колій або легких рейок. Рейка вагою 90 фунтів широко використовується в Північній Америці. Постачаються рейки вагою від 75 фунтів/ярд (37,2 кг/м) до 141 фунтів/ярд (69,9 кг/м). Довжина запасів зазвичай становить 30 футів, 33 футів, 39 футів, 40 футів і 12 метрів .

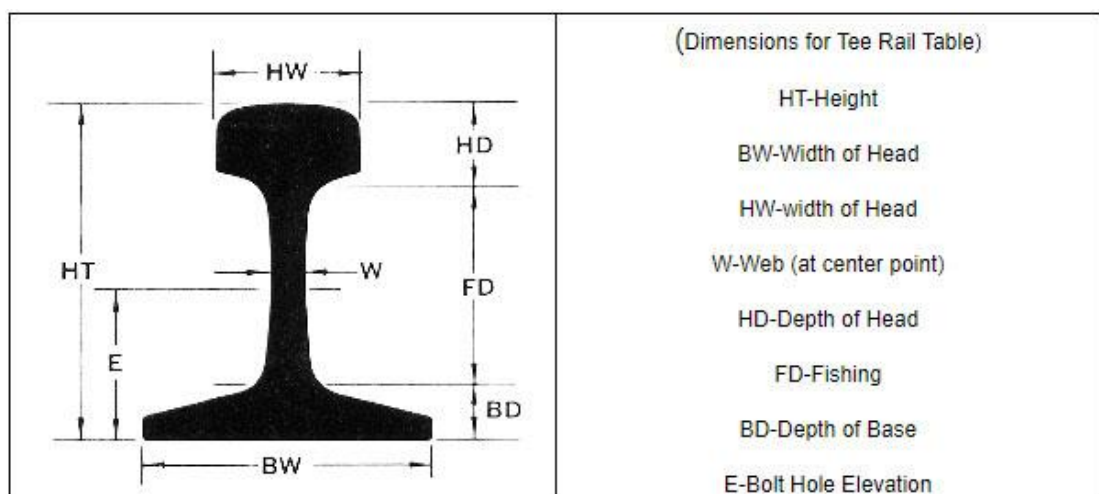


Рис. 2.14 Профіль рейок типу АРА-А, ASCE, АРА-В

Таблиця 2.14. Специфікації залізничних рейок 90 фунтів

| Вага на ярд | Тип рейки | Розміри в дюймах | | | | | | | | Позначення розділу | | |
|-------------|-----------|------------------|---------|--------|------|---------|---------|--------|----------|--------------------|------|-----|
| | | HT | BW | HW | B | HD | FD | BD | E | | | |
| 90 фунтів | ASCE | 5 3/8 | 5 3/8 | 2 8/5 | 9/16 | 1 19/32 | 2 55/64 | 59/64 | 2 45/128 | 9040 | 90AS | - |
| | APA-A | 5 3/8 | 5 3/8 | 2 9/16 | 9/16 | 1 15/32 | 3 5/32 | 1 | 2 37/64 | 9020 | 90RS | 902 |
| | APA-B | 5 17/64 | 4 49/64 | 2 9/16 | 9/16 | 1 39/64 | 2 5/8 | 1 1/32 | 2 11/32 | 9030 | 90RB | 905 |

Існують також інші стандартні північноамериканські розміри рейок:

75 фунтів/ярд (37,2 кг/м) (ASCE)

80 фунтів/ярд (39,7 кг/м) (Dudley)

85 фунтів/ярд (42,2 кг/м) (ASCE)

90 фунтів/ярд (44,6 кг/м) (ARA)

100 фунтів/ярд (49,6 кг/м) (AREA)

105 фунтів/ярд (52,1 кг/м) (Dudley)

112 фунтів/ярд (55,6 кг/м) (KCSC)

115 фунтів/ярд (57,0 кг/м) (AREA)

119 фунтів/ярд (59,0 кг/м)

127 фунтів/ярд (63,0 кг/м) (Dudley)

132 фунтів/ярд (65,5 кг/м) (AREA)

133 фунтів/ярд (66,0 кг/м) (AREA)

136 фунтів/ярд (67,5 кг/м)

140 фунтів/ярд (69,4 кг/м) (AREA)

141 фунт/ярд (69,9 кг/м)

Рейки виробляються в суворій відповідності до вимог сертифікації системи якості ISO9001-2008, а також сертифікату схвалення виробництва залізничної продукції, що видається Міністерством залізниць Китаю.

Рейка 136RE - це залізнична продукція, розроблена та виготовлена відповідно до американського стандарту AREAM. Подібно до рейок 90 фунтів, рейок 115RE та рейок 132RE, його можна використовувати для

будівництва важких рейок і кранових рейок. Рейка 136RE важить 67,41 кг/м, що еквівалентно 136 фунтам на ярд, звідси й назва «рейка 136 фунтів».

Таблиця 2.15. Специфікації залізничних рейок 136RE

| Тип | Ширина голови (мм) | Висота рейки (мм) | Ширина основи (мм) | Товщина полотна (мм) | Вага (кг/м) |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| 136RE (136 фунтів) | 74,61 | 185,74 | 152,4 | 17,46 | 67,41 |

Довжина: 12м~25м

Клас: R260/R350HT

Матеріал: 55Q U71MN SS 900A

Вага: 67,41 кг/м, 136 фунтів/ярд

Сфера застосування: Залізнична колія

Сертифікат: ISO9001:2008

Стандарт: ASTM, AREMA 2001

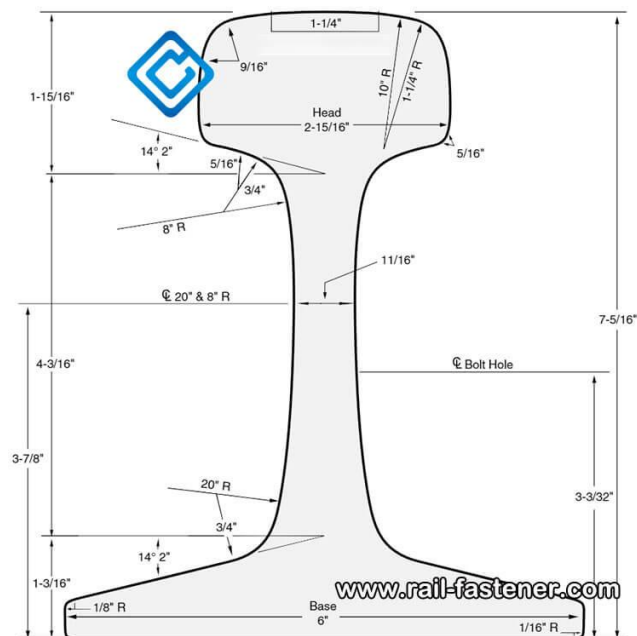


Рис. 2.15 Профіль рейок типу 136RE

Форма торця рейки 136 RE має Т-подібну секцію з найкращою стійкістю до вигину, яка складається з трьох частин: головки рейки, талії рейки та дна рейки.

Щоб рейка краще витримувала зусилля з усіх боків, забезпечуються необхідні умови міцності. Для того, щоб рейка краще витримувала силу з усіх боків і забезпечувала необхідні умови міцності, рейка 136 фунтів розроблена як рейка для важких умов із достатньою висотою, а висота рейки становить 185,74 мм. Голова та низ рейок вагою 136 фунтів розроблені з достатньою площею та висотою, а товщина талії досягає 17,46 мм.

Довжина рейки 136RE, зазвичай становить 12-25 метрів, і її також можна виготовити відповідно до потреб клієнта.

Таким чином, на закордонних залізницях для важких умов роботи використовують важкі рейки, що мають вагу більше 65 кг/м, для швидкісних ліній використовуються рейки вагою 60 кг/м.

3 СУМІЩЕНА КОЛІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Усі елементи суміщеної колії – земляне полотно, верхня будова колії, штучні споруди за міцністю та стійкістю повинні забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів з установленими швидкостями. Конструкція суміщеної колії, перетинів, сплетінь і вплетінь колій повинні відповідати вимогам норм та правил [6, 7]. Усі споруди та пристрої, що знову споруджуються, суміщеної колії, колії 1435 мм та колії 1520 мм у сплетіннях та переплетіннях повинні задовольняти вимогам габариту наближення споруд «С» згідно з ДСТУ Б В.2.3-29. Для суміщеної колії відступи в нижній частині габаритного обриса для розташування рейок, як колії 1435 мм, так і колії 1520 мм допускаються до 40 мм. Відстань між осями колій колії 1520 мм, у разі її суміщення з колією 1435 мм, і сусідньої колії 1520 мм на перегонах двоколійних ділянок повинна бути не менше ніж 4500 мм (рис. 3.1).

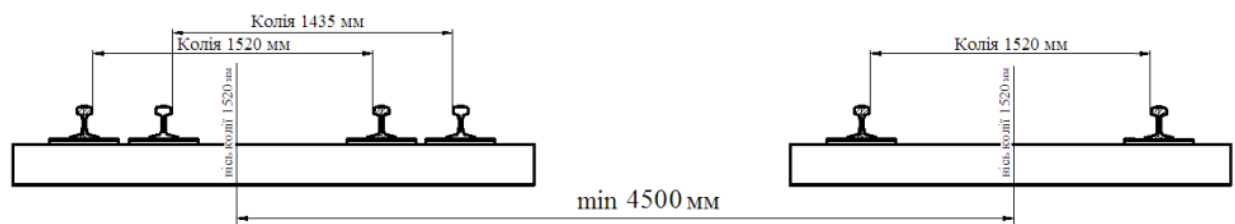


Рис. 3.1 Відстань між осями суміжних колій
(суміщеної та колії 1520 мм)

Відстань між осями колій колії 1520 мм, у разі суміщення її з колією 1435 мм, і сусідньої колії 1435 мм на перегонах двоколійних ділянок повинна бути не менше ніж 4400 мм (рис. 3.2). Відстань між осями суміжних колій колії 1435 мм та між віссю колії і габаритом наближення споруд у кривих ділянках на перегонах і станціях повинна бути збільшена залежно від радіусу кривої. Розміри збільшення повинні бути не менше ніж наведені у таблиці 3.1.

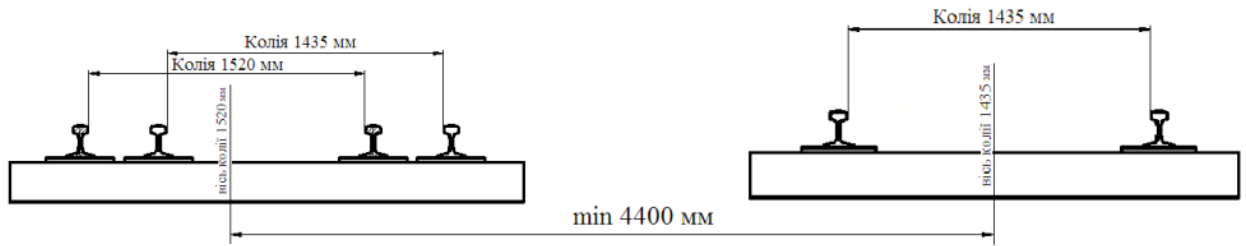


Рис. 3.2 Відстань між осями суміжних колій
(суміщеної та колії 1435 мм)

Відстань між осями суміжних окремих колій колії 1520 мм і колії 1435 мм в прямих ділянках на перегонах повинна бути не менше ніж 4100 мм, а на станціях на прямих ділянках не менше ніж: – між станційними коліями – 4800 мм; – між суміжними коліями колії 1520 мм і колії 1435 мм – 4800 мм; – між осями колій, призначених для безпосереднього перевантаження вантажів з вагона у вагон – 3600 мм. Існуючі відстані між осями колій і ширина міжколійя на лініях, що експлуатуються, допускається зберігати до перебудови.

