

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

на тему: **Адаптація параметрів залізничної колії на відповідність вимогам
Європейських норм**
за освітньою програмою «Інтероперабельність та безпека на залізничному
транспорті»
зі спеціальності:

273 «Залізничний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

Виконала:
студентка

групи: ІН2226

(підпис студента)

/Юлія БІБКО /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

/доцент Володимир АНДРЕЄВ /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

/ 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 – 2024

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

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

**Explanatory Note
to Master's Thesis**

Master

(higher education degree)

on the topic: **Adaptation of railway track parameters to meet the requirements of
European standards**

according to educational curriculum Interoperability and safety in rail transport
in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code)

Done by the student of the group: IH2226

/ Yuliia BIBKO /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/Associate Professor Volodymyr

ANDRIEIEV /

(position, name, surname)

Normative controller :

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

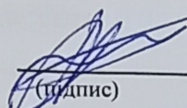
(position, name, surname)

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 та безпека на залізничному транспорті»
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
«Транспортна інфраструктура»


(Підпис) Олексій ТЮТКІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 29.01.2024

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студентці Бірко Юлії Вікторівні

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Адаптація параметрів залізничної колії на відповідність вимогам Європейських норм»

Керівник роботи: Андреев Володимир Сергійович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «28» квітня 2023 р. № 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2024 р.

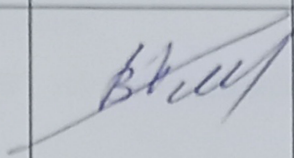
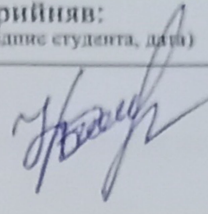
3. Вихідні дані до роботи: Дані для розрахунку напружень в елементах верхньої будови колії та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

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

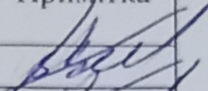
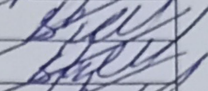
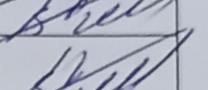
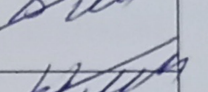
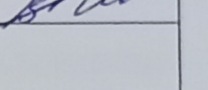
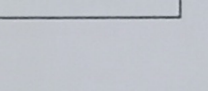
Вступ. Розділ 1. Розділ 2. Розділ 3. Розділ 4. Розділ 5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, до 10 слайдів).

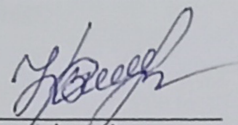
6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Розділ 1 - 5	Андрєєв В.С		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1, Розділ 2	19.11.2023	
2	Розділ 3	10.12.2023	
3	Розділ 4, розділ 5	31.12.2023	
4	Висновки. Оформлення ВКР.	14.01.2024	
5	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	15.01.2024	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	16.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2024	

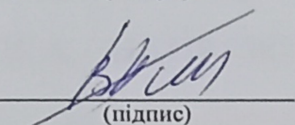
Студентка


(підпис)

Юлія БІБКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир АНДРЕЄВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

67 стор., 21рис., 12 табл., 13 літературних джерел.

Адаптація параметрів залізничної колії на відповідність вимогам Європейських норм

Метод дослідження – аналітичний.

Головною метою цієї магістерської роботи є адаптація елементів верхньої будови колії (рейки) на залізницях України до нормативів країн Європейського Союзу.

Об'єктом дослідження є рейки залізничної колії.

Для досягнення поставленої мети в роботі проаналізовано наявні конструкції рейок і методи їхнього розрахунку в залізничній колії в країнах Європейського Союзу та Україні. Під час порівняння розрахункових напружень у голівці та підшві рейок із допустимими зроблено висновок, що розрахункові напруги не перевищують допустимих.

Ґрунтуючись на розрахунках було запропоновано використовувати навантаження 25 т на залізницях України.

Ключові слова: ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ, ПІДРЕЙКОВА ОСНОВА, ШПАЛИ, ОСНОВНА ПЛОЩАДКА, НАПРУЖЕННЯ, ВЕРХНЯ БУДОВА КОЛІЇ.

	стр.
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	7
2 БУДОВА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	10
3 ВИМОГИ, ЩО ВИСУЮТЬСЯ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА ДО РЕЙОК В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ	30
4 ВИМОГИ, ЩО ВИСУЮТЬСЯ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА ДО РЕЙОК В УКРАЇНІ	33
5 АДАПТАЦІЯ ВИМОГ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА РЕЙОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ ДО НОРМ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	42
5.1 Визначення динамічного навантаження від одиночного колеса на рейку	43
5.2 Визначення напруг та деформацій в елементах верхньої колії	45
5.3 Допустима напруга в рейках	48
5.4 Аналіз напруг у рейках при навантаженні 25 т	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
ЛІТЕРАТУРА	52
Додаток А	53
Додаток Б	57
Додаток В	59
Додаток Г	60
Додаток Д	61
Додаток Е	64

ВСТУП

Залізничний транспорт забезпечує понад 43% вантажообігу країни (без урахування трубопровідного транспорту - 85%) і близько 30% пасажиробігу.

Починаючи з середини XIX ст., залізничний транспорт став інтенсивно розвиватися задоволення потреб населення у переміщенні, і навіть своєчасної доставки вантажів у розвиток економіки країн.

Залізнична колія є важливим та відповідальним елементом перевізного процесу. Найбільший вплив на його якість, безпеку та комфортність перевезення вантажів та пасажирів має верхня будова колії, особливо його основний елемент — залізничні рейки (далі — рейки). У зв'язку з цим під час експлуатації залізничної колії до якості рейок висуваються високі вимоги.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дана робота дозволяє зрозуміти, що шлях не тільки складається з окремих компонентів і розглядається сам собою, а навпаки повинен розглядатися як "Як система колесо-рейка".

Коля повинна:

- забезпечувати високу безпеку,
- сприймати вертикальні та горизонтальні сили від рухомого складу,
- передавати ці сили через рейкошпальну решітку та баластну призму на нижню будову шляху,
- забезпечувати хороший комфорт при їзді,
- забезпечувати високу продуктивність перевезень.

Колесо рухомого складу передає вертикальні та горизонтальні сили на колю. У безстиківій колії додатково виникають поздовжні сили через температурні зміни. Шлях піддається квазістатичним (низькочастотним) та високочастотним навантаженням. На рис 1.1 показана схематично система

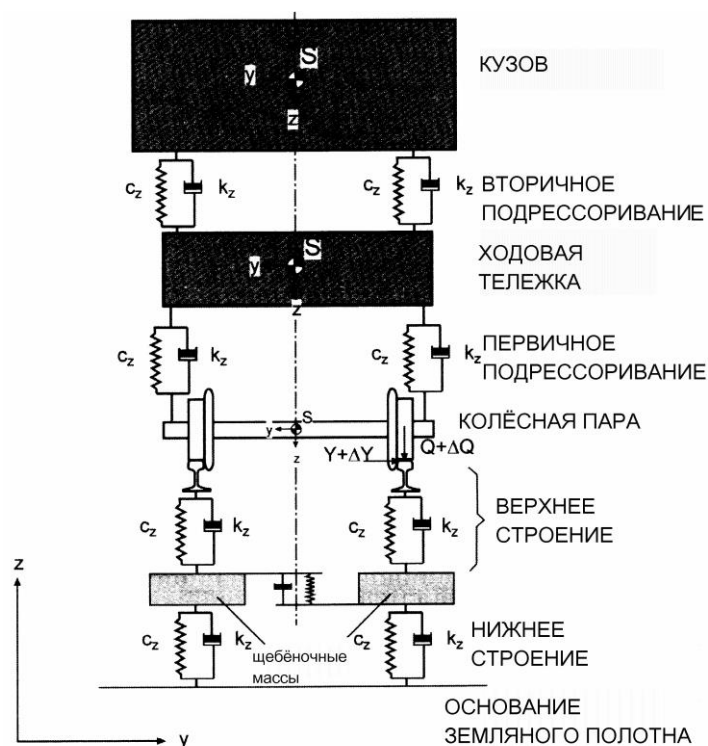


Рисунок 1.1 - Схематичне уявлення системи колесо-рейка

- Окремі елементи системи пов'язані між собою компонентами, що володіють властивостями, що демпфують. Поведінка ресор і амортизаторів між вагоном і візком так само, як і між візком і колісною парою відомо, і дуже добре описується математично.
- Сама колія щодо своїх пружно-пластичних властивостей, не може бути аналітично точно описаний через неоднорідність властивостей щебеневої основи, захисного шару основного майданчика та власне основної площадки. Застосовують емпіричні, дослідно певні величини та взаємозв'язки.
- Величини сил - це функції від осьового навантаження, змін осьового навантаження через рух по кривій або нерівномірному завантаженні вагонів, від процесів гальмування та розгону, від кочення нерівних та невідбалансованих коліс по рейках з нерівностями.
- Ці сили рейкошпальні решітки повинні розподіляти так, щоб не були перевищені допустимі величини тиску на щебінь під шпалою та допустимі сили тиску на основну площадку.
- Показано зростання осьового навантаження та швидкостей протягом історії залізниць. Помітно постійне зростання осьового навантаження від товарних вагонів, сьогодні 22,5 тонн, у майбутньому можливе до 25, як і збільшення швидкостей пасажирських поїздів: На нових ділянках до 250-300 км/год. Також і на другорядних коліях поїзди стали їздити переважно швидше.
- У викладених далі теоретичних висловлюваннях і практичних дослідях буде пояснено, як ці вимоги, що зростають, можуть бути задоволені в майбутньому.
- З сучасного досвіду відомо, що верхня будова шляху високонавантажених ліній складається з наступних елементів:
 - важкий рейковий профіль UIC60,
 - зносостійкі рейки в кривих (загартована головка або легована сталь),

- бетонні шпали для колії та стрілочних перекладів в оптимальному виконанні,
- стійкі до кручення та пружні рейкові скріплення (оптимізація пружності та демпфування),
- тривало стабільному положенні баластної призми,
тривало стабільному, незамерзаючому земляному полотні (запобігає улаштуванню захисного шару і геотекстилю).

2 БУДОВА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

На рис 2.1 показано будову шляху. Видно, що загальна система складається не тільки з щебеню, що «плавають» у ньому шпал і покладених зверху рейок, а також з нижньої будови шляху із захисним шаром або покращеної підрейкової основи та власне із самого земляного полотна

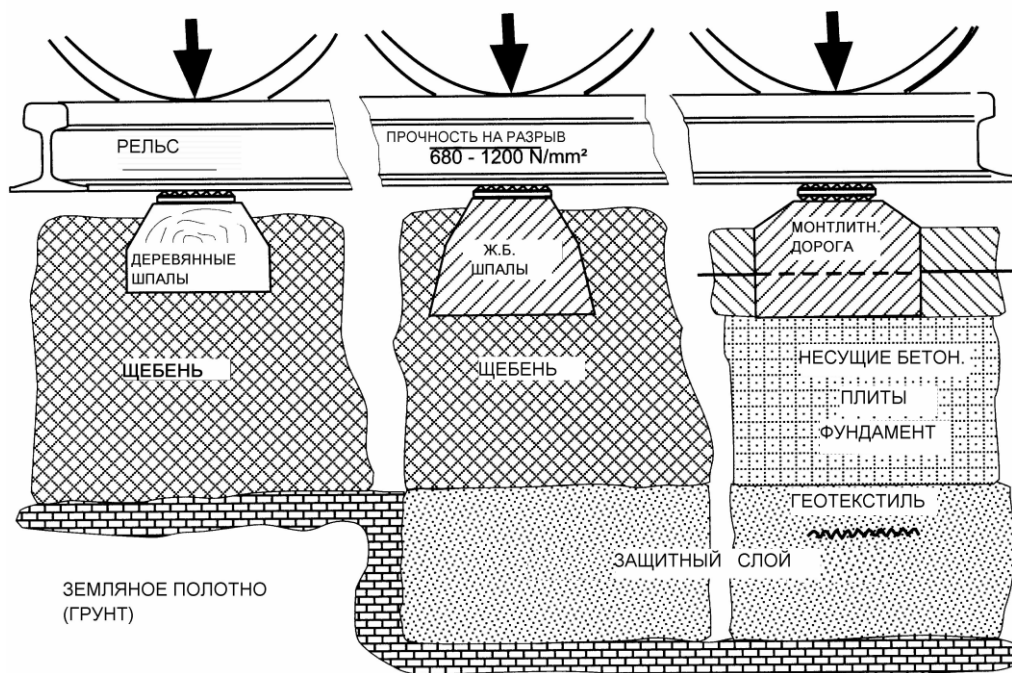


Рисунок 2.1 - Схематичне уявлення основних типів колії

У подальшому будуть розглянуті та порівняні елементи окремо та особливо їх взаємодія між собою. Тільки висока якість кожного елемента та оптимальна взаємодія їх між собою може гарантувати економічний поточний утримання залізничної колії.