Земляне полотно повинно бути міцним і стійким, мати конструкцію відповідно до вимог ДБН В.2.3-19. Ширину основної площадки земляного полотна суміщеної колії необхідно збільшувати відносно встановлених ДБН В.2.3-19 величин: - на одноколійних ділянках – на 150 мм, - на двоколійних ділянках з однією суміщеною колією, а другою 1435 мм або 1520 мм – на 225 мм; - на двоколійних ділянках з двома суміщеними коліями – на 300 мм. У кривих ділянках колії радіусом менше ніж 2000 м земляне полотно суміщеної колії повинно бути розширено на величини, наведені у таблиці 3.1 зі збільшенням цих значень ще на 300 мм.

Верхня будова колії. Конструкція суміщеної колії, перетинів, сплетінь і вплетінь колій повинна відповідати вимогам норм та правил [7]. Влаштування суміщеної колії на залізобетонних шпалах повинно відповідати рис.3.3. Влаштування суміщеної колії на дерев'яних шпалах повинно відповідати рис.3.4.

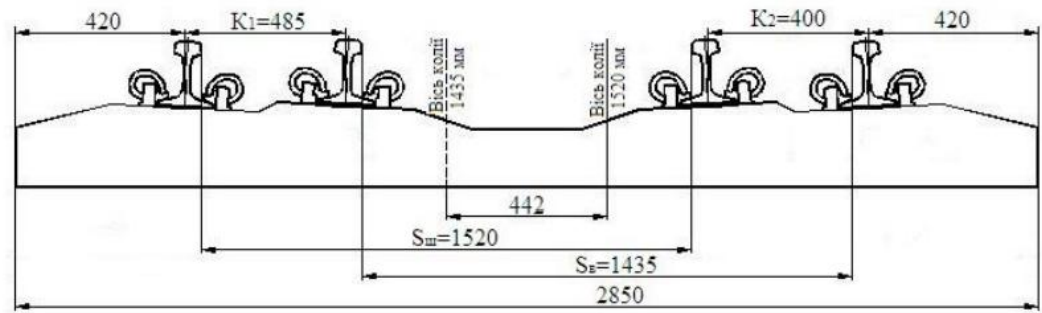


Рис. 3.3 – Суміщена колія 1520 і 1435 мм на залізобетонних шпалах

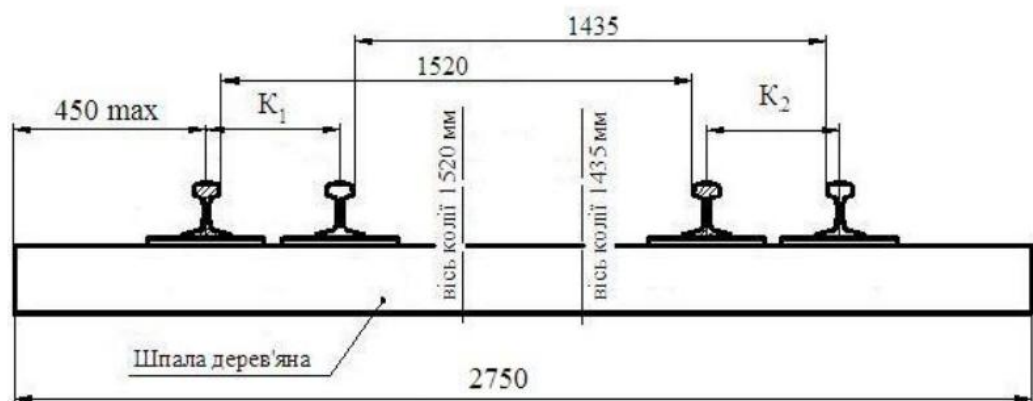


Рис. 3.4 – Суміщена колія 1520 і 1435 мм на дерев'яних шпалах

Для суміщеної колії на залізобетонних шпалах з рейками типів Р65 або UIC60 (60E1) розміри K_1 і K_2 (рис. 3.3) повинні складати: $K_1 = 485$ мм, $K_2 = 400$ мм. Для суміщеної колії на дерев'яних шпалах розміри K_1 і K_2 (рис. 3.4)

повинні складати: - для рейок Р65 – $K1 = 390$ мм, $K2 = 475$ мм; - для рейок Р50 – $K1 = 340$ мм, $K2 = 425$ мм; - для рейок Р43 – $K1 = 300$ мм, $K2 = 385$ мм.

Рейки. Суміщена колія на залізобетонних і дерев'яних шпалах повинна укладатись з рейками типу Р65 або UIC60 (60E1) новими або старопридатними. Рейки повинні відповідати вимогам ДСТУ 4344 та ДСТУ EN 13674-1. На дерев'яних шпалах рейки повинні укладатися в колію з нахилом відносно поверхні шпал усередину колії 1:20.

Проміжні скріплення. На суміщеній колії із залізобетонними шпалами необхідно застосовувати нероздільні безпідкладкові пружні скріплення з анкерами та прикріпленням рейки до шпали пружною клемою або з шурупно-дюбельним прикріпленням рейки до шпали пружною клемою, які пройшли процедуру постановки на виробництво у відповідності з вимогами чинного законодавства, в тому числі такі, що виготовляються відповідно до ДСТУ EN 13481-2 та ДСТУ EN 13481-5. У разі дерев'яних шпал необхідно застосовувати костильне скріплення змішаного типу Д0 та роздільне типу КД. Для зменшення інтенсивності зносу шпал під підкладку необхідно укладати прокладки з гуми або полімерного матеріалу.

Залізобетонні шпали. Для суміщеної колії в прямих і кривих радіусом не менше ніж 200 м необхідно використовувати залізобетонні попередньо-напружені шпали довжиною 2,85 м, які відповідають ДСТУ Б В.2.6-209. Допускається використання інших типів залізобетонних попередньо-напружених шпал, у тому числі зі скріпленнями, що виготовляються відповідно до ДСТУ EN 13481-2 та ДСТУ EN 13481-5 та пройшли процедуру постановки на виробництво у відповідності з вимогами чинного законодавства. В шпали під час їх виготовлення повинні установлюватись анкери від нероздільних безпідкладкових скріплень з прикріпленням рейки до шпали пружною клемою або дюбелі від нероздільних безпідкладкових скріплень з шурупно-дюбельним прикріпленням рейки до шпали. Епюра залізобетонних шпал в прямих і кривих ділянках суміщеної ланкової колії повинна бути 1600 шт./км.

Дерев'яні шпали та бруси. Для суміщеної колії в прямих і кривих ділянках колії радіусом не менше ніж 300 м необхідно використовувати дерев'яні шпали довжиною не менше ніж 2,75 м, а в кривих радіусом 299 м і менше – довжиною 3,0 м. Епюра дерев'яних шпал в прямих і кривих ділянках суміщеної ланкової колії повинна бути 1840 шт./км. Допускається використання старопридатних дерев'яних шпал і брусів. Старопридатні шпали та бруси перед укладанням в колію повинні бути відремонтовані та не мати дефектів, з якими їх експлуатація не допускається чинними правилами.

Норми улаштування суміщеної колії 1520 мм і 1435 мм. Норма ширини суміщеної колії між внутрішніми гранями головок рейок на залізобетонних і дерев'яних шпалах на прямих ділянках колії і на кривих радіусом 350 м і більше повинна бути: на колії шириною 1520 мм – 1520 мм, на колії шириною 1435 мм – 1435 мм. Допускається застосовувати конструкції суміщеної колії, які забезпечують регулювання ширини колії від 1530 мм до 1535 мм для колії шириною 1520 мм (в залежності від типу скріплення та нормативного документу, за яким це скріплення виготовляється) у кругових і перехідних кривих за радіусів від 200 м до 350 м. Ширина колії по колії 1435 мм у цьому випадку не повинна перевищувати 1440 мм. Розширення колії у разі переходу з прямої на криву ділянку повинно здійснюватися в межах частини перехідної кривої, а у разі її відсутності – на прямій з відводом не крутіше ніж 1 мм на 1 м колії. У цьому разі в кінці перехідної кривої, а у разі її відсутності на початку кривої, розширення колії повинно бути повним. За швидкостей руху поїздів до 50 км/год допускається відвід не крутіше ніж 3 мм на 1 м колії. Відводи відхилень ширини колії в межах допусків повинні бути плавними і не перевищувати 1 мм на 1 м колії, а за швидкостей руху 50 км/год і менше – 2 мм на 1 м колії. Відхилення за рівнем розташування рейкових ниток однієї відносно другої від установлених норм на прямих і кривих ділянках колії допускається не більше ніж 6 мм. Відводи відхилення за рівнем повинні бути плавними і не перевищувати 1 мм на 1 м колії. Допускається пониження верху головок рейок колії 1435 мм проти верху головок рейок колії 1520 мм до 40 мм, а підвищення, відповідно, – не більше

ніж 4 мм. Допускається на прямих ділянках суміщеної колії на всій її протяжності підвищення однієї рейкової нитки не більше ніж на 10 мм із боку крайньої зовнішньої рейки колії 1435 мм, якщо ця сторона є польовою на двоколійних ділянках. У всіх інших випадках підвищення колії на прямих ділянках до 10 мм допускається з боку крайньої зовнішньої рейки колії 1520 мм. Допускається на прямих ділянках суміщеної колії на всій її протяжності підвищення крайньої зовнішньої рейки колії 1435 мм з польової сторони не більше ніж на 10 мм. Допускається на прямих ділянках суміщеної колії на всій її протяжності підвищення крайньої зовнішньої рейки колії 1520 мм з будь-якої сторони не більше ніж на 10 мм. Величину підвищення зовнішньої рейки h , у міліметрах, в кривих ділянках колії необхідно обчислювати за формулою:

$$1) \text{ для колії 1435 мм: } h = 11,8v_{\text{cp}}^2 / R, \quad (3.1)$$

$$2) \text{ для колії 1520 мм: } h = 12,5v_{\text{cp}}^2 / R, \quad (3.2)$$

де v_{cp} – середньозважена квадратична швидкість, км/год;

R – радіус кривої, м.

Величину середньозваженої квадратичної швидкості v_{cp} необхідно визначати відповідно до правил [7]. Величина підвищення повинна бути перевірена за наступними формулами:

$$1) \text{ для колії 1435 мм: } h_{\text{min}} = 11,8v_{\text{max}}^2 / R - 100, \quad (3.3)$$

$$2) \text{ для колії 1520 мм: } h_{\text{min}} = 12,5v_{\text{max}}^2 / R - 115, \quad (3.4)$$

де h_{min} – мінімальне розрахункове підвищення зовнішньої рейки, мм;

v_{max} – максимальна швидкість, що розвивається на даній кривій пасажирським поїздом, км/год; 110 і 115 – величини максимального недопідвищення, розраховані з умови неперевикнення встановленої норми непогашеного прискорення (0,7 м/с²) для колії, відповідно, 1520 і 1435 мм. За остаточне значення підвищення зовнішньої рейки кожної колії необхідно приймати найбільше із значень, отриманих за формулами (3.1–3.4).

Величину підвищення зовнішньої рейки суміщеної колії необхідно приймати рівною підвищенню зовнішньої рейки колії шириною 1520 мм, якщо воно відрізняється від розрахункового підвищення колії 1435 мм не

більше ніж на 20 %. Максимальне підвищення зовнішньої рейки суміщеної колії не повинно перевищувати 140 мм. Відвід підвищення зовнішньої рейки в кривій необхідно влаштовувати плавно впродовж усієї перехідної кривої, а у разі її відсутності – на прямій з ухилом 0,001 (1 мм на 1 м колії). У стислих умовах допускається збільшення крутизни відводу до 0,003. Підвищення зовнішньої рейки наприкінці перехідної кривої та початку кругової кривої повинно бути повним. Допускається неспівпадіння початку відводу підвищення з початком відводу розширення колії не більше ніж на 30 м до початку перехідної кривої та не більше ніж на 20 м після її початку. Допускається неспівпадіння кінця відводу підвищення з кінцем перехідної кривої не більше ніж на 30 м за швидкостей руху поїздів до 100 км/год. Інші нормативні вимоги до колії (ухил, сполучення прямих і кривих ділянок в профілі та плані, стикові зазори тощо) повинні відповідати вимогам до колії шириною 1520 мм з відповідним типом верхньої будови.

Допускається влаштування суміщеної колії з новими рейками типу Р65 або UIC60 (60E1) для колії 1520 мм і старопридатними – для колії 1435 мм. У цьому випадку верх головок рейок колії 1435 мм на прямих і кривих ділянках допускається влаштовуватися зі зниженням проти рівня головок рейок колії шириною 1520 мм на величину фактичного вертикального зносу. На суміщеній колії стики всіх рейок повинні розташовуватися в одному шпальному ящику.

Таким чином, на прикордонних залізницях України сьогодні вкладається колія європейської ширини 1435 мм в поєднанні з українською шириною колії 1520 мм. Дана конструкція названа суміщеною колією, бо на одній шпалі суміщається дві норми ширини колії. На залізобетонних шпалах використовується проміжне скріплення типу КПП-5, як вітчизняне пезпідкладочне пружне скріплення, та рейки типу Р65. В перспективі можна використовувати рейки типу 60E1 та скріплення типу SKL, E-clip, Clip I.

4 УКЛАДАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ РЕЙОК ТА СКРІПЛЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

На залізницях України вже біля 20 років існує практика використання європейського скріплення. Перші партії такого скріплення вкладені в дослідну експлуатацію. Вони дуже швидко вийшли з ладу. Шпали розтріскувались, шурупи і дюбеля надійно не фіксувались, притискання було не надійним. Пізніше вкладалося більш потужне європейське скріплення, інших виробників, на інших ділянках колії. З'явився позитивний досвід. Разом з тим вже маємо на залізницях України різномаяття європейського скріплення.

Скріплення проміжне пружне анкерне SB-4 компанії «VOSSLOH FASTENING SYSTEMS GMBH».

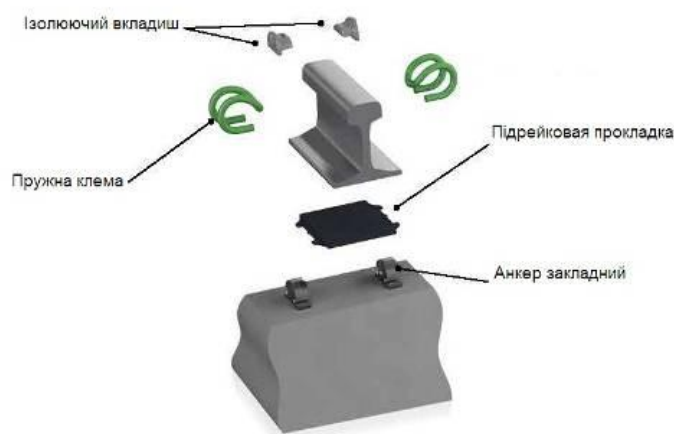


Рис. 4.1. Скріплення типу SB-4 «VOSSLOH».

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна SB-4 (LS 22) – 2 шт;
2. Вкладиш ізолюючий WKW 65 – 2 шт;
3. Прокладка підрейкова PKW – 1 шт;
4. Шпала залізобетонна типу СБ4-0 – 1 шт;
5. Анкер закладний SB-3 – 2 шт.

Повздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки – не менше 16,5 кН.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25 кН.

Зусилля притискання клеми 12 кН.

Скріплення призначене для укладання в колію на прямих та кривих ділянках безстикової колії. Скріплення укладається на залізобетонні шпали типу СБ4-0. Клема типу SB-4 виробництва «Vossloh» не має захисту від корозії тобто відсутнє фарбування або гальванізація.

Скріплення типу SBW 3.3 фірми «PLASTWIL»



Рис. 4.2. Скріплення типу SBW 3.3 фірми «PLASTWIL».

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна типу SB4– 2 шт.;
2. Прокладка типу ПРП-2.1 з поліуретану– 2 шт.;
3. Вкладиш ізолюючий типу WKW– 2 шт.;
4. Шпала залізобетонна типу СБ4-0 та СБ4-1;
5. Анкер закладний SB 3/4– 2 шт.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 21-22кН

Скріплення призначене для використання в безстиковій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами типу СБ4-0 та СБ4-1.

На клеми типу SB-4 виробництва «Plastwil» нанесено антикорозійне фарбування чорного кольору, маркування клеми нанесене на боковій поверхні.

Скріплення типу Pandrol FASTCLIP FE

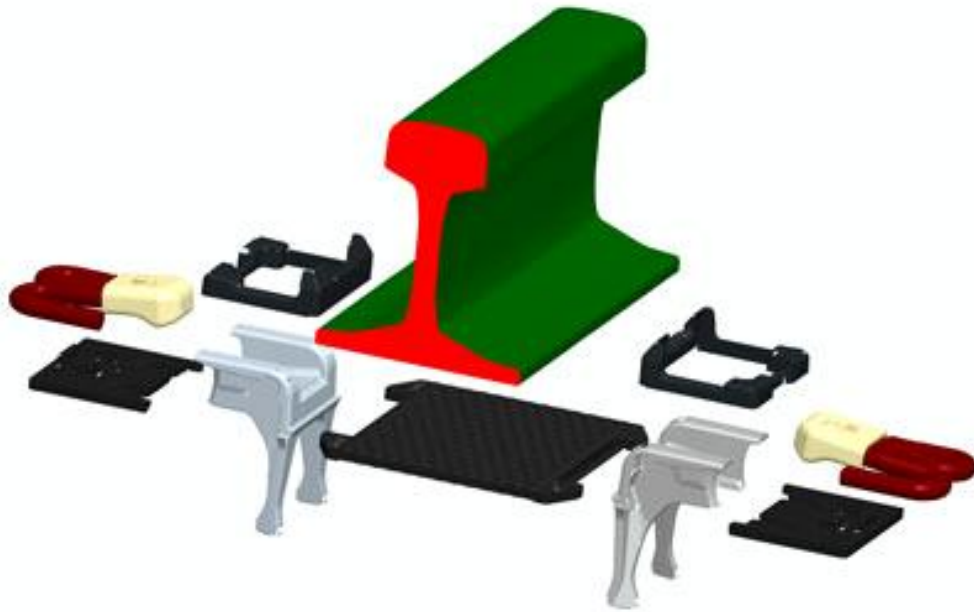


Рис. 4.3. Скріплення типу Pandrol FASTCLIP FE

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна тип FE 1404– 2 шт;
2. Прижимний ізолятор тип 12443 – 2шт;
3. Прокладка підрейкова тип 15669 – 1шт;
4. Опорний ізолятор тип 13209 – 2шт;
5. Манжета HVN, Тип 13207 – 2шт;
6. Шпала залізобетонна типу Ш-14– 1шт;
7. Анкер тип 13125– 2 шт.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 21-22кН

Повздовжнє зусилля, що призведе до зсуву рейки – 11 кН.

Скріплення призначене для використання в безстиківій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами типу Ш-14.

Скріплення типу System W-30 фірми «Vossloh».

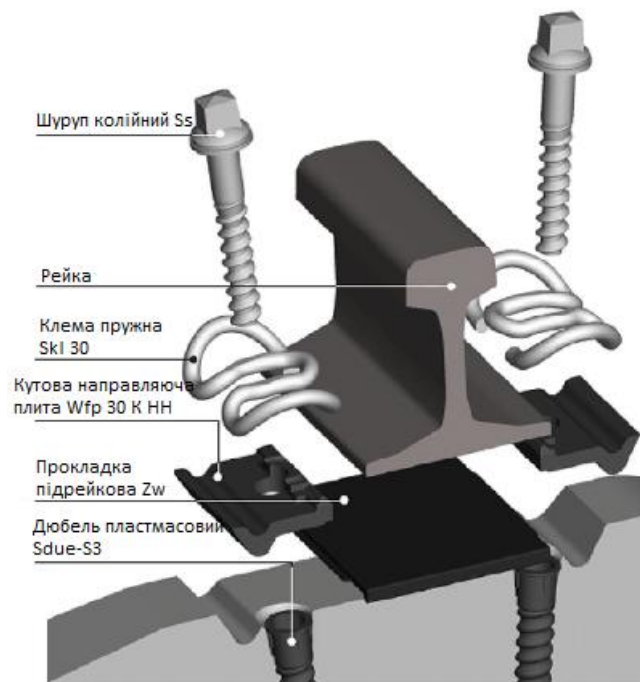


Рис. 4.4. Скріплення типу System W-30 фірми «Vossloh».

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl 30 – 2 шт.;
2. Кутова направляюча плита Wfr 30 K HH – 2 шт.;
3. Прокладка підрейкова Zw – 1 шт.;
4. Шуруп з плоскою шайбою Sdue – 2 шт.;
5. Шпала залізобетонна типу Ш-9.1 – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue-S3 – 2 шт.

Повздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки – не менше 16,5кН.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Вкладається скріплення типу System W-30 із залізобетонними шпалами Ш-9.1 та рейками типу Р65.

Скріплення призначене для укладання в колію на прямих та кривих ділянках безстикової колії. застосовується на ділянках з

вантажонапруженістю до 80 млн. ткм бр./км у рік і більше на яких максимальна швидкість руху пасажирських поїздів не перевищує 160 км/год.

Скріплення типу System W-30 фірми «Vossloh» (регулюючого типу до 1530 мм).

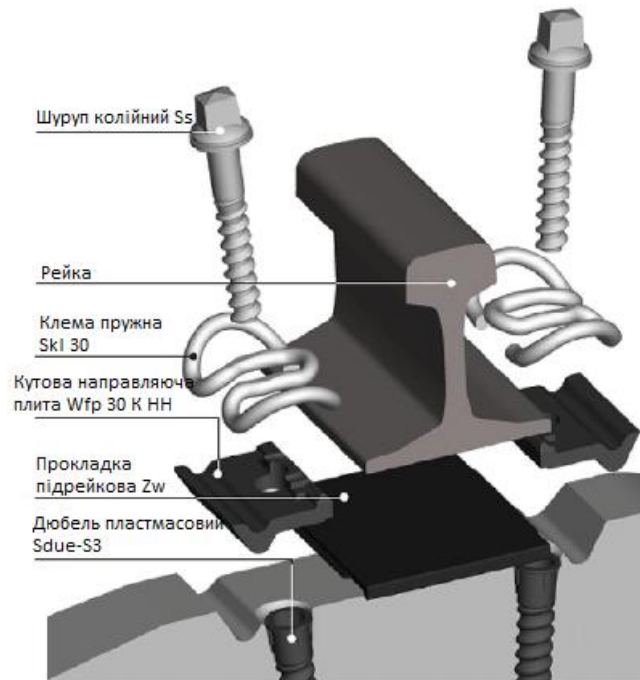


Рис. 4.5. Скріплення типу System W-30 фірми «Vossloh»
(регулюючого типу до 1530 мм).

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl 30 – 2 шт.;
2. Кутова направляюча плита Wfr 30 K HH – 2 шт.;
3. Прокладка підрейкова Zw – 1 шт.;
4. Шуруп з плоскою шайбою Sdue – 2 шт.;
5. Шпала залізобетонна типу Ш-9.1 – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue-S3 – 2 шт.

Повздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки не менше 16,5кН.
Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Вкладається скріплення типу System W-30 із залізобетонними шпалами Ш-9.1 та рейками типу Р65.

Скріплення призначене для укладання в колію на прямих та кривих ділянках безстикової колії. застосовується на ділянках з вантажонапруженістю до 80 млн. ткм бр./км у рік і більше на яких максимальна швидкість руху пасажирських поїздів не перевищує 160 км/год.