Співвідношення систем

Вирішальне значення співвідношення систем ([2], [3]) мають граничні значення поздовжнього ухилу, кривизни колії (радіусів кривих) і допустимої швидкості ділянки.

Геометричне положення колії розглядається головним чином як положення осі колії. Тому обмежуються горизонтальною проекцією або

нормальною проекцією фактичної осі представленої просторової кривої на горизонтальну площину.

Залізнична колія будується так, щоб при русі екіпажу зі встановленою швидкістю зберігалася рівновага між поперечною складовою сили тяжіння за рівнем підлоги кузова вагона складової відцентрової сили. Прискорення, які відчуває пасажир, мають бути повністю компенсовані чи зменшені.

При переході прямої в криву, пряма неспроможна безпосередньо з'єднуватися з кривою. Раптова поява піднесення призводить, з одного боку, до стрибкоподібного зростання висотного положення рейкової нитки і, з іншого боку, з'являється проблема комфортабельності їзди через відцентрове прискорення, що раптово з'являється. Цю проблему можна усунути, якщо між прямою та круговою кривою влаштувати перехідну криву. Кривизна осі шляху зростає поступово від нуля до відповідної кругової кривої величини $1/R$. Аналогічно надходять із піднесенням.

Конкретні виконання перехідних кривих різняться між собою лише тим, як зростає величина кривизни шляху та піднесення від нуля до кінцевого значення. Це зростання успішно здійснюється лінійно по довжині кривої, так виходить повсюдно відома клотоїдна крива і прямі відводи піднесення, що відносяться до неї. Така форма кривої нині є найпоширенішою в Європі (і в Україні).

Значне обмеження застосовуваних нині інших форм перехідних кривих є основою математичних складності їх моделей. Екіпаж щодо своїх динамічних характеристик буде розглядатися як точкова маса, яка рухається вздовж осі шляху. З цього випливає, що не братиметься до уваги неадекватне моделювання чинних сил. Як адекватне ідеалізування було б ухвалення нерухомої моделі. Крім того, в моделях, що застосовуються сьогодні, не враховується, що центр ваги рухомої одиниці переміщається не вздовж поперхності головки рейки, а на 1-2 метри вище.

Відмінний новий метод для опису лінії прямування – це диференціальна геометрія плоских смужок [4].

Уздовж кривої утвореної віссю шляху, переміщається тривимірне початок координат, що складається з окремих векторів, які жорстко пов'язані з рухомою одиницею, що переміщається. До того ж вектор тангенса містить швидкість V , бічний вектор розташований праворуч під кутом до кривої і утворює смужки; нормальний вектор ортогональний до отриманої площини.

У цій координатній системі представляються геометричні величини смужок і кінематичні, такі як швидкість, і прискорення, а також їх відхилення, поштовхи. Проходження екіпажу передбачається по лінії центру мас.

В Австрії було влаштовано досвідчені криві з новими формами перехідних кривих. Наявний досвід показує, що у цих кривих протягом 6-ти років не потрібно технічного обслуговування.

Кругові криві та прямі

Для кругових кривих і прямих застосовують такі, наведені у таблиці критерії.

Таблиця 2.1 – Критерії для улаштування кривих та прямих

Найменування	Параметр
Мінімальна довжина кривої та прямої	$\min l = \geq 0,4 \cdot v_e$
Радіус кривої	$R = \frac{11,8 \cdot v_e^2}{u_0}$ $R_{\max} \leq 30.000 \text{ m}$
Мінімальний радіус на головних коліях	$R \geq 300 \text{ m}$
Мінімальний радіус на другорядних коліях	$R \geq 180 \text{ m}$

- R ... Радіус кривої [м]
 v_e ... Проектна швидкість [км/год]
 u_0 ... Зрівнювальне підвищення [мм]

На противагу Європі США описи кривизни не використовують радіус R , чи ставлення кривизни $\frac{1}{R}$. Кругові криві характеризуються "градусом". Це кут, який відповідає довжині кривої 100 кроків = 30,48 м.

Використовують:

$$\alpha^\circ = \frac{1746}{R}$$

Підвищення

Для підвищення використовують такі, задані в таблиці 2 критерії.

Таблиця 2.2 – Параметри підвищення колії.

Найменування	Параметр
Мінімальне підвищення	$u_{\min} = 20 \text{ мм}$
Стандартна величина	$u_{\text{Regel}} = 100 \text{ мм}$
Допустима величина при щебеновому баласті Допустимо, при монолітній дорозі	$zul\ u = 160 \text{ мм}$ $zul\ u = 170 \text{ мм}$
Підвищення на вокзалах та на ділянках с частими зупинками поїздів Мінімальне підвищення $min\ u$	$min\ u < u < reg\ u$ $reg\ u = \frac{7,1 \cdot v_e^2}{R}$ $min\ u = u_0 - zul\ u_f$
Підвищення на ділянках з приблизно рівними швидкостями	$reg\ u < u < u_0$
Згладжуюче підвищення	$u_0 = \frac{11,8 \cdot v_e^2}{R}$
Планова величина дефіциту підвищення u_f	$u_f = 70 \text{ мм}$ $zul\ u_f = 130 \text{ мм}$

u ... підвищення

u_f ... дефіцит підвищення

u ... Стандартне підвищення

Стандартне підвищення заміряють так, щоб для пасажирів у поїзді, що швидко їде, був забезпечений хороший поїзний комфорт. При мінімальному піднесенні під час руху поїзда з максимальною на ділянці швидкістю з'являються максимально допустимі бічні прискорення.

Наступна діаграма показує допустимі величини дефіциту підвищення при різних швидкостях.



Рисунок 2.2 - Допустимый дефицит підвищення, мм

Таблиця 2.3 показує типові дефіцити підвищення, максимальні ухили та типові максимальні радіуси на швидкісних ділянках у різних країнах.

Таблиця 2.1 - Використовуємі підвищення, максимальні ухили та типові максимальні радіуси на швидкісних ділянках у різних країнах

Параметр	<i>DB AG</i>	<i>FS</i>	<i>SBB</i>	<i>SNCF</i>
a_f [м/с ²]	0,85	0,85	0,8	1,0
Δu_f [мм]	80	120	60	130
макс. уклон, [‰]	12,5	8,5	30	35/25
R [м]	7000	3000	4000	4000/6000

Дефіцит підвищення u_f у мм. Дозволяє розрахувати непогашене бічне прискорення a_f :

$$a_f = g \cdot \frac{u_f}{s},$$

где g ... прискорення вільного падіння, 9.81 м/с²

s ... ширина колії [мм]

a_f ... непогашенное боковое прискорення [м/с²]

Непогашенное боковое прискорення Максимальне бічне прискорення (незважаючи на висоту рейки) впливає на пасажирів швидкого поїзда.

Підуклонка рейки та ширина колії

Рейки лежать в колії з нахилом всередину. У стрілочних переводах підуклонка рейок, як правило, не використовується. Стандартна підуклонка 1:40 використовується на DB AG. У таблиці 2.4 показаний огляд рейок, що використовуються в різних країнах рейок, найбільш використовуваних профілів залізниць та ширинах колії з допусками.

У таблиці 2.5 показаний огляд інших значень ширини колії в різних країнах.

Таблиця 2.4 - Параметри конструкції колії європейських залізниць

Залізниця	Рейка	Підуклонка	Ширина колії, [мм]
<i>Network Rail</i>	<i>BS113A</i>	1:20	1432 ^{-0 +3}
<i>DB AG</i>	<i>UIC60</i>	1:40	1435 ^{-0 +3}
<i>FS</i>	<i>UIC60</i>	1:20	1435 ^{-2 +1}
<i>NS</i>	<i>UIC54, NP46</i>	1:40/1:20	1435 ^{-1 +3}
<i>NSB</i>	<i>S49, UIC54</i>	1:20	1435 ^{-3 +3}
<i>ÖBB</i>	<i>S49, UIC54, UIC60</i>	1:40	1435 ^{-2 +2}
<i>SBB</i>	<i>UIC60</i>	1:40	1435 ^{-2 +2}
<i>SJ</i>	<i>SJ43, SJ50</i>	1:30	1435 ^{-3 +3}
<i>SNCF</i>	<i>UIC60</i>	1:20	1436 ^{-2 +2}
<i>УЗ</i>	<i>P65</i>		1520

Таблиця 2.5 - Інтернаціонально прийняті значення ширини колії

Найменування	Ширина колії, [мм]	Країна
Decauville-Spur	700	Аргентина, Данія, Індонезія, Нідерланди, Іспанія
Боснийская колея	760	Австрія
Карспур	1067	Южна Африка
Русская колея	1520/1524	Україна, Фінляндія
Ірландская колея	1600	Ірландія, Бразилія, Австралія
Індійская колея	1676	Індія, Пакітан, Іран, Афганістан, Аргентина
Iberische Spur	1668/1674	Португалія, Іспанія

Статичні сили в колії

Вертикальна сила

Унаслідок дії навантаження від колеса з'являється вертикальна сила.

Нерівності на поверхні головки рейки призводять до динамічних впливів і пов'язаних із цим додаткових навантажень від коліс. Так само під час руху по кривій унаслідок змін бічного прискорення виникають зміни осьового навантаження [10]. Типові осьові

Високошвидкісне сполучення max. 200 kN

Змішане сполучення max. 225 kN

Важкі умови (Австралія) max. 360 kN

Поздовжні сили

У колії можуть виникати такі поздовжні сили [11]:

- поздовжня сила внаслідок температурного подовження рейок. Температурна зміна рейок у 35°C відповідає зміні сили в 700 kN. Так, за допомогою відношення 20 kN/°C можна розрахувати температурне подовження.

- поздовжня сила в результаті розгону/гальмування рухомого складу,
- власні поздовжні сили в рейках (напр. внаслідок температурного розширення після зварювальних робіт),
- поздовжні сили внаслідок так званого "викрадення рейок".

Для визначення зміни напружень у рейках унаслідок температурних змін:

де α ... коефіцієнт температурного розширення рейкової сталі
($1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{K}$)

ΔT ... зміна температури рейок, [$^\circ\text{K}$];

E ... модуль еластичності рейкової сталі ($21 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$);

$\Delta \sigma$... зміна напруги в рейці, [N/cm^2].

Сили, що виникають під час розгону, гальмування

Привідні колісні пари внаслідок дії сили тертя між колесом і рейкою породжують поздовжні сили в колії. Перед приводною віссю з'являється розтягнення, позаду стиснення. Величина поздовжніх сил залежить від сили впливу колеса Q і величини зчеплення між колесом і рейкою. Поздовжньою силою, що не перевищує 5% сили температурного розширення, можна знехтувати.