Скріплення типу System W 21 фірми «Vossloh» (регулюючого типу до 1535 мм).



Рис. 4.6. Скріплення типу System W 21 фірми «Vossloh»
(регулюючого типу до 1535 мм)

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl 21 – 2 шт.;
2. Шуруп колійний Ss 35/Uls7 – 2 шт.;
3. Плита кутонаправляюча Wfp 21 B07 – 2 шт.;
4. Прокладка підрейкова Zw 1000 – 1 шт.;
5. Шпала залізобетонна – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue 25 – 2 шт.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Регулювання ширини колії проводиться з кроком 2,5 мм за допомогою кутонаправляючих плит. Регулювання по висоті проводиться за допомогою прокладок товщиною 3 мм, 4 мм и 5 мм в діапазоні регулювання від +3 до +8 мм з кроком 1 мм.

Скріплення призначене для використання в безстиківій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами в кривих ділянках з регулюванням ширини колії до 1530 мм з клемою Skl 30, з регулюванням ширини колії до 1535 мм з клемою Skl 21.

Скріплення проміжне пружне шурупно-дюбельне SBS W SL-1-900-R65 компанії «SCHWING AG».



Рис. 4.7. Скріплення типу SBS W SL-1-900-R65 компанії «SCHWING».

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl SL-1A – 2 шт.;
2. Шуруп колійний Ss 35 – 2 шт.;
3. Плита кутонаправляюча Wfp SL- 2 – 2 шт.;

4. Прокладка підрейкова Zw 900- SL -2-100– 1 шт.;
5. Шпала залізобетонна типу Ш-9.2 – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue-S3 – 2 шт.

Повздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки – не менше 16,5кН.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Скріплення призначене для використання в безстиківій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами типу Ш-9.2 (SH та SH.1) в прямих і кривих ділянках радіусом 600 метрів і більше.

Застосовується на ділянках з вантажонапруженістю до 80 млн. ткм бр./км у рік і більше на яких максимальна швидкість руху пасажирських поїздів не перевищує 160 км/год.

Скріплення пружне шурупно-дюбельне SBS W 21-700-R65 компанії «SCHWING AG».

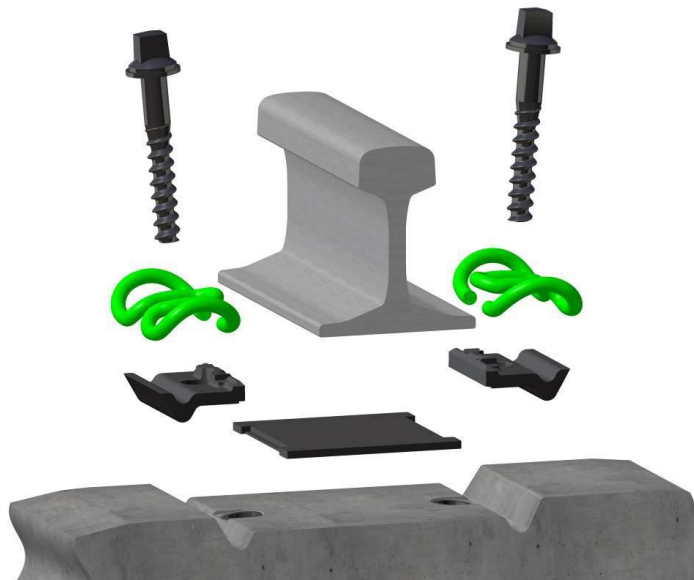


Рис. 4.8. Скріплення типу SBS W 21-700-R65 компанії «SCHWING AG».

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl 21 – 2 шт.;

2. Шуруп колійний Ss 35/Uls7 – 2 шт.;
3. Плита кутонаправляюча Wfp 21K NT-12 – 2 шт.;
4. Прокладка підрейкова Zw 700- NT – 1 шт.;
5. Шпала залізобетонна типу Ш-9.2 – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue-3 – 2 шт.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 21кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Скріплення призначене для використання в безстиківій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами.

Скріплення пружне шурупно-дюбельне SBS W SL-1-900-R65 компанії «SCHWING AG» (регулюючого типу до 1530 мм).



Рис. 4.9. Скріплення типу SBS W SL-1-900-R65 компанії «SCHWING AG» (регулюючого типу до 1530 мм).

Конструкція скріплення включає:

1. Клема пружна Skl SL-1A – 2 шт.;
2. Шуруп колійний Ss 35 – 2 шт.;
3. Плита кутонаправляюча Wfp SL- 2 – 2 шт.;
4. Прокладка підрейкова Zw 900- SL-2-100– 1 шт.;
5. Шпала залізобетонна типу Ш-9.2 – 1 шт.;
6. Дюбель пластмасовий Sdue-S3 – 2 шт.

Повздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки – не менше 16,5кН.

Зусилля притискання у вузлі скріплення складає – 25кН.

Зусилля затягування шурупів з крутним моментом від 300 Н·м до 350 Н·м.

Скріплення призначене для використання в безстиківій та ланковій колії з рейками типу Р65 і залізобетонними шпалами типу Ш-9.2 (SH та SH.1) в кривих ділянках з регулюванням ширини колії до 1530 мм.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КОЛІЇ В УКРАЇНІ

Економічна ефективність має сенс лише при безумовному виконанні вимог безпеки та перевірки конструкції колії на міцність. Тому необхідно провести розрахунки колії на міцність. При цьому складові елементи колії закладаються європейської конструкції, а рухомий склад – вітчизняний.

5.1 Перевірка на міцність колії європейської конструкції при навантаженнях Українських залізниць

5.1.1 Методика розрахунку колії на міцність

5.1.1.1 Вихідні передумови для розрахунку

Питання розрахунку основних елементів колії на міцність є надзвичайно важливими і разом з тим надто складними. Вони завжди привертали увагу провідних вчених та фахівців залізничного транспорту, саме внаслідок їхньої складності. Справа в тому, що при розрахунках колії на міцність доводиться стикатися з цілою низкою інженерних завдань і вирішувати дуже непросту багатоваріантну задачу з багатьма невідомими, а саме:

- потрібно враховувати цілий комплекс діючих на колію силових факторів:

- вертикальних, горизонтальних поздовжніх і поперечних сил, вигинаючих і крутячих моментів у поздовжніх та поперечних площинах, при цьому зазначені силові фактори є змінними у часі і в просторі;

- необхідно враховувати динамічний характер впливу рухомого складу на колію, а за певних умов - ударно-динамічний характер;

- необхідно враховувати коливальні процеси, що виникають під час руху одиниць рухомого складу, які мають необресорену частину і надресорну будову;

- також необхідно враховувати інерційний вплив мас, що коливаються;

- необхідно враховувати достатньо складну конструкцію верхньої будови колії (ВБК), яка складається з різноманітних елементів, що мають різноманітну міцність і опірність силовим діям;

- необхідно враховувати вплив природних факторів на роботу колії (насамперед змінних часом температур);

- необхідно враховувати, що колія не є незмінною у плані і профілі: вона має прямі і криві, спуски і підйоми, крім того, характер впливу рухомого складу на кожній з цих ділянок розрізнений;

- необхідно враховувати і інші фактори.

Таким чином, задача розрахунку колії на міцність надто непроста, і тому, як вже зазначалось, нею займалися протягом всієї історії розвитку залізничної науки провідні вчені залізничного транспорту і будівельної механіки. При цьому дослідження вітчизняних вчених у цій галузі завжди мали високу значимість і за цілим рядом питань є пріоритетними і фундаментальними.

При практичних розрахунках залізничної колії на міцність прийняті такі передумови:

- рейка розглядається як нерозрізна, невагома балка нескінченної довжини постійного перерізу на суцільній пружній основі, що знаходиться під дією вертикальних сил;

- колеса рухомого складу при прямованні не відриваються від рейки і не чинять ударної дії;

- вертикальні сили від коліс вважаються прикладеними по осі симетрії рейки;

- вплив горизонтальних сил і позацентрового прикладання вертикальних сил враховується за допомогою емпіричного коефіцієнта;

- власна вага верхньої будови колії не враховується;

- вертикальні сили розраховуються як динамічні, а напруження в елементах верхньої будови колії від них визначаються як статичні;

- між силами і деформаціями існує лінійна залежність;

передбачається двостороння реакція основи, у той час як фактично має місце реакція тільки знизу нагору; рейка розраховується тільки на нормальні напруження згину, не враховуються місцеві, у т.ч. контактні напруження;

передбачається, що рівень нормальних напружень згину якоюсь мірою характеризує і рівень виникаючих при проході коліс місцевих напружень.

5.1.1.2 Визначення вертикальних сил, що діють на колію

У практичних розрахунках колії на міцність враховується п'ять складових вертикальних сил: одна статична і чотири динамічних.

Статична сила $P_{ст}$ визначається як частина ваги екіпажу в нерухомому положенні, що приходить на одне колесо.

У розрахунках на міцність використовуються паспортні значення цієї сили за технічними характеристиками рухомого складу.

Інші сили являють собою додаткові динамічні інерційні сили (динамічні добавки):

– сила, що збуджується коливаннями кузова (точніше – обресореної маси екіпажа) на ресорах – P_p ;

– сила впливу колеса на рейку, що виникає при перекочуванні його по нерівностях колії – $P_{нк}$;

– сила від впливу на колію колеса з ізолюваною нерівністю на поверхні катання – $P_{інк}$;

– сила від впливу на колію колеса з безперервною нерівністю на поверхні катання – $P_{бнк}$.

Силу P_p визначимо через коефіцієнт вертикальної динаміки k_d

$$P_p = k_d q^0 (P_{см} - q_k) = \left(0,1 + 0,2 \frac{V}{f_{см}} \right) (P_{см} - q_k), \quad (5.1)$$

де V – розрахункова швидкість;

$f_{ст}$ – статичний прогин ресор;

$P_{ст}$ – статичне навантаження від колеса, кН;

q_k – вага необресореної частини, що віднесена до одного колеса, кН.

Середнє ж значення сили P_p визначається як

$$\bar{P}_p = 0.75 \cdot P_p \quad (5.2)$$

Так як середні значення інших динамічних сил $\bar{P}_{нк} = \bar{P}_{інк} = \bar{P}_{бнк} = 0$ (поява динамічного перевантаження і розвантаження рівноймовірна), то загальне середнє визначимонаступним чином

$$\bar{P} = P_{ст} + \bar{P}_p \quad (5.3)$$

Коефіцієнт відносної жорсткості підрейкової основи і рейки

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (5.4)$$

де U – модуль пружності підрейкової основи, МПа;

E – модуль пружності рейкової сталі, $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа;

I – момент інерції поперечного перерізу рейки у вертикальному напрямку, см^4 .

Значення сили $P_{нк}$ визначається за формулою

$$P_{нк} = A \cdot \alpha_1 \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot l \cdot \sqrt{\frac{U \cdot q_k}{k}} \cdot \bar{P} \cdot V, \quad (5.5)$$

де A – чисельний коефіцієнт ($A=2,56 \cdot 10^{-7}$);

α_1 – коефіцієнт, що показує співвідношення приведених до точки контакту необресорених частин маси екіпажа m_e і маси колії m_k ; для колії з залізобетонними шпалами $\alpha_1=0,931$, для колії з дерев'яними шпалами $\alpha_1=1$;

β – залежить від типу рейок (для Р65 $\beta=0,87$, для Р50 $\beta=1$);

γ – залежить від матеріалу баласту ($\gamma=1,0$ для щебеню);

ε – відбиває вплив роду і матеріалу шпал (для залізобетонних $\varepsilon=0,322$, для дерев'яних $\varepsilon=1$);

l – відстань між осями шпал ($l=55$ см при епюрі 1840 шт/км, $l=63$ см при епюрі 1600 шт/км);

Визначають силу $P_{інк}$ за формулою:

$$P_{інк} = B \cdot \alpha_0 \cdot \xi \cdot e_0 \cdot \frac{U}{k}, \quad (5.6)$$

де B – чисельний коефіцієнт, $B=0,2$;

α_0 – коефіцієнт, що для залізобетонних шпал дорівнює $0,403$;

e_0 – розрахункова глибина ізольованої нерівності на колесі, $e_0=0,067$ см;

ξ – коефіцієнт, що рівний $\xi=1.47$.

Визначають силу $P_{\text{бнк}}$ за формулою

$$P_{\text{бнк}} = \frac{C \cdot \alpha_0 \cdot U \cdot \sqrt{q_k} \cdot V^2}{d^2 \cdot \sqrt{k \cdot U - 32 \cdot k^2 \cdot q_k}}, \quad (5.7)$$

де C – чисельний коефіцієнт, $C=7,244 \cdot 10^{-2}$;

d – діаметр колеса, см.

Далі визначаємо розрахункову динамічну силу – $P_{\text{розр}}$, як максимальну, що буде проявлятися при впливі екіпажа з заданою ймовірністю, за формулою

$$P_{\text{max}}^{\text{ймов}} = \bar{P} + \lambda_{\phi} \cdot S \quad (5.8)$$

де λ_{ϕ} – нормуючий множник, що приводить значення максимальної ймовірної величини до заданого рівня.

S – загальне середньоквадратичне відхилення.

$$S = \sqrt{S_p^2 + S_{\text{нк}}^2 + q_1 \cdot S_{\text{нк}}^2 + q_2 \cdot S_{\text{бнк}}^2}; \quad (5.9)$$

Коефіцієнти q_1 і q_2 враховують частку коліс із різними нерівностями. Прийнято, що 5% колії мають ізольовані нерівності ($q_1=0,05$), інші – безперервні ($q_2=0,95$).

$$\bar{P}_p = 0,75 P_p \quad (5.10)$$

$$S_p = 0,08 \cdot P_p; \quad (5.11)$$

$$S_{\text{нк}} = 0,707 \cdot P_{\text{нк}} \quad (5.12)$$

$$S_{\text{ьнк}} = 0,25 \cdot P_{\text{нк}} \quad (5.13)$$

$$S_{\text{бнк}} = 0,225 \cdot P_{\text{бнк}} \quad (5.14)$$

У розрахунках колії на витривалість рівень ймовірності неперевикнення заданої сили прийнятий $\Phi=0,994$, при цьому множник нормування $\lambda_{\phi}=2,5$.

При такому рівні Φ очікується перевищення розрахункової сили з ймовірністю усього 0,006 (тобто в 6 випадках на 1000 впливів).

5.1.1.3 Вибір розрахункової осі екіпажа, визначення еквівалентних сил

Розрахункова сила $P_{розр}$ визначається для однієї (розрахункової) осі екіпажа, що чинить найбільшу дію на колію. Переріз колії під цією віссю називається розрахунковим перерізом.

У розрахунковому перерізі діє сума сил від розрахункової осі і від сусідніх з нею осей екіпажа. Найбільше ймовірним при цьому виявляється сумісна дія максимального ймовірного значення сили від розрахункової осі і середніх значень від сусідніх осей.

Задачу без істотної помилки можна вирішити в статиці, використовуючи лінії впливу моменту згину M і сили тиску на кожен опору Q . Ординати ліній впливу згинального моменту і тиску на опору визначаються з виразів:

$$\mu = e^{-kx}(\cos kx - \sin kx) \quad (5.15)$$

$$\eta = e^{-kx}(\cos kx + \sin kx) \quad (5.16)$$

Сумарну дію можна привести до еквівалентних сил:

$$P_{екв}^I = P_{розр} + \sum \bar{P} \cdot \mu, \quad (5.17)$$

$$P_{екв}^{II} = P_{розр} + \sum \bar{P} \cdot \eta, \quad (5.18)$$

де другі складові це алгебраїчна сума впливу осей сусідніх із розрахунковою;

$P_{екв}^I$ – еквівалентна сила при розрахунку згинального моменту у рейці;

$P_{екв}^{II}$ – еквівалентна сила при розрахунку тиску на шпалу і вертикального прогину рейки.

З усіх можливих варіантів необхідно вибрати розрахункову вісь так, щоб значення еквівалентних сил були найбільшими.

5.1.1.4 Визначення напружень в елементах конструкції верхньої будови колії

Визначаємо згинальний момент у рейках за формулою:

$$M = \frac{10 \cdot P^1_{екв}}{4 \cdot k} \quad (5.19)$$

Далі визначається тиск на одну опору за формулою:

$$Q = \frac{k \cdot l}{2} \cdot P^2_{екв}, \quad (5.20)$$

Визначається прогин рейки за формулою:

$$y = \frac{k}{2 \cdot U} \cdot P^{\text{II}}_{екв}, \quad (5.21)$$

Після цього переходять до розрахунку напружень.

– по осі підшви рейки від її згину:

$$\sigma_{n-o} = \frac{M}{W_n}, \quad (5.22)$$

де W_n – момент опору поперечного перерізу рейки, що відноситься до крайніх волокон підшви, см^3 .

– по крайці підшви рейки від згину і крутіння

$$\sigma_{n-к} = f \cdot \sigma_{n-o}, \quad (5.23)$$

де f – коефіцієнт, що враховує вплив горизонтальних поперечних сил і позацентрову дію вертикальних навантажень на напруження у кромці підшви рейок:

– по кромці голівки рейки від згину і крутіння:

$$\sigma_{г-к} = m_{г-к} \cdot \sigma_{n-o}, \quad (5.24)$$

де $m_{г-к}$ – коефіцієнт переходу від осьових напружень у підшві рейки до напружень у крайці голівки:

– у шпалі на зм'яття під підкладкою

$$\sigma_{ш} = \frac{10 \cdot Q}{\omega}, \quad (5.25)$$

де ω – опорна площа підкладки, см^2 .

– у баласті під шпалою на стиск

$$\sigma_{\sigma} = \frac{10 \cdot Q}{\Omega_{\alpha}}, \quad (5.26)$$

де Ω_{α} – площа напівшпали з урахуванням впливу її згину на напруження в баласті під шпалою, см².

5.1.1.5 Визначення напружень на основній площадці земляного полотна

У цьому розрахунку необхідно врахувати впливи, що передаються через баластний шар на основну площадку не тільки від розрахункової шпали, але і сусідніх з нею шпал.

Для точки О на осі шпали в розрахунковому перерізі напруження на основній площадці під шаром баласту товщиною h

$$\sigma_h = \sigma_{h1} + \sigma_{h2} + \sigma_{h3}, \quad (5.27)$$

де: σ_{h1} і σ_{h3} – напруження від впливу першої і третьої шпал по обидві сторони від розрахункової (другої);

σ_{h2} – напруження від впливу розрахункової шпали в розрахунковому перерізі колії під розрахунковою віссю екіпажу.

Тиск на розрахункову шпалу

$$Q_p = \frac{k \cdot l}{2} \cdot P_{екв}'' = \frac{k \cdot l}{2} \cdot (P_{розр} + \sum \bar{P} \cdot \eta); \quad (5.28)$$

Тиск на шпалу зліва від розрахункової

$$Q_c' = \frac{k \cdot l}{2} \cdot (P_{розр} \cdot \eta' + \sum \bar{P} \cdot \eta_c'); \quad (5.29)$$

Тиск на шпалу справа від розрахункової

$$Q_c'' = \frac{k \cdot l}{2} \cdot (P_{розр} \cdot \eta'' + \sum \bar{P} \cdot \eta_c''); \quad (5.30)$$

Тут ордината лінії впливу η' відповідає відстані між шпалами: $\eta' = f(kl)$.

Координати η_c' і η_c'' відповідають відстаням від осей екіпажу суміжних з розрахунковою до шпал сусідніх із розрахунковою.

Напруження в баласті під шпалами визначаються:

$$\sigma_{\sigma_p} = \frac{10 \cdot Q_p}{\Omega_\alpha}; \quad \sigma_{\sigma_{1,2}} = \frac{10 \cdot Q'_c}{\Omega_\alpha}; \quad \sigma_{\sigma_{2,3}} = \frac{10 \cdot Q''_c}{\Omega_\alpha}; \quad (5.31)$$

Напруження на основній площадці від розрахункової шпали:

$$\sigma_{hp} = \sigma_{h2} = \sigma_{\sigma_p} \cdot r_1 \cdot [0.635 \cdot m \cdot C_1 + 1.275 \cdot (2 - m) \cdot C_2]; \quad (5.32)$$

де: m – перехідний коефіцієнт від усередненого тиску на баласт по ширині всієї шпали до тиску віссю шпали; якщо $m < 1$, то приймається 1;

r_1 – коефіцієнт, що враховує нерівномірне прикладання просторового навантаження уздовж шпали (для залізобетонних 0,7, для дерев'яних 0,8):

$$m = \frac{8.9}{\sigma_{\sigma_p} + 4.35} \quad (5.33)$$

Коефіцієнти C_1 , C_2 , A_0 розраховують за формулами:

$$C_1 = \frac{b}{2h} - \frac{b^3}{24h^3}, \quad (5.34)$$

де b – ширина нижньої постелі шпали, см;

h – товщина баласту під шпалою, см.

$$C_2 = \frac{bh}{b^2 + 4h^2} \quad (5.35)$$

$$A_0 = \theta_1 - \theta_2 + 0.5(\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2) \quad (5.36)$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{1 + 0.5 \cdot b}{h} \quad (5.37)$$

$$\theta_2 = \arctg \frac{1 - 0.5 \cdot b}{h}. \quad (5.38)$$

Після визначення коефіцієнтів C_1 , C_2 , A_0 розраховують напруження на основній площадці від розрахункової шпали.

5.1.1.6 Експлуатаційні критерії міцності колії

Оцінка міцності колії проводиться шляхом порівняння розрахункових максимальних ймовірних напружень в елементах колії з напруженнями, що допускаються або що рекомендуються в них.

$$\sigma_{i \max}^{sep} \leq [\sigma]_i$$

де i – елемент верхньої будови колії.

За допустимі напруження як експлуатаційні критерії міцності колії приймаються:

$[\sigma]_k$ – допустимі напруження розтягу в крайці підшви рейки за рахунок її згину і крутіння під дією вертикальних і горизонтальних сил від рухомого складу за умови не перевищення кількості відмов рейок, що допускається за період нормативного наробітку (240 МПа для ланкової колії, 350 МПа для безстикової колії);

$[\sigma]_{ш}$ – рекомендовані напруження на зм'яття шпал (прокладок) під підкладками, за умови не перевищення допустимого зносу шпал (прокладок) за період нормативною наробітку (шпали дерев'яні: 2,0 МПа під локомотивами, шпали залізобетонні 4,0 МПа);

$[\sigma]_б$ – рекомендовані напруження стиску в баласті під шпалою в підрейковій зоні з умови не перевищення допустимої інтенсивності накопичення залишкових деформацій у баласті (щебінь під локомотивами 0,500 МПа);

$[\sigma]_з$ – допустимі напруження стиску на основній площадці земляного полотна в підрейковій зоні з умови не перевищення допустимої інтенсивності накопичення залишкових деформацій на основній площадці (80 кПа).

5.1.2 Результати розрахунку колії на міцність

Розрахунок виконано в програмі PUT.exe. При запуску програми з'являється меню в якому вибирається «новий розрахунок». Необхідно ввести дані про локомотив використовуючи табличні дані методичних вказівок з розрахунку колії на міцність. Далі вводяться дані про конструкцію верхньої будови колії: характеристики рейки, шпали скріплення та баласту. В наступному меню у віконця необхідно ввести модуль пружності, відстань між осями шпал, коефіцієнти f , та $m_{г-к}$. Далі необхідно відправити на друк.