Під час уповільненого руху загальмованих коліс, у рейках з'являються поздовжні сили. На противагу прискоренню, під час гальмування перед першою віссю виникає напруга стиснення. Наступна відмінність полягає в тому, що в процесі гальмування беруть участь усі осі. Зона впливу досягає 30 метрів. Поздовжні сили, що з'являються внаслідок гальмування, можуть сягати 15% від максимальних сил температурного розширення, тому їх потрібно врахувати. Під час розгону і гальмування поздовжні сили можуть досягати 55 kN.

Сила гальмування у % від осьового навантаження для різних рухомих одиниць:

Электровоз	12-15%
Дизельний локомотив	18%
Двухвісний вантажний вагон	25%

Під час гальмування вихровими струмами (WB) рейки нагріваються і знижується стабільність колії.

Поперечні сили

Під час руху рухомої одиниці з'являються сили, які діють горизонтально, під прямим кутом до осі колії. Сила Q , що діє під гострим кутом до голівки рейки, може бути розкладена на крутний момент M і спрямовуючу силу Y . спрямовуюча сила залежить від багатьох технічних параметрів рухомої одиниці, як-от осьове навантаження, база візків, конструкція візків, модуль пружності та постійна загасання, а також від стану геометрії колії та швидкості.

Динамічні сили в дорозі

Перерозподіл навантаження між колесами осі

З'являються внаслідок влаштування невідповідного піднесення (дія непогашеного доцентрового прискорення та ексцентричного положення центру ваги рухомої одиниці).

різних рухомих одиниць над SOK :

Электровоз $E103$	1730 мм
Электровоз $E110$	1550 мм
Дизельний локомотив $V212$	1730 мм
Пасажи́рський вагон $A vmz$	1730 мм
Вантажний вагон $Fz 120$	2690 мм
Вантажний $F ad 167$	1910 мм
Вантажний вагон $S a 705$	1630 мм

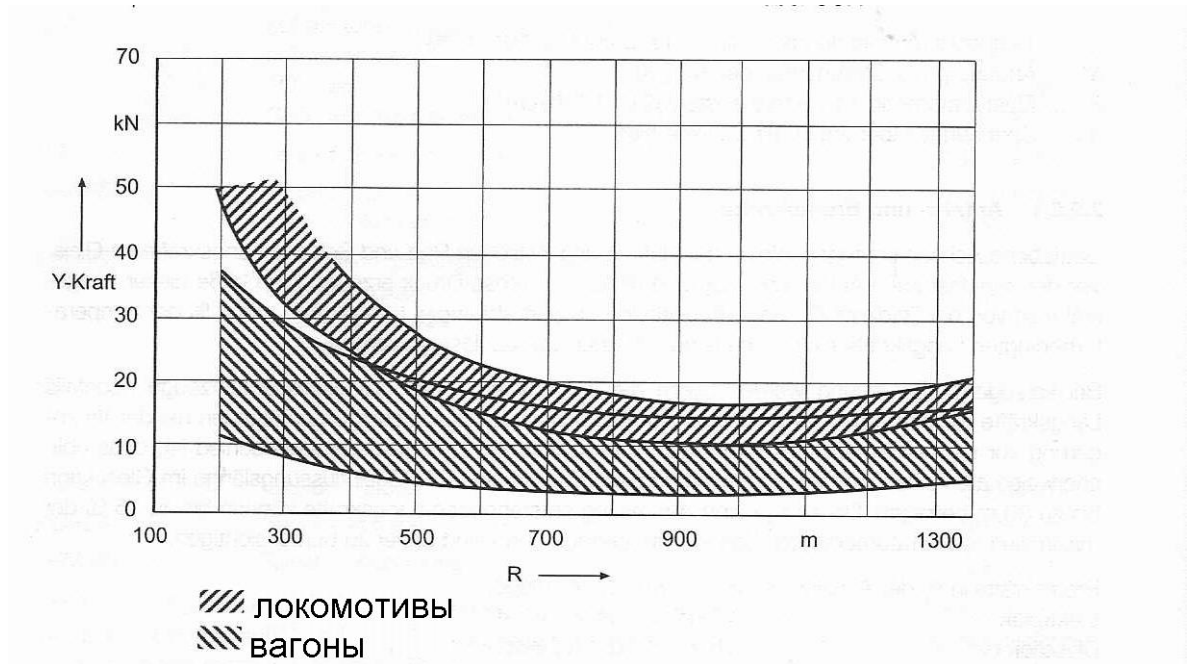


Рисунок 2.3 - Горизонтальна напрямлююча сила, залежно від радіуса кривої

Причини виникнення коливань

Можуть з'являтися через дефекти поверхні головки рейки:

рифлі з довжиною хвилі до 50 мм у прямих і пологих кривих на обох рейках,

- місця від пробуксовок із довжиною хвилі 50-250 мм на нижній рейці в кривих із малими радіусами,

- через хвилі середньої довжини, отримані під час вальцювання під час виробництва рейок.

Сили опору в колії

Сили, що виникають у колії, мають бути компенсовані відповідними силами опору.

Дуже висока сила стиснення в місці торкання колеса і рейки, через окремі компоненти системи має бути розосереджена на основна площадка (рис. 2.4)

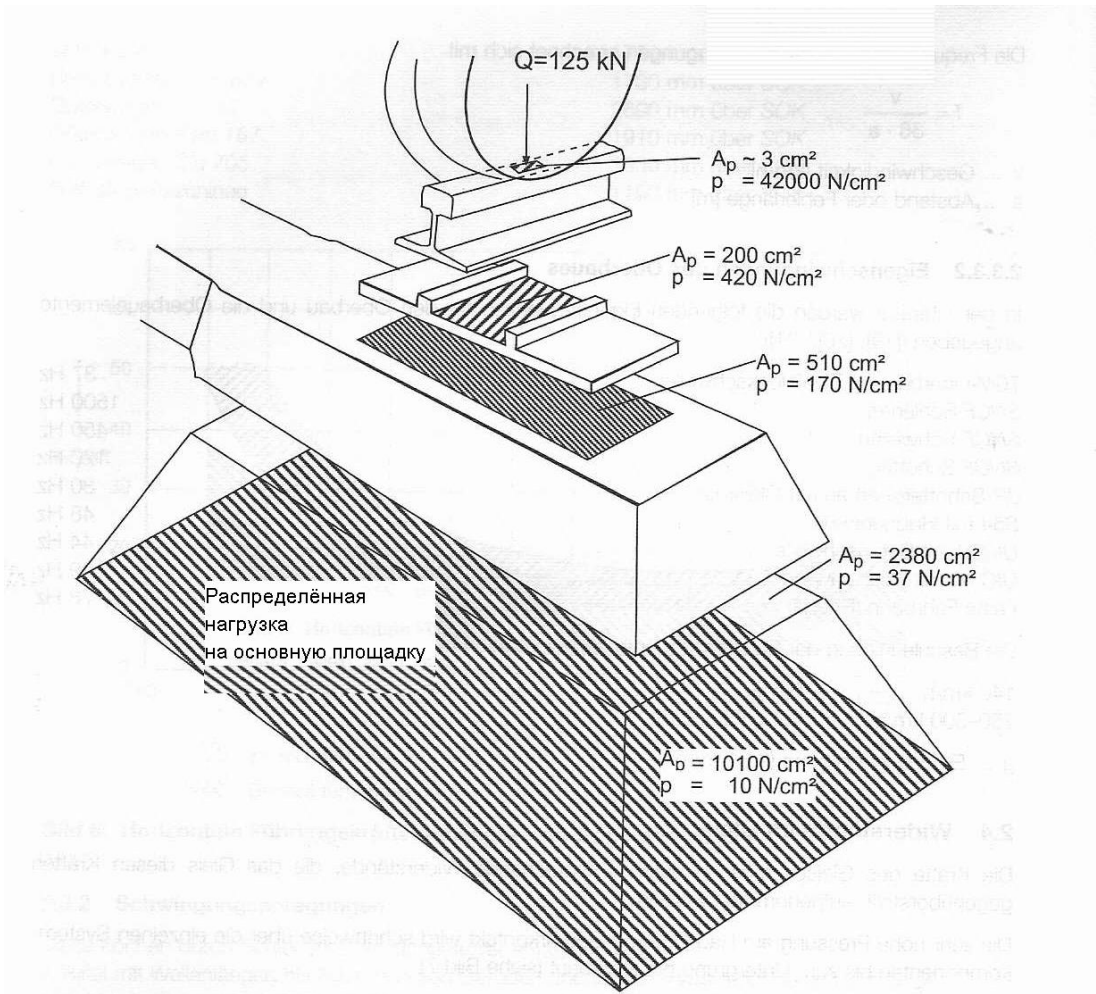


Рисунок 2.4 - Розподіл тиску від осьового навантаження Q через компоненти колії

Розподіл навантаження від колеса до земляного полотна

На рис 2.5 схематично показано розподіл навантаження від колеса до земляного полотна. На малюнку показано, що тиск від шпали на щебінь уже на глибині, що дорівнює ширині шпали, знижується вдвічі. На земляне полотно діє лише близько 30% тиску.

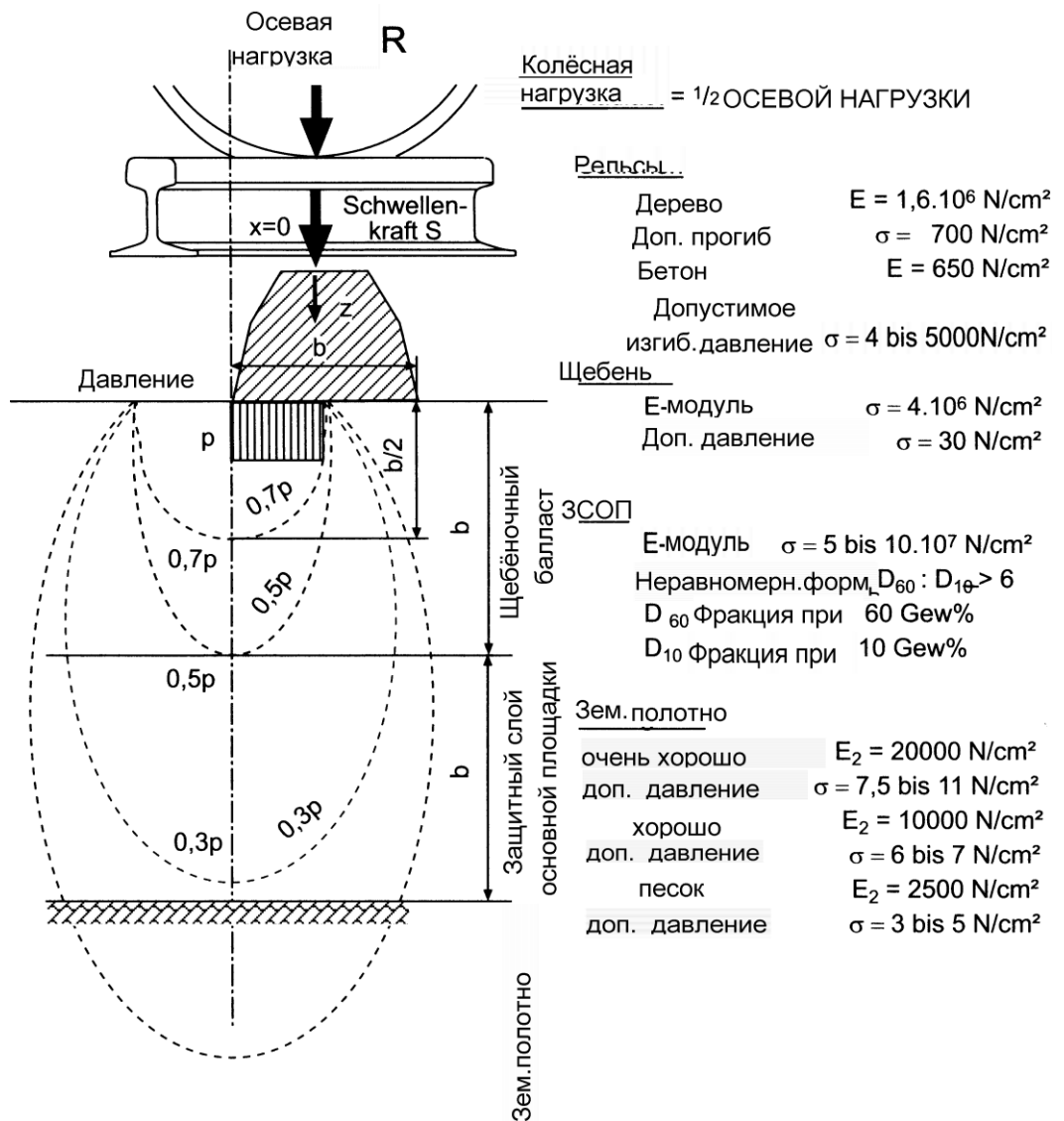


Рисунок 2.5 Розподіл навантаження від колеса в нижній будові колії

Розрахунок колії

У 1867 році Вінклер використав модель еластично навантаженої балки для розрахунку колії на міцність ([31], [32], [33]). У 1888 Циммерман увів на основі моделі Вінклера розрахунок верхньої будови колії, що застосовувався тривалий час і переважно для статичних навантажень. У 1915 Тимошенко показав, що дискретне положення поперечних шпал може бути адекватно замінено безперервною опорою.