Друкується файл, який необно відкрити через Excel. Друковані файли представлено в додатку А. Далі дані сортуються для побудови графіків.

Результати зведені в таблиці (табл. 5.1 – табл. 5.5). По даних таблиць побудовано графіки (рис. 5.1 – рис. 5.5).

Таблиця 5.1 Напруження в кромці підошви рейки

| $\sigma_{I-\hat{E}}$ | ТЕП70 | | | | | | | |
|----------------------|-----------|--------|-------|--------|--------------------|--------|-------|--------|
| | P65 КБ-65 | | | | P65 W-30 «Vossloh» | | | |
| | літо | | зима | | літо | | зима | |
| V, км/год | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 |
| 20 | 59,43 | 80,2 | 53,01 | 71,49 | 60,41 | 81,53 | 53,98 | 72,81 |
| 40 | 62,58 | 84,15 | 56,68 | 76,15 | 63,49 | 85,4 | 57,55 | 77,34 |
| 60 | 65,99 | 88,46 | 60,16 | 80,52 | 66,89 | 89,69 | 61,03 | 81,71 |
| 80 | 69,57 | 93,01 | 63,88 | 85,21 | 70,46 | 94,22 | 64,73 | 86,38 |
| 100 | 73,29 | 97,74 | 67,75 | 90,12 | 74,16 | 98,92 | 68,58 | 91,26 |
| 120 | 77,14 | 102,63 | 71,77 | 95,22 | 77,97 | 103,79 | 72,57 | 96,33 |
| 140 | 81,1 | 107,69 | 75,93 | 100,51 | 81,91 | 108,82 | 76,7 | 101,58 |
| 160 | 85,19 | 112,92 | 80,21 | 105,97 | 85,98 | 114,02 | 80,95 | 107 |

Таблиця 5.2 Напруження в кромці голівки рейки

| $\sigma_{\bar{A}-\hat{E}}$ | ТЕП70 | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| | P65 КБ-65 | | | | P65 W-30 «Vossloh» | | | |
| | літо | | зима | | літо | | зима | |
| V, км/год | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 |
| 20 | 75,74 | 83,68 | 67,56 | 74,6 | 76,99 | 85,07 | 68,8 | 75,98 |
| 40 | 79,75 | 87,81 | 72,23 | 79,46 | 80,92 | 89,11 | 73,35 | 80,7 |
| 60 | 84,1 | 92,31 | 76,68 | 84,02 | 85,26 | 93,59 | 77,78 | 85,26 |
| 80 | 88,67 | 97,05 | 81,41 | 88,92 | 89,8 | 98,32 | 82,5 | 90,13 |
| 100 | 93,41 | 101,99 | 86,35 | 94,04 | 94,51 | 103,22 | 87,41 | 95,23 |
| 120 | 98,31 | 107,1 | 91,48 | 99,37 | 99,38 | 108,3 | 92,49 | 100,52 |
| 140 | 103,37 | 112,38 | 96,77 | 104,88 | 104,4 | 113,55 | 97,75 | 105,99 |
| 160 | 108,58 | 117,83 | 102,23 | 110,58 | 109,58 | 118,98 | 103,17 | 111,66 |

Таблиця 5.3 Напруження в шпалі під підкладкою

| σ_{ϕ} | ТЕП70 | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| | P65 КБ-65 | | | | P65 W-30 «Vossloh» | | | |
| V, км/год | літо | | зима | | літо | | зима | |
| | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 |
| 20 | 0,76 | 0,702 | 0,908 | 0,838 | 1,616 | 1,493 | 1,919 | 1,771 |
| 40 | 0,799 | 0,736 | 0,972 | 0,894 | 1,696 | 1,561 | 2,047 | 1,882 |
| 60 | 0,842 | 0,772 | 1,032 | 0,946 | 1,783 | 1,637 | 2,172 | 1,99 |
| 80 | 0,886 | 0,811 | 1,097 | 1,001 | 1,875 | 1,717 | 2,304 | 2,104 |
| 100 | 0,932 | 0,851 | 1,164 | 1,06 | 1,969 | 1,799 | 2,443 | 2,224 |
| 120 | 0,98 | 0,893 | 1,234 | 1,12 | 2,067 | 1,885 | 2,586 | 2,349 |
| 140 | 1,029 | 0,936 | 1,306 | 1,183 | 2,168 | 1,973 | 2,734 | 2,478 |
| 160 | 1,08 | 0,98 | 1,381 | 1,248 | 2,273 | 2,064 | 2,887 | 2,611 |

Таблиця 5.4 Напруження в баласті під шпалою

| σ_{λ} | ТЕП70 | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| | P65 КБ-65 | | | | P65 W-30 «Vossloh» | | | |
| V, км/год | літо | | зима | | літо | | зима | |
| | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 |
| 20 | 0,125 | 0,116 | 0,15 | 0,138 | 0,122 | 0,113 | 0,145 | 0,134 |
| 40 | 0,132 | 0,121 | 0,16 | 0,147 | 0,128 | 0,118 | 0,155 | 0,142 |
| 60 | 0,139 | 0,127 | 0,17 | 0,156 | 0,135 | 0,124 | 0,164 | 0,15 |
| 80 | 0,146 | 0,134 | 0,181 | 0,165 | 0,142 | 0,13 | 0,174 | 0,159 |
| 100 | 0,154 | 0,14 | 0,192 | 0,175 | 0,149 | 0,136 | 0,185 | 0,168 |
| 120 | 0,161 | 0,147 | 0,203 | 0,185 | 0,156 | 0,143 | 0,196 | 0,178 |
| 140 | 0,169 | 0,154 | 0,215 | 0,195 | 0,164 | 0,149 | 0,207 | 0,187 |
| 160 | 0,178 | 0,161 | 0,227 | 0,206 | 0,172 | 0,156 | 0,218 | 0,197 |

Таблиця 5.5 Напруження на основній площадці земляного полотна

| σ_h | ТЕП70 | | | | | | | |
|--------------|-----------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| | P65 КБ-65 | | | | P65 W-30 «Vossloh» | | | |
| | літо | | зима | | літо | | зима | |
| V, км/год | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 | пряма | R=600 |
| 20 | 44 | 42,2 | 51,4 | 49,2 | 43 | 41,3 | 50 | 47,9 |
| 40 | 46,2 | 44,2 | 55 | 52,4 | 45,1 | 43,1 | 53,3 | 50,9 |
| 60 | 48,6 | 46,3 | 58,4 | 55,4 | 47,4 | 45,2 | 56,5 | 53,7 |
| 80 | 51,1 | 48,6 | 61,9 | 58,7 | 49,8 | 47,4 | 59,9 | 56,8 |
| 100 | 53,7 | 51 | 65,7 | 62 | 52,3 | 49,6 | 63,5 | 60 |
| 120 | 56,4 | 53,4 | 69,6 | 65,5 | 54,8 | 51,9 | 67,1 | 63,3 |
| 140 | 59,2 | 55,9 | 73,6 | 69,2 | 57,4 | 54,3 | 70,9 | 66,7 |
| 160 | 62,1 | 58,5 | 77,7 | 72,9 | 60,1 | 56,8 | 74,8 | 70,3 |