Розрахунок рейок

Для розрахунку колії за теорією Циммермана[34], [35], [36] поверхні навантаження поперечних шпал замінюють довгими балками (рис. 2.9). Новий

метод розрахунку DB AG [37] ставить за мету визначення напружень у голівці та підшві рейки.

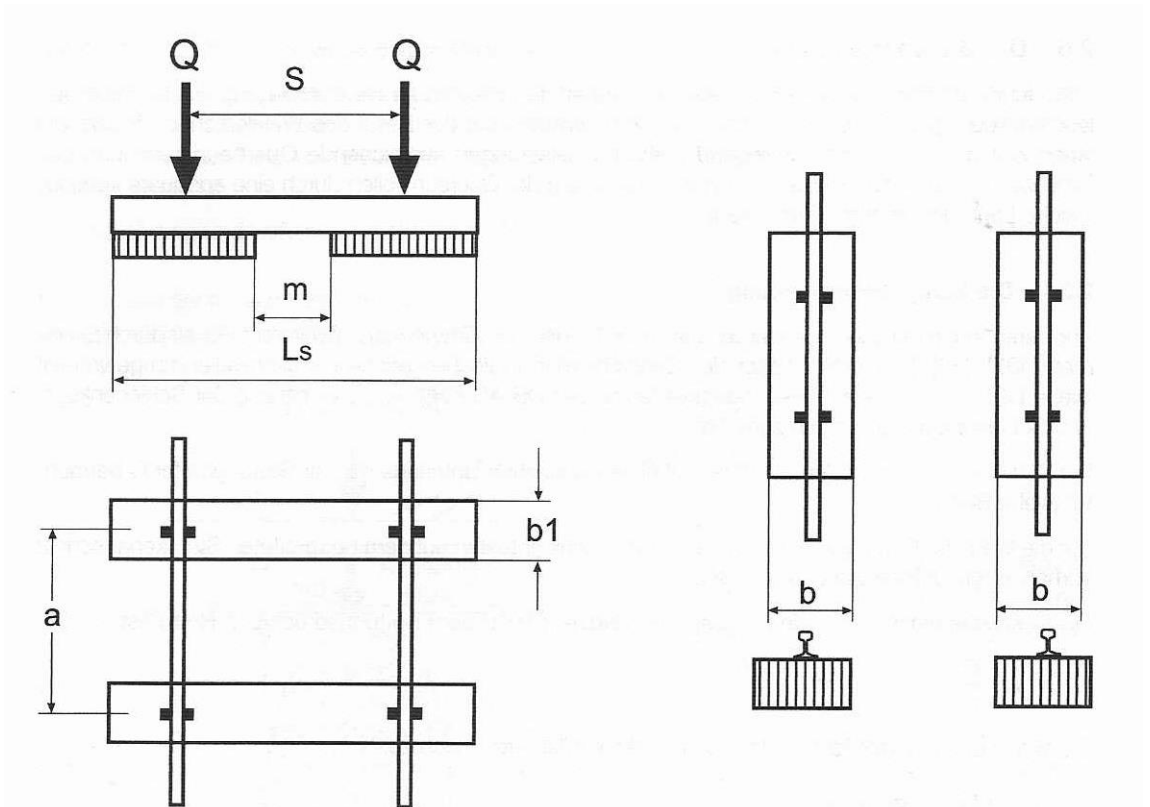


Рисунок 2.6 - Заміна поперечних шпал поздовжніми опорами

Рейки розглядаються як довгі балки на еластичній основі з коефіцієнтом постелі C (рис. 2.7).

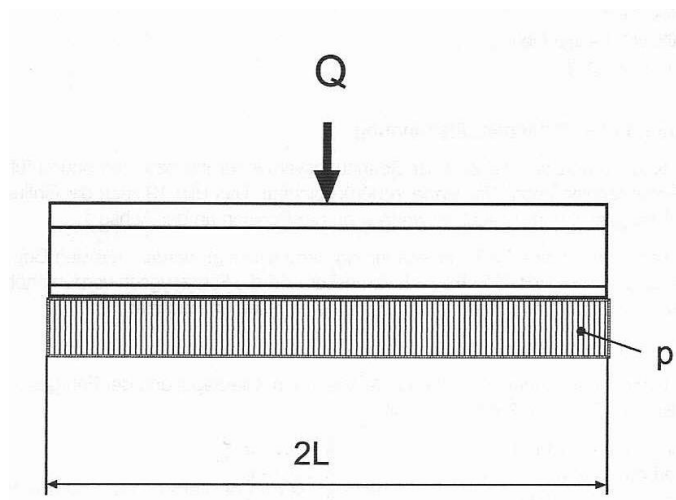


Рисунок 2.7 - Рейка як еластично встановлена балка

Вибір коефіцієнта постелі C : необхідно приймати найгірше значення на охоплюваній ділянці.

Еластичний прогин (y см) під навантаженням від колеса Q і тиском баласту p (y N/cm²)

$$y = \frac{C}{p}$$

Фиктивна довжина L (в см):

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot C}}$$

- де E ... Модуль еластичності [N/cm²]
 I ... момент інерції рейки [cm⁴]
 C ... коефіцієнт постелі [N/cm³]
 b ... ширина фіктивних балок [см]
 p ... тиск баласта [N/cm²]

Розрахунок напруження підшови рейки

Вплив сусідніх осей, який може призводити до зниження (або зростання) напружень, за Циммерманом враховується як коефіцієнти. На рис 2.8 показано лінії впливу для тривісного візка і коефіцієнт μ_i від положення осі 1.

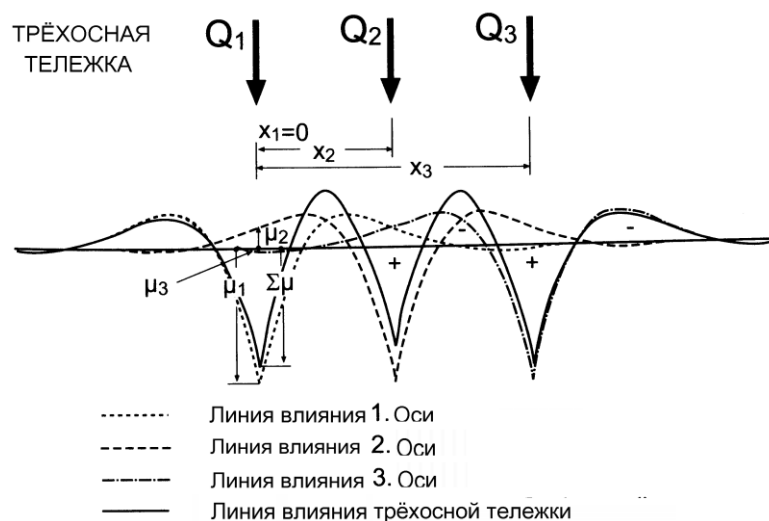


Рисунок 2.8 - Лінія впливу для крутного моменту M тривісного візка M

Поряд із колісним навантаженням Q необхідно також враховувати перерозподіл навантаження між колесами осі, перебіг кривих, піднесення, швидкість, радіус кривої та положення центру ваги рухомої одиниці. Збільшення становить близько 10 - 20% від діючого колісного навантаження.

Вплив від стану верхньої будови колії (зношення, напруження, положення колії) та встановлена швидкість враховуються коефіцієнтом \bar{s} . Для $\bar{s} = n \cdot \varphi$ маємо:

дуже хороший стан верхньої будови колії $\bar{s} = 0,1 \cdot \varphi$

хорошийее стан $\bar{s} = 0,2 \cdot \varphi$

погане $\bar{s} = 0,3 \cdot \varphi$

Для фактора n також задають :

SFS и *HAS* $n = 0,15$

NFS и *S-Bahn* $n = 0,15$

головні колії першого і другого порядків: $n = 0,20$

інші колії $n = 0,25$

SFS ... швидкісні ділянки;

HAS ... головні обхідні колії;

NFS ... другорядні обхідні колії.

Фактором φ враховується вплив встановленої швидкості:

$v \leq 60 \text{ km/h}$ $\varphi = 1,0$

$60 < v \leq 300 \text{ km/h}$ (*Reisezüge*) $\varphi = 1,0 + 0,5 \cdot \frac{v - 60}{190}$

$60 < v \leq 140 \text{ km/h}$ (*Güterzüge*) $\varphi = 1,0 + 0,5 \cdot \frac{v - 60}{80}$

Так розраховують для еквівалентних осьових навантажень (для статичного осьового навантаження 225 kN) між 250 и 310 kN (рисунок 2.9).

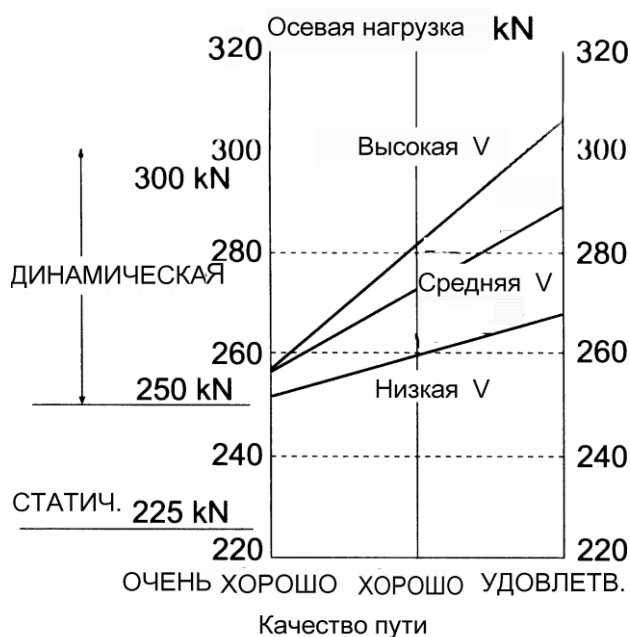


Рисунок 2.9 - Осьове навантаження - статично / динамічно

Визначається максимальний момент у рейці в [Нсм]

$$M_{\max} = \frac{Q \cdot L}{4}$$

Визначаємо напругу в підшві рейки (99,7% ймовірність) в [N/cm²]

$$\sigma_{\max F_{ul\delta}} = \frac{M_{\max}}{W} \cdot (1 + 3 \cdot \bar{s}) \cdot \sum_i \mu_i$$

У таблиці 2.6 показано коефіцієнти впливу за Циммерманом. Сусідні осі враховують одну за одною від осі, що знаходиться на прийнятому місці розрізу, і з таблиці визначають відповідні величини ξ і μ залежно від відстані x . Ці μ -величини складають. Утворюють для кожної позиції осі.

Розраховують ξ

$$\xi = \frac{x}{L}$$

где L – довжина, що характеризується

Максимальне згинальне напруження в підшві рейки має бути меншим за тривало, гранично допустиме.

Таблиця 2.6 - Фактори впливу по Циммерману

ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ
0,0	1,0000	1,7	-0,2047	3,4	-0,02374	5,1	0,00795
0,1	0,8100	1,8	-0,1985	3,5	-0,01769	5,2	0,00746
0,2	0,6398	1,9	-0,1899	3,6	-0,01241	5,3	0,00692
0,3	0,4888	2,0	-0,1794	3,7	-0,00787	5,4	0,00636
0,4	0,3564	2,1	-0,1675	3,8	-0,00401	5,5	0,00578
0,5	0,2415	2,2	-0,1548	3,9	-0,00077	5,6	0,00520
0,6	0,1431	2,3	-0,1416	4,0	0,00189	5,7	0,00464
0,7	0,0599	2,4	-0,1282	4,1	0,00403	5,8	0,00409
0,8	-0,0093	2,5	-0,1149	4,2	0,00572	5,9	0,00356
0,9	-0,0657	2,6	-0,1019	4,3	0,00699	6,0	0,00307
1,0	-0,1108	2,7	-0,0895	4,4	0,00791	6,1	0,00261
1,1	-0,1457	2,8	-0,0777	4,5	0,00852	6,2	0,00219
1,2	-0,1716	2,9	-0,0666	4,6	0,00886	6,3	0,00181
1,3	-0,1897	3,0	-0,0563	4,7	0,00898	6,4	0,00146
1,4	-0,2011	3,1	-0,04688	4,8	0,00892	6,5	0,00115
1,5	-0,2068	3,2	-0,03831	4,9	0,00870	6,6	0,00087
1,6	-0,2077	3,3	-0,03060	5,0	0,00837	6,7	0,00063

Можна μ -величини розрахувати за Циммерманом за наступною формулою :

$$\mu = e^{-\xi} \cdot (\cos \xi - \sin \xi)$$

У таблиці 2.7 - наведено допустимі тривало діючі згинальні напруження для різних рейкових сталей.

Таблиця 2.7 - Допустимі напруження в середині підшоши

Межа міцності при розтягуванні Рейкова сталь [N/мм ²]	Безстикова колія [N/мм ²]		Ланкова колія [N/мм ²]	
	Кородований	Новий	Кородований	новий
700	180	245	190	280
900 (S49/54)	190	282	200	320
900 (UIC60)	200	282	210	320

У таблиці 2.8 наведено моменти опору та інерції для різних типів рейок.

напругою на зріз (Querdehnung 65% σ_{Bruch}) отримують допустиме осьове навантаження залежно від міцності на розрив, а також від радіуса колеса:

$$zul\ Q = 8,257 \cdot 10^{-7} \cdot r \cdot \left(\frac{\sigma_{Bruch}}{v} \right)^2 \quad [kN]$$

$$zul\ r = 1,211 \cdot 10^6 \cdot Q \cdot \left(\frac{\sigma_{Bruch}}{v} \right)^2 \quad [mm]$$

Це відношення підходить при виміряному радіусі від 300 мм до 600 мм [1].

Таблиця 2.8 - Максимальні осьові навантаження в робочому положенні без контрольного пристрою

Диаметр по колу катання D [мм] d	Максимальне осьове навантаження [kN]	
	Рейки з $\sigma_{Bruch} = 880 [N/mm^2]^{1)}$	Рейки з $\sigma_{Bruch} = 680 [N/mm^2]^{2)}$
$\varnothing \geq 920$	243	145
$920 > \varnothing \geq 840$	222	136
$840 > \varnothing \geq 760$	201	120
$760 > \varnothing \geq 680$	179	107
$680 > \varnothing \geq 630$	167	99
$630 > \varnothing \geq 550$	146	89
$550 > \varnothing \geq 470$	124	74
$470 > \varnothing \geq 390$	103	62
$390 > \varnothing \geq 330$	87	52
D... Диаметр по колу катання d... Мінімальний діаметр колеса ¹⁾ відповідає, наприклад, рейці <i>UIC 60, S54, S49</i> (880 N/мм ²) ²⁾ відповідає, наприклад, рейці <i>S49</i> (680 N/мм ²)		

На рис. 2.10 представлено максимальні осьові навантаження залежно від діаметра колеса, які трапляються під час роботи колійних машин (рідкісні фактори).

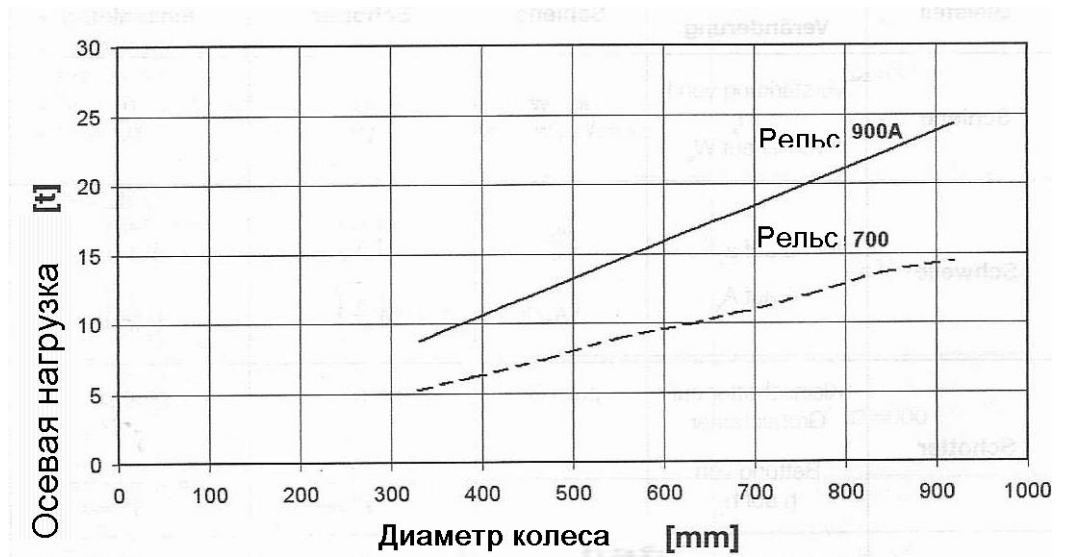


Рисунок 2.10 - Максимальні осьові навантаження під час роботи колійних машин

3 ВИМОГИ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА ДО РЕЙОК У ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ

Для залізниці рейки є одночасно дорогою, носіями навантаження і напрямними елементами. До них висувуються підвищені вимоги: як статичні, так і динамічні. На високонавантажених ділянках впливають осьові навантаження до 35т. У сучасному високошвидкісному русі сьогодні використовують швидкості до 350 км/год у регулярному сполученні. Залежно від топографічних умов, рейки укладають у кривих із радіусом до 300 м, при цьому рейки піддаються високим бічним навантаженням. Для того, щоб рейки відповідали цим високим і різнобічним навантаженням, вони повинні задовольняти таким вимогам:

- Високий опір зносу,
- Високий опір проти вдавлювань,
- Висока втомна міцність,
- Високі межі міцності на розтягнення і твердість,
- Висока міцність на злам,
- Хороша зварюваність,
- Високий рівень чистоти поверхні,
- Хороша якість верхньої поверхні,
- Рівність і правильний профіль,
- Низькі власні напруги після виготовлення.

Сили в поздовжньому напрямку шляху

Опір поздовжньому зсуву описує здатність рейкошпальної решітки протистояти поздовжнім навантаженням, що виникають, без супутніх залишкових зсувів колії. Поздовжні сили можуть виникати механічно від поїзда, що проїжджає, а так само термічно (від зміни температури).

Статичний контроль твердості

Під час контролю твердості, контрольний штифт вдавлюється у випробуваний зразок. За глибиною вдавнення визначають ступінь твердості.

Die Härte des Materials ist von der Festigkeit und dem Streckgrenzverhältnis abhängig.

Твердість за Брінелем

Для вимірювання твердості за Брінелем застосовують поліровану кульку з твердого сплаву фіксованої маси. На підставі сили і глибини вм'ятини, що залишилася, визначають твердість за Брінелем HBW (engl.: Brinell hardness BHN).

$$HBW = 0,102 * F / A$$

F ... Сила [N]

A ... Глибина вм'ятини [мм]

Твердість за Вікерсом

Для вимірювання твердості за Вікерсом застосовують рівний, чотиригранний алмаз із кутом 136°.

$$HV = 0,102 * F / A_c$$

$$A = d^2 / 1,854$$

Для зв'язку між міцністю на розрив і твердістю за Брінелем (або Вікерсом) застосовують :

$$R_m \sim 3,21 * HV$$

$$R_m \sim 3,38 * HBW$$

Взаємозалежність між твердістю за Брінелем і Вікерсом:

$$HBW \sim 0,95 * HV$$

Приклад:

Виміряно 370 HBW на рейці із загартованою головкою. Тоді

$$R_m \sim 3,38 * 370 = 1250 \text{ N/мм}^2$$

Для твердості за Вікерсом:

$$HV \sim HBW / 0,95 = 389 HV$$

Твердість за Реквеллом

Твердість за Рьоквеллом визначають виходячи з глибини проникнення контрольного штифта. Розрізняють пробу "Реквелл В", за якої контрольним штифтом є сталеві кулі, і "Реквелл-С", за якої застосовують як контрольний штифт застосовують конус. Величина твердості відома одразу-ж після виміру. Перевагою методу є малий час вимірювання, недоліком - низька точність.

Діаграма розтягування-стиснення

Проба на розтягнення - це класичний дослід для визначення механічних властивостей металів і неметалів і належить до методів статичного вимірювання міцності. При цьому зразок розтягують із плавним зростанням зусилля, без коливань і поштовхів. Контрольний зразок розтягують доти, доки не відбудеться розрив.

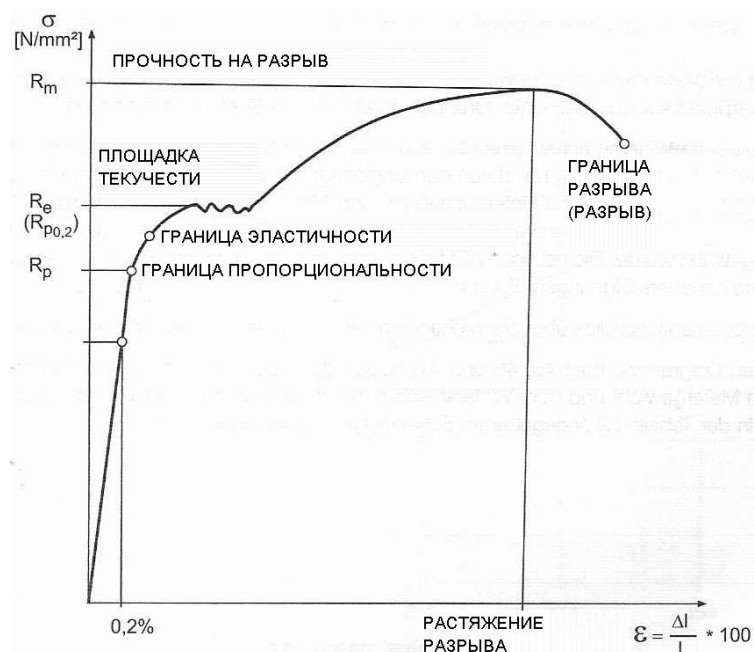


Рисунок 3.1 - Схематичне представлення діаграми: напруження-розтягнення.

4 ВИМОГИ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА ДО РЕЙОК В УКРАЇНІ

Рейки (від мн. ч. англ. rails - від лат. regula - пряма палиця) - сталеві балки спеціального перерізу, що вкладаються на шпалах або інших опорах для утворення колії, якою переміщається рухомий склад залізничного транспорту[1], міських залізниць, спеціалізований склад у шахтах, кар'єрах, кранове устаткування і так далі.