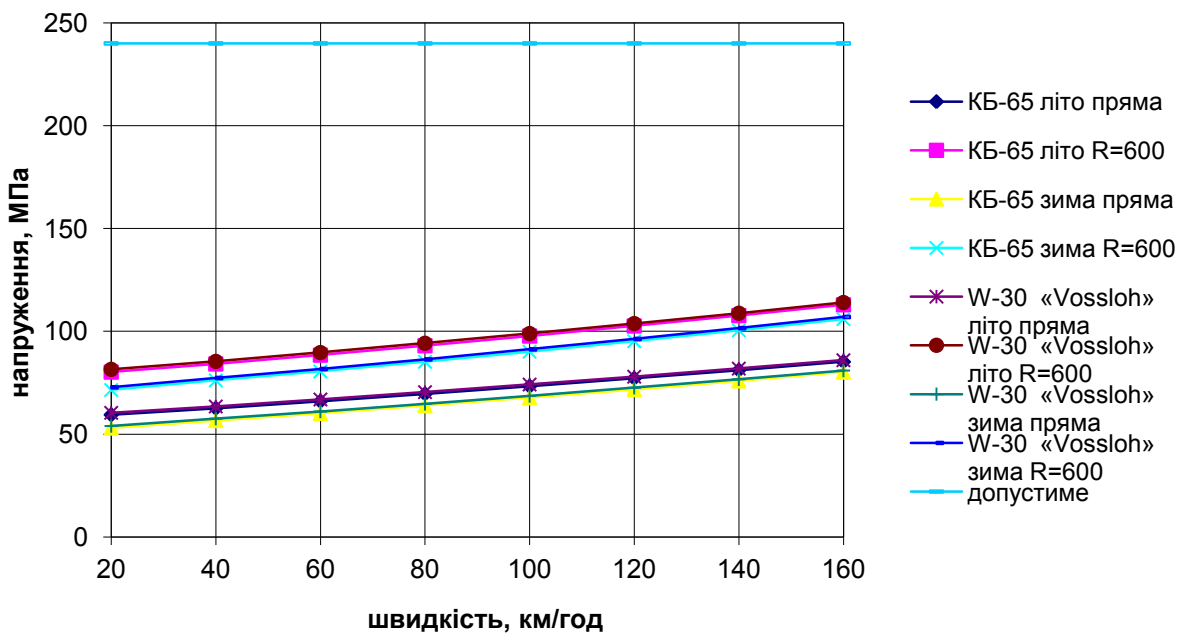


Рис. 5.1 Напруження в крайці підшви

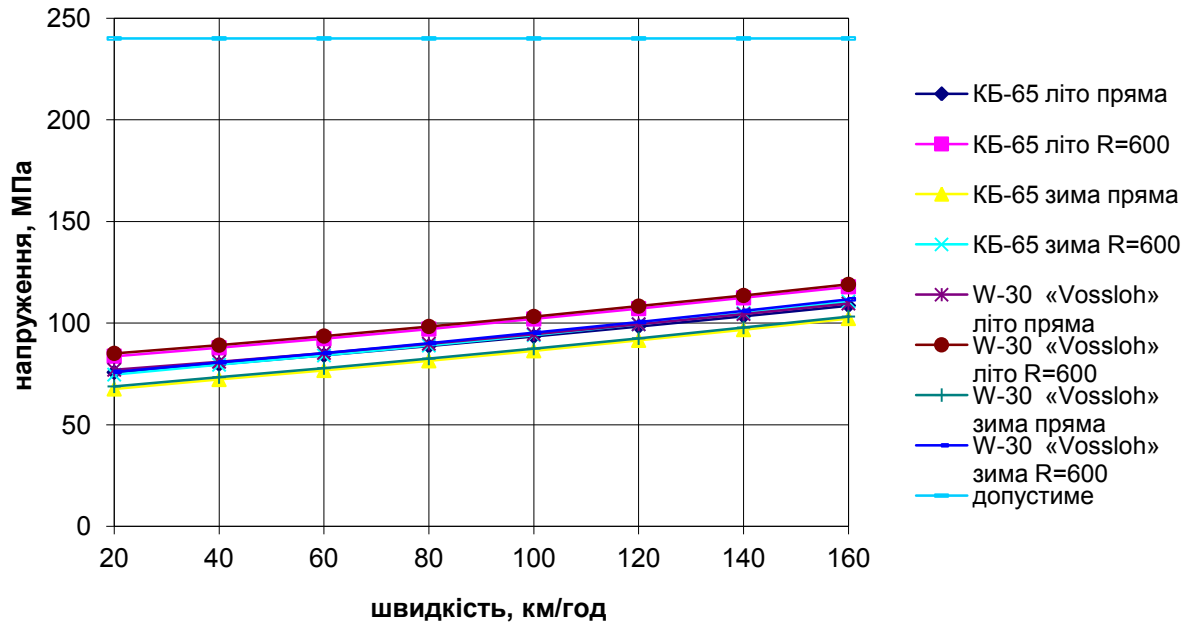


Рис. 5.2 Напруження в крайці голівки

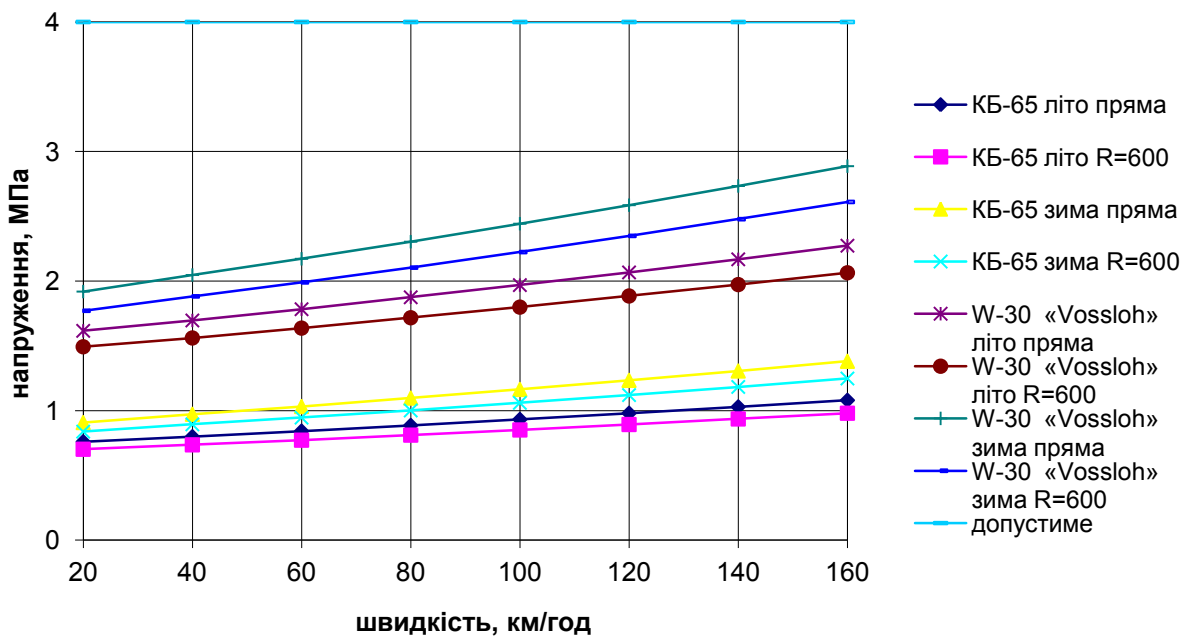


Рис. 5.3 Напруження в шпалі

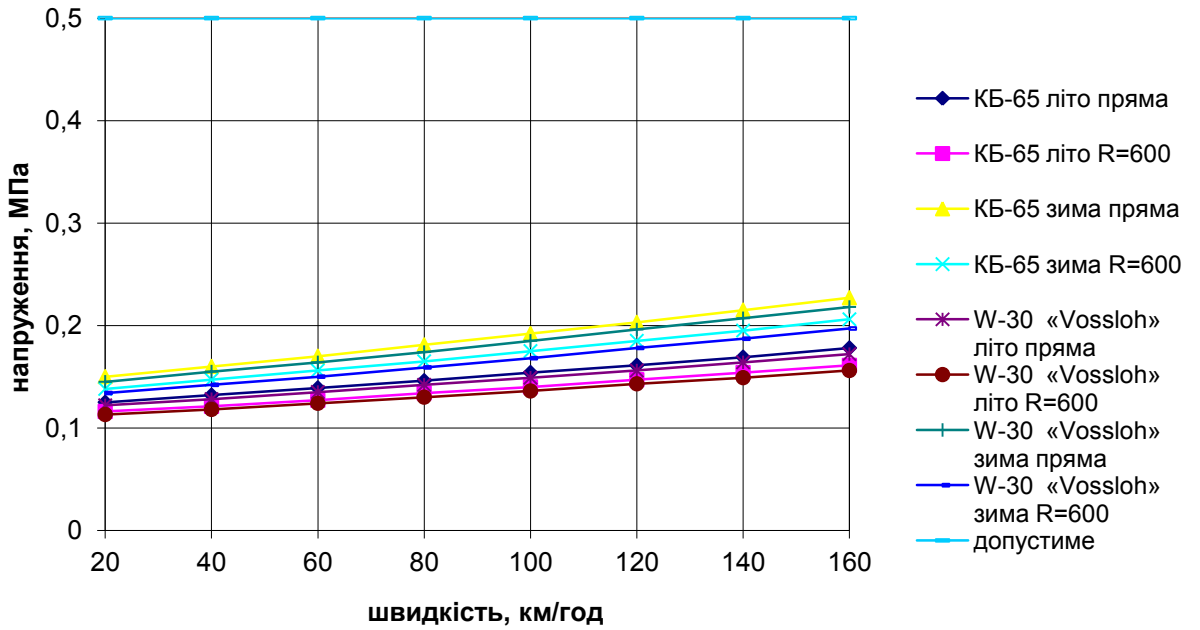


Рис. 5.4 Напруження в баласті

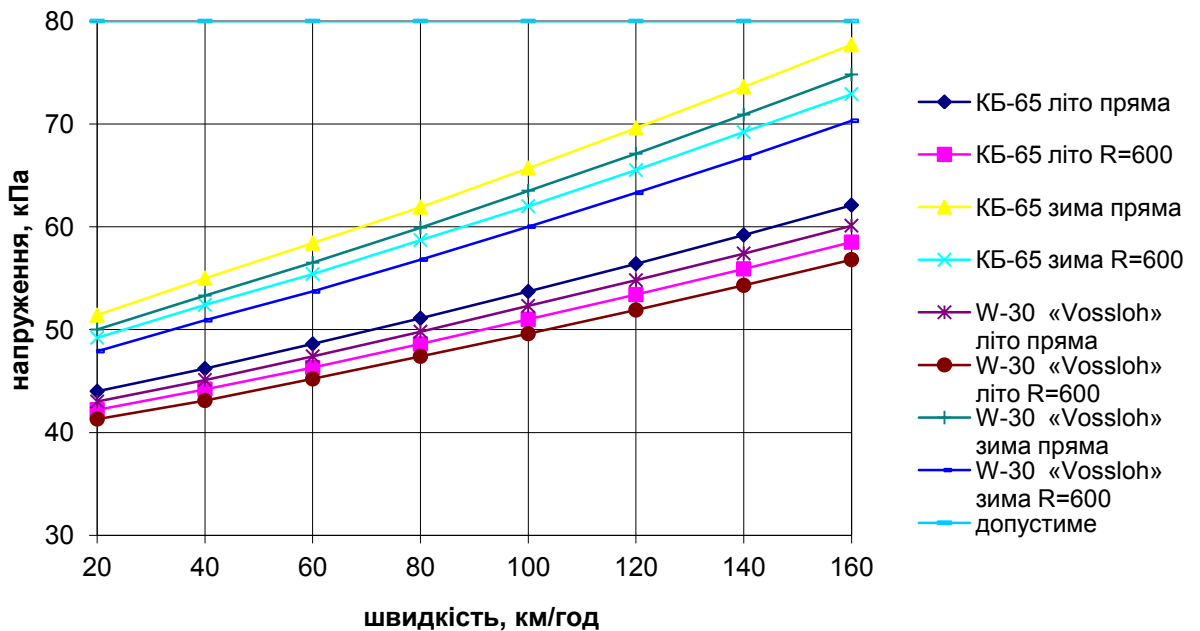


Рис. 5.5 Напруження на основній площді

Аналіз розрахунків колії на міцність.

Для всіх варіантів розрахунків виконано оцінку в графічному вигляді. За графіками легко визначити наскільки збільшуються напруження в різних елементах колії при зміні швидкості від мінімальної до конструктивної. З наведених графіків результатів розрахунків при зміні швидкості від 20 до 160 км/год локомотива ТЕП70 в прямій влітку напруження в рейках зросли в 1,4 рази, а взимку в 1,5 рази.

Напруження в рейці в кривій радіусом 600 м більші за напруження у прямій в 1,3 рази не залежно від кліматичних умов.

В шпалі, в баласті, на основній площадці при зміні швидкості від 20 до 160 км/год в прямій влітку напруження зростають в 1,4 рази, а взимку – в 1,5 разів.

На відміну від напружень в рейках, в шпалі та баласті, на основній площадці в кривій радіусом 600 м менші за напруження у прямій в 1,1 рази.

В рейках влітку напруження більші в 1,1 рази, ніж взимку, а в шпалі, в баласті, та на основній площадці навпаки влітку напруження менші в 1,3 рази, ніж взимку.

Використання скріплення типу W-30 «Vossloh» замість КБ призводить до того, що напруження в рейках зростають в 1,01 рази, напруження в шпалах зростають в 2,1 рази, а напруження в баласті та на основній площадці зменшуються в 1,03 рази.

Перевіримо міцність колії при застосуванні вітчизняних рейок типу Р65 та європейських рейок типу UIC60. Розрахунки проведемо для несприятливих умов, а саме: скріплення типу ДО, шпали дерев'яні, пряма, крива, літо, зима. В таблиці 5.6 та на рис. 5.6 представлено напруження на основній площадці земляного полотна.

Таблиця 5.6 Напруження на основній площадці земляного полотна для скріплення типу ДО, шпали дерев'яні

| Швидкість, км/год | P65 | | | | UIC 60E1 | | | | 54E1 | | | | Допустиме напруження, МПа |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| | пряма | | крива | | пряма | | крива | | пряма | | крива | | |
| | літо | зима | літо | зима | літо | зима | літо | зима | літо | зима | літо | зима | |
| 10 | 47,3 | 54,7 | 45,8 | 52,9 | 48,7 | 56,6 | 47,2 | 54,7 | 52,7 | 61,8 | 51,1 | 59,7 | 80 |
| 20 | 51,1 | 60,1 | 49,3 | 57,9 | 52,8 | 62,6 | 51 | 60,2 | 57,2 | 68,2 | 55,1 | 65,5 | 80 |
| 30 | 54,8 | 65,7 | 52,7 | 63 | 57 | 68,8 | 54,8 | 65,8 | 61,6 | 74,8 | 59,2 | 71,6 | 80 |
| 40 | 58,6 | 71,2 | 56,2 | 68 | 61,2 | 74,9 | 58,6 | 71,4 | 66,2 | 81,3 | 63,4 | 77,5 | 80 |
| 50 | 62,6 | 76,8 | 59,8 | 73,1 | 65,6 | 81,1 | 62,6 | 77,1 | 70,9 | 88 | 67,7 | 83,6 | 80 |
| 60 | 66,6 | 82,6 | 63,5 | 78,3 | 70,1 | 87,6 | 66,7 | 82,9 | 75,7 | 95 | 72,1 | 89,9 | 80 |
| 70 | 70,7 | 88,5 | 67,3 | 83,7 | 74,7 | 94,2 | 70,9 | 88,9 | 80,6 | 102 | 76,6 | 96,3 | 80 |
| 80 | 74,9 | 94,6 | 71,1 | 89,3 | 79,3 | 100,9 | 75,2 | 95,1 | 85,7 | 109,3 | 81,2 | 102,9 | 80 |
| 90 | 79,2 | 100,8 | 75,1 | 94,9 | 84,1 | 107,9 | 79,6 | 101,4 | 90,8 | 116,7 | 85,9 | 109,7 | 80 |
| 100 | 83,7 | 107,1 | 79,1 | 100,7 | 89 | 115 | 84 | 107,9 | 96,1 | 124,3 | 90,7 | 116,6 | 80 |