Крім того, полегшені рейки використовуються в кінематографі для пересування операторських візків. Винайдені стародавніми римлянами, початкова ширина між ними становила 143,5 см. Рейки слугують для направлення коліс під час їхнього руху, безпосередньо сприймають і пружно передають тиск від коліс на нижчі елементи верхньої будови колії. На ділянках з електричною тягою рейки служать провідниками зворотного силового струму, а на ділянках з автоблокуванням - провідниками сигнального струму.

Рейки для залізничного транспорту виготовляються з вуглецевої сталі. Якість рейкової сталі визначається її хімічним складом, мікроструктурою і макроструктурою.

Вуглець підвищує твердість і зносостійкість сталі. Однак великий вміст вуглецю, за інших рівних умов, робить сталь крихкою, хімічний склад при підвищенні вмісту вуглецю повинен витримуватися більш жорстко, особливо щодо шкідливих домішок. Легувальні добавки типу марганцю підвищують твердість, зносостійкість і в'язкість сталі. Кремній збільшує твердість і зносостійкість. Миш'як збільшує твердість і зносостійкість сталі, але у великих кількостях зменшує ударну в'язкість. Ванадій, титан, цирконій - мікролегувальні добавки, покращують структуру і якість сталі.

Фосфор і сірка є шкідливими домішками, що підвищують крихкість сталі. Великий вміст фосфору робить рейки холодноламкими, великий вміст сірки - червоноламкими (утворюються тріщини під час прокату).

Мікроструктура рейкової сталі являє собою пластинчастий перліт із прожилками фериту на кордонах перлітових зерен. Твердість, опір зносу і в'язкість досягається наданням сталі однорідної сорбітної структури за

допомогою термічної обробки шляхом поверхневого (на 8-10 мм) загартування головки або об'ємного загартування рейки. Об'ємнозагартовані рейки мають підвищену зносостійкість і довговічність. Макроструктура рейкової сталі має бути дрібнозернистою, однорідною, без порожот, неоднорідностей і сторонніх включень.

Форма рейок змінювалася з часом. Існували куткові, грибоподібні, двоголові, широкопідшовні рейки. Сучасні широкопідшовні рейки складаються з головки, підшови та шийки, що з'єднує головку з підшовою. Поверхня катання робиться опуклою для передачі тиску коліс по вертикальній осі рейки. Сполучення поверхні катання з бічними (вертикальними) гранями головки робиться за кривою радіусом, близьким до радіуса викружки гребеня колеса. Сполучення головки і підшови з шийкою рейки робиться особливо плавним, а шийка рейки має криволінійні обриси, що забезпечує найменшу концентрацію місцевих напружень. Підшові рейки надають достатньої ширини для забезпечення бічної стійкості рейки і достатньої площі опори для кріпильних накладок.

Довжина стандартної залізничної рейки, виробленої рейкопркатними заводами, становить 12,5; 25,0; 50,0 і 100 метрів. Для укладання на внутрішніх нитках кривих ділянок колії випускаються укорочені рейки. Довжина безстиківих батогів ("оксамитовий шлях") зазвичай перебуває в межах від 400 м до довжини перегону. Використання довших рейок і зварних рейкових батогів знижує опір руху поїздів, зменшує знос рухомого складу і витрати на утримання колії. При переході на безстикову колію опір руху поїздів зменшується на 5-7 %, економиться близько чотирьох тонн металу на кілометр колії за рахунок відсутності стикових скріплень.

Основною характеристикою рейки, що дає уявлення про її "потужність", є маса одного погонного метра рейки в кілограмах. При виборі типу рейки враховується вантажна напруженість лінії, осьове навантаження, швидкість руху поїздів. Важча рейка розподіляє тиск коліс рухомого складу на більшу кількість шпал, унаслідок чого сповільнюється їхнє механічне зношування, зменшується стирання та подрібнення частинок баласту. У разі збільшення маси рейок

зменшується витрата металу на одиницю пропущеного тоннажу, скорочуються витрати на заміну рейок через збільшення терміну їхньої служби.

В Україні виробництво залізничних рейок, призначених для ланкового і безстиктового шляху залізниць і для виробництва стрілочних переводів, регламентується.

- Рейки залізничні поділяють:
- **по типам:**
 - Р50; 1 м = 50 кг
 - Р65; 1 м = 65 кг
 - UIC60; 1 м = 60 кг
- **по категоріям якості:**
 - В — рейки термозміцнені вищої якості;
 - Т1, Т2 — рейки термозміцнені;
 - А - ваго стійкі;
 - Н — рейки нетермозміцнені;
- **за наявністю болтових отворів:**
 - з отворами на обох кінцях;
 - без отворів;
- **за способом виплавки сталі:**
 - М — з мартенівської сталі,
 - К — з конвертерної сталі;
 - Э — з електросталі;
- **за видом вихідних заготовок:**
 - з слитків;
 - з безперервно-литих заготовок (НЛЗ);
- **за способом протифлокенної обробки:**
 - - з вакуумованої сталі;
 - - ті, що пройшли контрольоване охолодження;
 - - ті, що пройшли ізотермічну витримку.

Конструкція та розміри

Форма й основні (контрольовані) розміри поперечного перерізу рейок повинні відповідати наведеним на малюнку 4.1 і в таблиці 1. Допустимі відхилення контрольованих розмірів і форми поперечного перерізу рейок повинні відповідати значенням, зазначеним у таблиці 2.

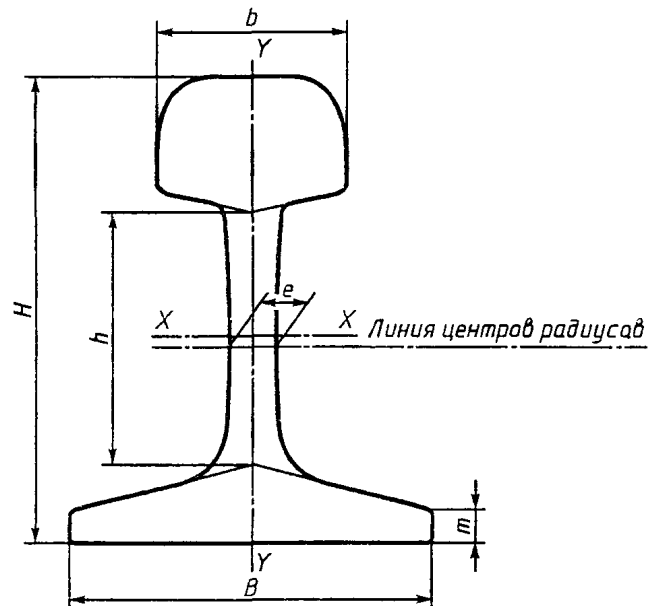


Рисунок 4.1 - Основні розміри поперечного перерізу рейки

Таблиця 4.1 - Значення розміру для типу рейки

Найменування розміра поперечного перерізу	Значення розміру для типу рейки			
	P50	P65	P65K	P75
Висота рейки H	152	180	181	192
Висота шейки h	83	105	105	104,4
Ширина головки b	72	75	75	75
Ширина підшви B	132	150	150	150
Товщина шейки e	16	18	18	20
Висота пера m	10,5	11,2	11,2	13,5

Таблиця 4.2 - Допустиме відхилення розміру і форми поперечного перерізу для типу і категорії рейки

Найменування показаника	Допустиме відхилення розміру і форми поперечного перерізу для типу і категорії рейки		
	P50	P65, P75	P65K

	В	T1, T2, Н	В	T1, T2, Н	В	T1, T2, Н
Ширина головки b	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$
Ширина підшви B	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$+ 1,0$ $- 1,5$	$\pm 0,8$	$+ 1,0$ $- 2,0$
Товщина шейки e	$\pm 0,4$	$+ 0,8$ $- 0,5$	$\pm 0,4$	$+ 0,8$ $- 0,5$	$\pm 0,4$	$+ 0,8$ $- 0,5$
Висота рейки H	$+ 0,6$ $- 0,5$	$+ 0,8$ $- 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$	$\pm 0,6$	$+ 1,3$ $- 1,0$
Висота пера t	$\pm 0,5$	$+ 1,0$ $- 0,5$	$\pm 0,5$	$+ 1,0$ $- 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
Висота шейки рейки h	$+ 0,3$ $- 0,5$	$+ 0,3$ $- 0,7$				
Відхилення форми поверхні катання головки від номінальної (за віссю симетрії)	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	Не нормується	
Опуклість підшви (рівномірна)	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5
Увігнутість підшви	Не допускається					
Відхилення профілю від симетричності (асиметричність)	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$	$\pm 1,3$	$\pm 1,0$	$\pm 1,3$

Розміри рейок, що використовуються для побудови прокатних калібрів і не контролюються на готових рейках, встановлені в додатку А.

Розташування, кількість і діаметр болтових отворів у шийці на кінцях рейок повинні відповідати наведеним на рис 4.2 і в таблиці 4.3.

За погодженням сторін рейки можуть бути виготовлені з іншим розташуванням, кількістю і діаметром болтових отворів.

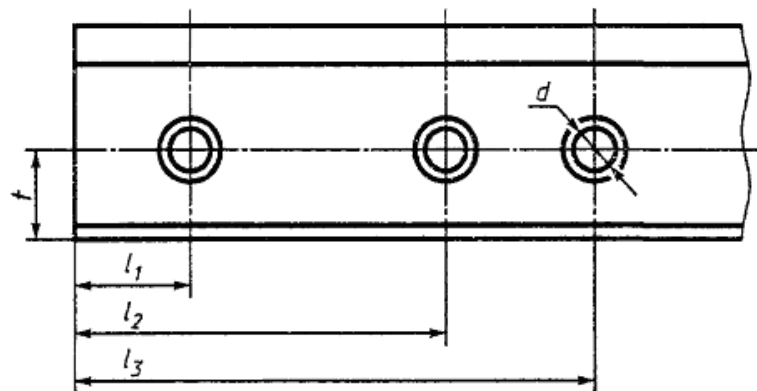


Рисунок 4.2 - Розташування болтових отворів

Таблиця 4.3- Допустиме відхилення для рейки

Тип рейки	Значення розміра					Допустиме відхилення для рейки категорії	
	d	t	l_1	l_2	l_3	B	T1, T2, H
P50	34	68,5	66	216	356	± 0,8	± 1,0
P65, P65K	36	78,5	96	316	446		
P75	36	80,4	96	316	446		

Примітка - Розмір t наведено для налаштування свердлильних агрегатів; на готових рейках його не контролюють.

Болтові отвори мають бути перпендикулярні до вертикальної поздовжньої площини рейки.

На крайках болтових отворів має бути фаска завширшки від 1,5 до 3,0 мм під кутом близько 45°.

Довжина і допустимі відхилення довжини рейок повинні відповідати наведеним у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Довжина і допустимі відхилення довжини рейок

Довжина рейок, м	Допустимі відхилення довжини рейок, мм, для категорії				Наявність болтових отворів
	B	T1	T2	H	
25,00	± 10	± 20			Без отворів
25,00 24,92 24,84	± 4	± 9	± 15	± 6	З отворами
12,52 12,50 12,46 12,42 12,38		± 7	± 10		

Примітка - Довжина рейок встановлена для умов вимірювання на приймальному стелажі підприємства-виробника.

За погодженням сторін рейки виготовляють іншої довжини.

Косина торців не повинна бути більше, мм:

0,5 - для рейок категорії В;

1,0 - для рейок категорій Т1, Т2 і Н.

Прямолінійність рейок

Стріла прогину рейок у горизонтальній і вертикальній площинах за рівномірної кривизни по всій довжині не повинна перевищувати:

1/2500 довжини рейки категорії В;

1/2200 довжини рейки категорій Т1, Т2 і Н.

Відхилення рейок від прямолінійності за поверхнею катання голівки у вертикальній площині та за бічною границею голівки в горизонтальній площині на базовій довжині 1,5 м під час вимірювання за хордою не повинні відповідно перевищувати, мм:

0,3 і 0,5 - для рейки категорії В;

0,6 і 0,8 - для рейки категорій Т1, Т2 і Н.