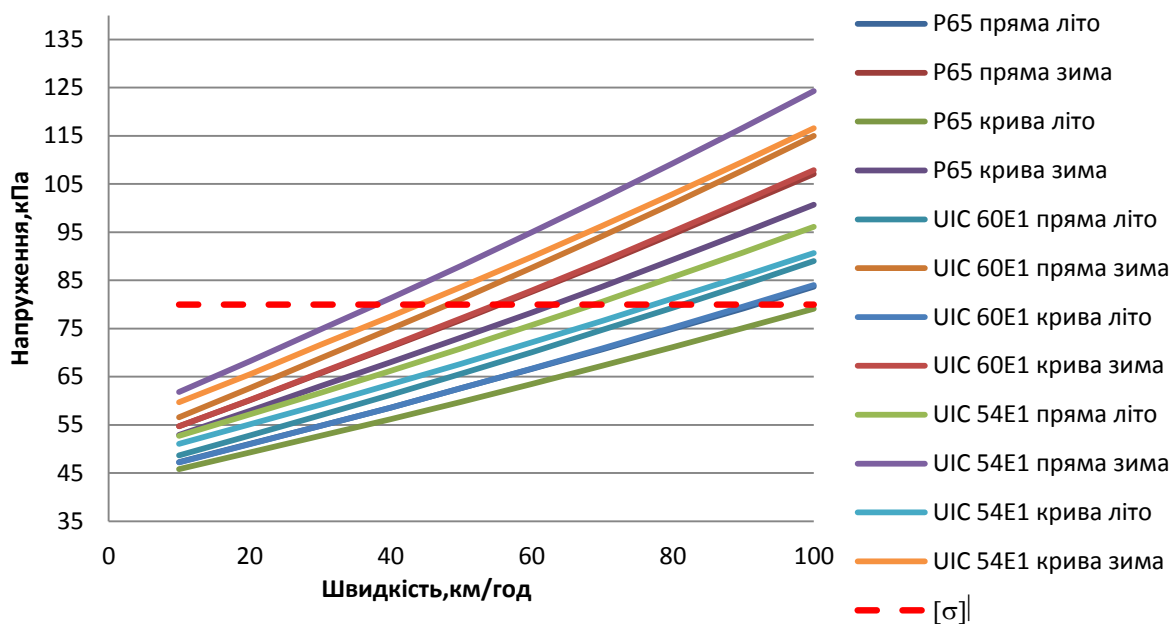


Рис. 5.6 Напруження на основній площадці земляного полотна для скріплення типу ДО, шпали дерев'яні

Висновки: за результатами розрахунку колії на міцність при різних рейках встановлено наступне:

- в рейках типу UIC60E1 напруження виникають на 15% більші, ніж в P65, а металу на виготовлення використовується менше всього на 8%, в рейках типу 54E1 напруження виникають на 30% більші, ніж в P65. Тому незначна економія матеріалу призводить до різкого вичерпування запасу міцності рейок;

- напруження на основній площадці земляного полотна для скріплення типу ДО, шпали дерев'яні, при всіх європейській рейках у всіх варіантах зовнішніх умов присутнє перевищення допустимого значення.

5.1.3 Прівняння рейкових скріплень за технічними показниками

В таблиця 5.7. представлено порівняння технічних характеристик рейкових скріплень Колієобстежувальною станцією ПС-1, де видно, що передові скріплення направлені на малодетальність та металоекономічність.

Таблиця 5.7. Порівняння технічних характеристик рейкових скріплень

| № п/п | Показники | Тип скріплення | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|----------------|-------|---------------|-------|--------|------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------|---------|---------|
| | | 1520 мм | | | | | | | | | від 1520 мм до 1530 мм | від 1520 мм до 1535 мм | | |
| | | КБ | КД | ДО | КПП-5 | ТРЕП-Ш | ТРЕП | Vossloh SB4 | Schwihag SBS W SL-1-900- R65 | Vossloh W30 | Schwihag SBS W SL-1-900- R65 | КПП-5-К | СКД-65Д | СКД-65Б |
| 1 | Кількість елементів на один вузол скріплення | 21 | 15 | 7 | 5 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 19 | 24 |
| 2 | Вага металу скріплення на одну шпалу, кг | 22,72 | 30,88 | 22,66 | 4,06 | 15,3 | 4,86 | 3,54 | 2,54 | 2,53 | 2,54 | 4,06 | 31,92 | 24,22 |
| 3 | Регулювання ширини колії | Ні | Ні | пер. колії | Ні | Ні | Ні | Ні | Так | Так | Так | Так | Так | Так |
| 4 | Регулювання рейок по висоті | Так | Так | Так | Ні | Ні | Ні | Ні | Ні | Ні | Ні | Ні | Так | Так |

5.2 Прівняння європейської колії та вітчизняної за економічними показниками

За результатами розрахунків колії на міцність елементами конструкції залізничної колії, що найбільше відповідають навантаженням українських залізниць, є рейка 60E1 та проміжне скріплення W30 SKL14. Запишемо вартості елементів конструкції залізничної колії вітчизняних та європейських.

Рейка залізнична типу Р65 нова: від 80 000 ₴/т.

Рейка 60E1 EN 13674-1 / UIC60: від 110 000 ₴/т.

Залізничне скріплення для колії, КБ-65: від 550 ₴/комплект.

Рейкове скріплення для залізобетонних шпал: Фоссло W30 Vossloh (SKL14) від 380 ₴/комплект.

Рейкове скріплення для залізобетонних шпал: КПП-5 від 370 ₴/комплект.

Шпала залізобетонна: 1400 ₴/шт.

На рис. 5.7 представлена розрахована вартість 1 км верхньої будови колії (безстикової) європейської та вітчизняної конструкції.

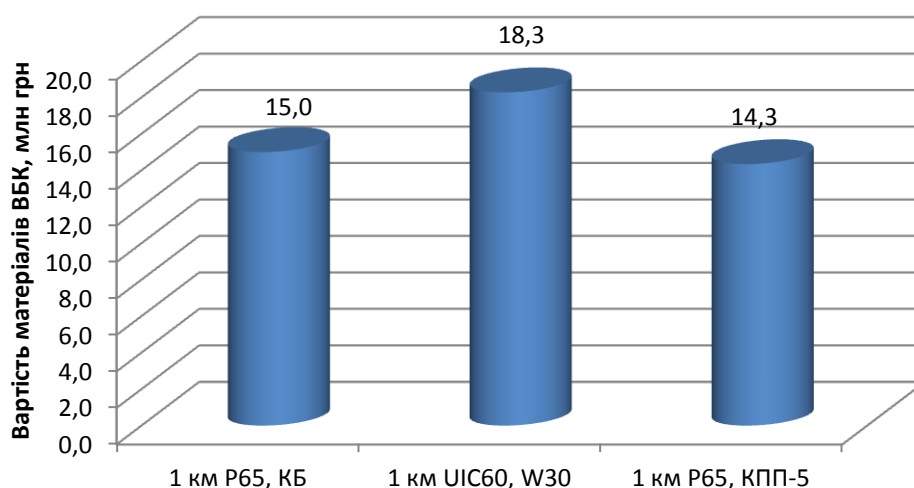


Рис. 5.7 Вартість 1 км колії європейської та вітчизняної конструкції

Таким чином, колія європейської конструкції дорожча. Використання вітчизняної продукції економить 4 млн грн на 1 км колії, що з урахуванням періодичності ремонтів колії та їх річних об'ємів складає 4,4 млрд грн за рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Залізничний транспорт відіграє надзвичайно важливу роль в економіці України, тому будь-які зміни в цій сфері мають безпосередній вплив на стан економіки держави в цілому. Імплементация європейських норм тягне за собою не лише зміну вимог та нормативних документів, але й зміни в матеріальній складовій.

Складові інтероперабельності інфраструктури - це рейки, системи рейкового кріплення, колійні шпали. Саме ці елементи виготовлені за стандартами ЄС мають перспективу використання на дорогах Укрзалізниці. Визначено технічні та економічні особливості даного процесу.

На закордонних залізницях для важких умов роботи використовують важкі рейки, що мають вагу більше 65 кг/м, для швидкісних ліній використовуються рейки вагою 60 кг/м.

На прикордонних залізницях України сьогодні вкладається колія європейської ширини 1435 мм в поєднанні з українською шириною колії 1520 мм. При суміщеній колії на одній шпалі суміщається дві норми ширини колії. На залізобетонних шпалах використовується проміжне скріплення типу КПП-5, як вітчизняне пезпідкладочне пружне скріплення, та рейки типу Р65. В перспективі можна використовувати рейки типу 60E1 та скріплення типу SKL, E-clip, Clip I.

З порівняння технічних характеристик рейкових скріплень видно, що передові скріплення направлені на малодетальність та металоєкономічність. Таким вимогам відповідає не лише європейське скріплення Vossloh SB4, а й вітчизняне КПП-5.

За результатами розрахунку колії на міцність при різних рейках встановлено, що в несприятливих умовах напруження на основній площадці земляного полотна для скріплення типу ДО, шпали дерев'яні, при всіх європейській рейках у всіх варіантах зовнішніх умов присутнє перевищення допустимого значення. В рейках типу UIC60E1 напруження виникають на 15% більші, ніж в Р65, а металу на виготовлення використовується менше

всього на 8%, в рейках типу 54E1 напруження виникають на 30% більші, ніж в Р65. Тому незначна економія матеріалу призводить до різкого вичерпування запасу міцності рейок.

Використання скріплення типу W-30 «Vossloh» замість КБ призводить до того, що напруження в шпалах зростають в 2,1 рази.

За результатами розрахунків колії на міцність елементами конструкції залізничної колії, що найбільше відповідають навантаженням українських залізниць, є рейка 60E1 та проміжне скріплення W30 SKL14. Виходячи з вартості елементів конструкції залізничної колії вітчизняних та європейських, розрахована вартість 1 км верхньої будови колії (безстикової) європейської та вітчизняної конструкції.

Колія європейської конструкції (рейка 60E1 та проміжне скріплення W30 SKL14) дорожча і складає 18,3 млн грн/км. Використання вітчизняної продукції (рейка Р65 та проміжне скріплення КПП-5) не лише має більший запас міцності, але й економить 4 млн грн на 1 км колії, що з урахуванням періодичності ремонтів колії та їх річних об'ємів складає 4,4 млрд грн за рік.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. <https://www.era.europa.eu>
2. Основи геоморфології. А. Р. Орм, Трактат з геоморфології, 2013
3. Технологія зниження вібрації та шуму в період експлуатації високошвидкісної залізниці Yulong He, Changgen Mei, Високошвидкісні залізниці, 2023
4. Прогнозування шуму високошвидкісних залізниць у період експлуатації Yulong He, Changgen Mei, Високошвидкісні залізниці, 2023
5. <https://www.rail-fastener.com/railway-construction.html>
6. Інструкція з укладання та утримання суміщеної залізничної колії 1520 мм і 1435 мм. – 2005 р. – 40 с.
7. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізниці колії 1435 мм. Норми проектування ДБН В.2.3-XX:2024. Київ Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. 2024. – 128 с.
8. Директива (ЄС) 2016/797 Європейського Парламенту та Ради від 11 травня 2016 про інтероперабельність залізничної системи в рамках Європейського Союзу.
9. <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8F>
10. https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96_%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D1%96_%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%96
11. <https://www.railinsider.com.ua/polske-vydannya-rozpovilo-pro-zarplaty-zaliznychnykyv/>
12. https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Bahn
13. <https://www.railinsider.com.ua/deutsche-bahn-rekordno-pidvyshhyt-zarplaty-pracivnykam/>
14. <https://germania.one/skolko-zarabatyvajut-sotrudniki-kompanii-deutsche-bahn/>
15. https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Plasser_%26_Theurer
16. <https://acc.cv.ua/news/world/cikavo-yak-samohidniy-robot-budue-zaliznicyu-video-18410>