Відхилення кінців рейок від прямолінійності у вертикальній і горизонтальній площинах на базовій довжині 1,5 м не повинні перевищувати значень, зазначених у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Відхилення кінців рейок від прямолінійності

Напрямок відхилення (метод вимірювання)	Відхилення від прямолінійності рейки, мм, не більше, для категорії			
	В	Т1	Т2	Н
Вверх (по хорді)	0,5	0,7	0,8	0,8
Вниз (по касательній)	Не допускається	0,2	0,2	0,2
По горизонталі (по хорді)	0,5	0,5	1,0	0,5

Поверхня торців рейок має бути без рванін, слідів усадки у вигляді розшарувань і тріщин. Задирки і напливи металу на крайках торців повинні бути видалені.

Допускається на крайках торців рейок знімати фаски шириною, мм:

до 3 - по контуру головки і шийки;

до 5 - по контуру підшви.

На термозміцнених рейках з болтовими отворами зняття фаски по верхній і нижній крайках головки на торцях рейок обов'язкове.

Поверхня болтових отворів має бути без рванін, задирів, гвинтових слідів від свердління і слідів усадки у вигляді розшарувань і тріщин.

Механічні властивості рейок під час випробування на розтягнення та ударний вигин повинні відповідати нормам, зазначеним у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Механічні властивості рейок

Категорія рейки	Тимчасовий опір, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Межа текучості, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ² (кгс·м/см ²)
	не менше				
В	1290 (132)	850 (87)	12,0	35,0	15 (1,5)
T1	1180 (120)	800 (82)	8,0	25,0	25 (2,5)
T2	1100 (112)	750 (76)	6,0	25,0	15 (1,5)
Н	900 (92)	-	5,0	-	-

Твердість термозміцнених рейок повинна відповідати нормам, зазначеним у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Твердість рейки для категорії

Місце визначення твердості	Твердість рейки для категорії		
	В	T1	T2
На поверхні катання головки	363 - 401	341 - 401	321 - 401
На глибині 10 мм від поверхні катання головки	Не менше 341	Не менше 341	Не менше 321
На глибині 22 мм від поверхні катання головки		Не менше 321	Не менше 300
У шийці та підшві	Не більше 388		

Різниця значень твердості на поверхні катання однієї рейки не повинна перевищувати 30 НВ.

У термозміцнених рейках не допускаються залишкові напруження, що призводять до розбіжності паза на торці проби, мм, більше:

2,0 - для рейок категорії В;

2,5 - для рейок категорії T1;

3,0 - для рейок категорії T2.

Мікроструктура металу головки термозміцнених рейок повинна являти собою дрібнодисперсний пластинчастий перліт (троостосорбіт або сорбіт гарту). Допускаються дрібні розрізнені ділянки фериту.

На вимогу споживача поверхню головки рейок категорії H на кінцях піддають термозміцненню.

5 АДАПТАЦІЯ ВИМОГ ДО ГЕОМЕТРІЇ КОЛІЇ ТА РЕЙОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ ДО НОРМ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Технічні специфікації на сумісність (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти, які повинні виконуватися кожною підсистемою або частиною підсистеми для задоволення основних вимог і забезпечення сумісності залізничної системи Європейського Союзу.

Директива (ЄС) 2016/797 визначає підсистеми, структурні або функціональні, що входять до складу залізничної системи Європейського Союзу.

TSI класифікуються в основному за типом лінії:

- навантаження на вісь,
- швидкість лінії,
- довжина поїзда
- корисна довжина платформи.

Стовпці для "навантаження на вісь" мають розглядатися як мінімальні вимоги, оскільки вони безпосередньо відповідають поїздам, які можуть працювати.

Таблиця 5.1 – Параметри для вантажних ліній Євросоюзу

Лінія	Категорія	Навантаження на вісь (т)	Швидкість (км/год)	Довжина поїзда (м)
F1	GC	22.5	110-120	740-1050
F2	GB	22.5	110-120	600-1050
F3	GA	20	60-120	500-1050
F4	G1	18	n.a	n.a
F1520	S	25	50-120	1050
F1600	IRL1	22.5	50-120	150-450

Як видно з таблиці 5.1 для колії (F1520) осьове навантаження - 25 т.

В Україні осьове навантаження становить 22,5 т.

Проведемо розрахунки і спробуємо адаптувати осьове навантаження на колії шириною 1520 мм на залізницях України.

Основними завданнями практичних інженерних розрахунків колії на міцність є:

- визначення динамічного прогину рейки під впливом динамічного поїзного навантаження;

- визначення внутрішніх силових факторів і напружень, що виникають у головних конструкціях верхньої будови колії: згинальних моментів і поперечних сил у рейках, сил тиску рейок на опори і шпал на баласт;

- визначення напружень від вигину і крутіння в рейках, стискальних напружень у шпалах під підкладкою, напружень стиснення в баласті під шпалами і напружень стиснення на основній площадці земляного полотна під баластом;

- визначення умов дотримання допустимої міцності в елементах верхньої будови колії під впливом на них поїзного навантаження (ЦП-117).

У нашому випадку необхідно розглянути напруження в подошві та голівці рейки.

5.1 Визначення динамічного навантаження від одиночного колеса на рейку

За розрахункове динамічне навантаження приймається максимальне можливе значення від сукупності впливу постійної статичної та змінних динамічних сил:

$$P_{розр} = P_{max}^{im} = \bar{P} + \lambda_{\phi} \cdot S ,$$

Результати натурних випробувань різних типів рухомого складу засвідчили, що розподіл середнього квадратичного відхилення динамічного вертикального навантаження колеса на рейку підпорядковується закону Гауса.

Багаторічний досвід розрахунків верхньої будови колії на міцність підтверджує правильність вибору прийнятої в попередній редакції "Правил" імовірності виникнення, що дорівнює 0,994 (тобто з 1000 випадків проходження колеса в розрахунковому перерізі тільки в 6 випадках можливе перевищення). Тому в

даній редакції "Правил" зберігається саме ця ймовірність 0,994, при цьому нормувальний множник береться рівним $= 2,5$.

Середнє значення динамічного навантаження визначається за формулою:

$$\bar{P} = P_{cm} + \bar{P}_p$$

где P_{cm} - статичний тиск колеса на рейку (береться з паспортних даних рухомого складу);

- \bar{P}_p середнє значення сили інерції, що викликається коливаннями надресорної частини екіпажу;

Умовно приймається, що середнє значення цієї сили інерції становить три чверті від максимального значення:

$$\bar{P}_p = 0,75P_p^{\max} ,$$

Максимальне динамічне навантаження колеса на рейку від вертикальних коливань надресорної частини екіпажу визначається одним із таких способів.

Динамічне навантаження від колеса на рейку з використанням емпіричних залежностей динамічних прогинів ресорного підвішування від швидкостей руху визначається за формулою

$$P_p^{\max} = \mathcal{J}_p Z_{\max}$$

где - \mathcal{J}_p жорсткість ресорного підвішування візка, приведена до одного колеса;

- Z_{\max} максимальний динамічний прогин ресор.

Значення для різних типів рухомого складу наведено в таблиці технічних характеристик рухомого складу (у табл. Значення для різних типів рухомого складу наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Прогини ресорної підвіски

Тип рухомого складу	Z_{\max} , м
Електровоз ВЛ 8	$10,9 \cdot 10^{-3} + 9,6 \cdot 10^{-3} \cdot V^2$
Тепловози ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭЗ, 2ТЭ10Л, ТЭП60, 2ТЭ116	$7,9 \cdot 10^{-3} + 8,0 \cdot 10^{-3} \cdot V^2$
Вантажні вагони:	$9,5 \cdot 10^{-3} + 9,0 \cdot 10^{-3} \cdot V^2$
8-вісні с базой візка 3200 мм	$10,0 \cdot 10^{-3} + 16 \cdot 10^{-3} \cdot V^2$
4- вісні на візках ЦНИИ-ХЗ	$15 \cdot 10^{-3}$
Маневрові тепловози, колійні машини	

5.2 Визначення напружень і деформацій в елементах верхньої будови колії

Під час практичних розрахунків колії на міцність визначають: напруження від вигину й кручення в рейках (у голівці стгол і підшві стід); стискальні напруження в шпалах під підкладкою стш; напруження стиску в баласті під шпалами стБ та напруження стиску на основній площадці земляного полотна під баластом стh.

Напруження в зоні контакту колеса і рейки (місцеві контактні напруження) у практичних розрахунках не визначають (їх розраховують за окремою методикою, які враховують під час проектування профілю рейки та вибору матеріалу для її виготовлення). Не визначаються в практичних розрахунках і напруження вигину та шпал, які також розраховуються за окремою методикою під час проектування шпал.

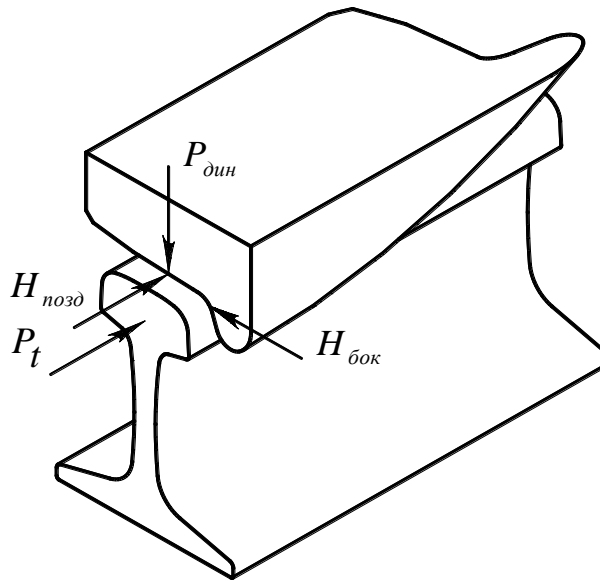


Рисунок 5.1– Схема сил, що діють на рейку

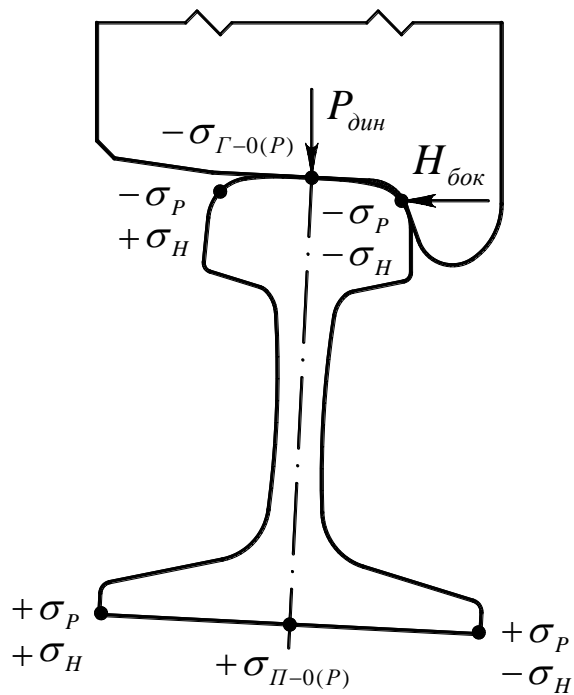


Рисунок 5.2 – Схема розмежування напружень у рейці від дії сил розмежування напружень у рейці $P_{дин}$ и $H_{бок}$

Відповідно до схеми сил, що діють на рейку (мал.), найбільші напруження під час вигину рейки у вертикальній і горизонтальній площинах виникають у

найвіддаленіших точках від центральних (вертикальної та горизонтальної) осей поперечного перерізу рейки, якими є кромки підшви та голівки рейки. Саме тому в практичних розрахунках визначають напруження в крайках головки $\sigma_{к-х}$ і $\sigma_{к-п}$ (рис.).

Напруження визначаються від впливу згинального моменту у вертикальній площині, дія горизонтальних сил і позацентрове прикладання вертикального навантаження здійснюється введенням спеціальних коефіцієнтів (відповідно до передумов до правил практичних розрахунків колії на міцність).

Напруження (σ) у рейках (за віссю голівки та підшви) від дії згинаючого моменту визначається за формулами:

$$\sigma_{n-o} = \frac{M_{дин}}{W_n}, \quad \sigma_{z-o} = \frac{M_{дин}}{W_z}$$

Напруження (σ) в крайках підшви рейки від вигину і кручення знаходиться за формулою

$$\sigma_{n-к} = f \cdot \sigma_{n-o}$$

Напруження (σ) в крайках голівки рейки від вигину і кручення визначають за формулою:

$$\sigma_{z-к} = m_{z-к} \cdot \sigma_{n-o}$$

Коефіцієнт f враховує дію горизонтальних поперечних сил і позацентрове прикладання вертикального навантаження. Коефіцієнти f розраховані експериментально і знаходяться з довідкових таблиць залежно від типу рухомого складу і плану лінії.

5.3 Допустимі напруження в рейках

Для безстикових плітей, під час розрахунку яких на міцність аналітично враховується вплив температурних напружень, за фізично припустимі напруження в рейках приймають припустимі напруження вигину в рейках під час роботи на витривалість. Приймається = 350 МПа - для незагартованих рейок типів Р50 і Р65, = 380 МПа для загартованих рейок типу Р50 і Р65 = 400 МПа для рейок типів Р60, Р65.

Для ланкової колії безпосередньо розрахунком не враховуються температурні сили і температурні напруження, тому величина допустимого фізичного напруження для рейок ланкової колії знижується відносно прийнятих допустимих напружень для рейок безстикових батогів на величину температурних напружень.

Таким чином допустимі напруження в рейках визначаються за формулами:
для безстикової колії

$$[\sigma_p]_{\text{б.к.}} = \sigma_r$$

для ланкової колії

$$[\sigma_p]_{\text{лр}} = \frac{\sigma_r - \sigma_t}{K_H}$$

Умова міцності ланкової рейкової колії має вигляд

$$\sigma_{\text{к-г}}^{\text{розр}} \leq [\sigma_p]_{\text{лр}}$$

Таблиця 5.3 – Допустимі напруження в рейках до пропуску нормативного тоннажу

1	P50		UIC60, P65	
	н/з	3	н/з	3
2	3	4	5	
Тимчасовий опір σ_v	860	960	900	1180
Умовна межа витривалості під час роботи на згинальні деформації σ_r	350	380	350	400
Допустимі напруження в рейках безстикової колії $[\sigma_p]_{б.к.}$	350	380	350	400
Допустимі напруження в рейках ланкової колії $[\sigma_p]_{л.р.}$ (при $l_{np} \leq 25$ м)	215	240	215	255

5.4 Аналіз напружень в рельсах при нарузке 25 т

Були проведені розрахунки напружень від дії вагона (25 т).

Після розрахунку побудовано графіки:

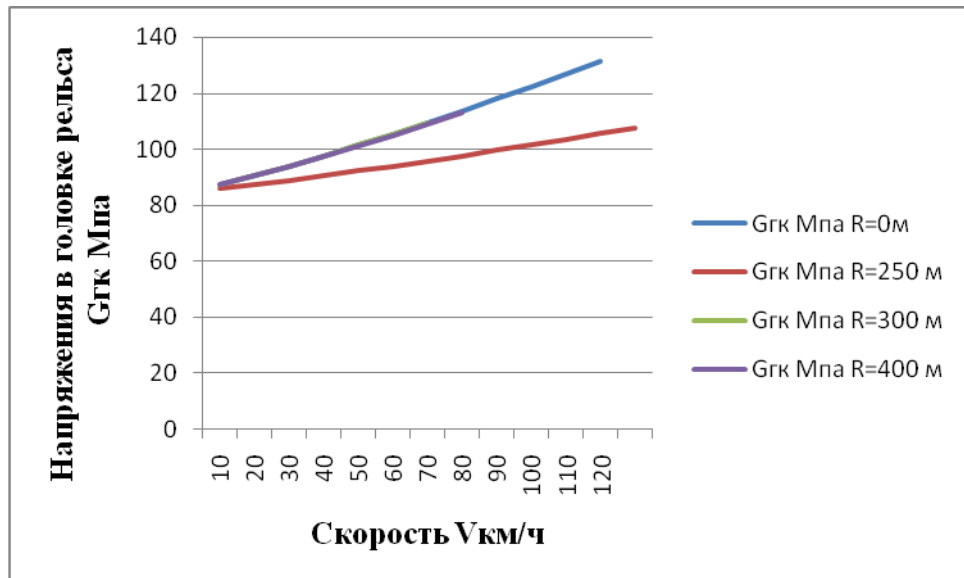


Рисунок 5.3 – Графік залежності напружень у кромці головки рейки від швидкості

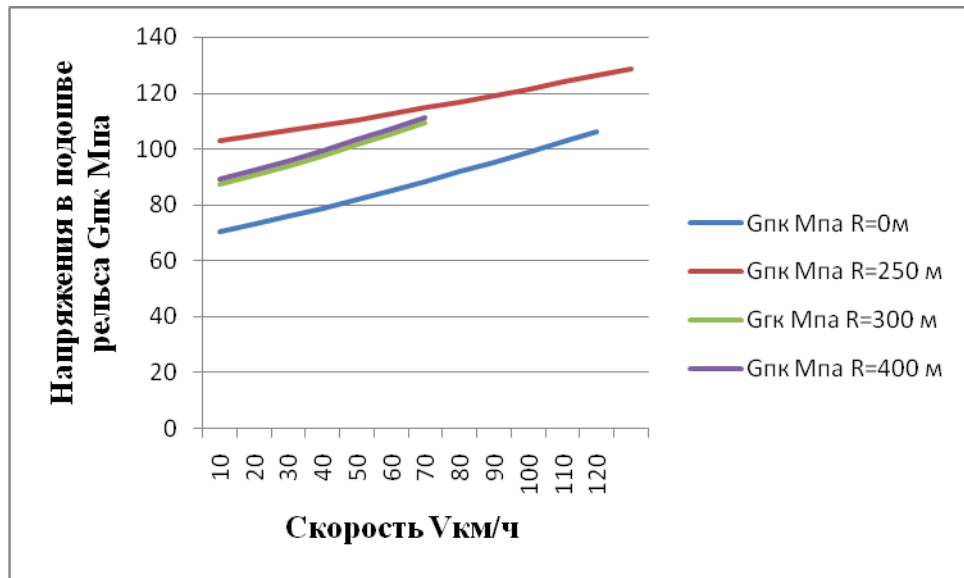


Рисунок 5.4 – Графік залежності напружень у кромці підшви рейки від швидкості

Аналізуючи графіки можна зробити висновок, що напруги від навантаження на вісь у 25 т не перевищують допустимих. Отже, основні вимоги та забезпечення сумісності залізничної системи Європейського Союзу та Українських залізниць забезпечується. Можна в Україні впроваджувати норми Європейського союзу з розглянутого питання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Технічні специфікації на сумісність (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти, які повинні виконуватися кожною підсистемою або частиною підсистеми для задоволення основних вимог і забезпечення сумісності залізничної системи Європейського Союзу.

Для ліній категорій F1 F2 F1600 осьове навантаження становить 22,5 т.

Для ліній категорії F1520 осьове навантаження - 25 т.

В Україні осьове навантаження становить 23,5 т.

Виконавши розрахунки напружень в елементах верхньої будови колії (шпали, баласт, основна площадка земляного полотна) за стандартами України та отримавши їхні значення можна зробити висновок:

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що напруження в рейках залізничної колії за параметрів верхньої будови колії (епюра шпал, товщина баласту $h = 40$ см і $h = 25$ см) від вагона з навантаженням на вісь у 25 т не перевищують допустимих. Отже, основні вимоги та забезпечення сумісності залізничної системи Європейського Союзу та Українських залізниць забезпечується. Можна в Україні впроваджувати норми Європейського союзу з розотреного питання.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Hempelmann, Klaus; Ripke, Burchard; Dietz, Stefan: Modelling the dynamic interaction of wheelset and track, Railway Gazette International 9/1992, p.591-595
2. Braune, Wolfgang: Erschütterungsmerkmale aus Spitzenamplituden, ETR Eisenbahntechnische Rundschau (40) 8/2015, S. 527-533
3. ISO 6892-1:2016 (Steel-Tensile testing)
4. Moser, Alfred; Oswald, Rainer: Herstellung und Einsatz aus der Walzhitze kopfgehärteter Schienen, ETR Eisenbahntechnische Rundschau (40) 1/1991, S. 87-92
5. DIN EN 13230-1-2016 Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 1: General requirements; German version EN 13230-1:2016
6. Fricke, Herbert: Asymmetrische Schienenquerprofile, EI Eisenbahningenieur (36) 9/2009, S. 422-425
7. [Директива \(ЕС\) 2016/797](#)
8. Ершков О.П. Расчеты поперечных горизонтальных сил в кривых. Труды ЦНИИ МПС, вып. 301. М., «Транспорт», 1966.
9. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность. М.: Трансжелдориздат, 1954. 70 с.
10. Вериго М.Ф., Крепкогорский С.С. Общие положения для корректировки Правил расчетов железнодорожного пути на прочность и предложения по изменению этих правил. – Тр. ЦНИИ МПС, 1972, вып. 466, с 4-50.
11. Железнодорожные шпалы для рельсового пути. Под ред. проф. А.Ф. Золотарского. М.: Транспорт, 1980. 270 с.
12. ЦП-01117. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 69 с.
13. Технічні вказівки по правилам вхідного контролю приймання матеріалів верхньої будови колії. – ВНД. – Д.-2004. 72с.

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХОМОГО СКЛАДУ

Розрахункові характеристики локомотивів і вагонів

Тип і серія рухомого складу	$V_{кв}$, км/год	Осьов а форму ла	Статичне наванта ження від колеса на рейку, кН		d , м	$f_{ст}$, мм	l_i , см	J_p , кН/ м
			$P_{ст}$, кН	q , кН				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Електровози постійного струму								
ВЛ8	80	2(2 ₀ - 2 ₀)	115	31,7 0	1,2 0	70,0	320-380-320-270-320-380-320	1180
ВЛ8 ^м	90	2(2 ₀ - 2 ₀)	119	31,7 0	1,2 0	70,0	320-380-320-270-320-380-320	1180
ВЛ10у	10 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	125	30,5 5	1,2 5	155, 0	300-400-300-466,5-300-400-300	1520
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ11 ^м , ВЛ11 ^у , ВЛ11 ^с	10 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	115 ,0	30,6 0	1,2 5	116, 2	300-400-300-466,5-300-400-300	1010
ДЕ1-2	10 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	130 ,0	30,9 1	1,2 5	184, 0	290-390-290-280-290-390-290	
ЧС2, ЧС2 ^т	16 0	3 ₀ -3 ₀	102 ,5	19,2 5	1,2 5	120, 0	240-220-380-220-240	1350
ЧС7	16 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	107 ,5	17,5	1,2 5	169, 0	320-470-320-521-320-470-320	1250
Електровози змінного струму								
ВЛ60 ^п	12 0	3 ₀ -3 ₀	110 ,0	25,5 0	1,2 5	108, 6	230-230-580-230-230	780
ВЛ60 ^к	12 0	3 ₀ -3 ₀	115 ,0	30,8 0	1,2 5	59,6	230-230-580-230-230	1420
ВЛ80 ^к	11 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	115 ,0	27,6 0	1,2 5	128, 0	300-450-300-592-300-450-300	1160
ВЛ80 ^с , ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^р	11 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	120 ,0	27,6 0	1,2 5	128, 0	300-450-300-592-300-450-300	1160

ВЛ82	11 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	115 ,0	31,6 0	1,2 5	135, 0	300-450-300-572-300-450-300	1160
ВЛ82 ^М	11 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	125 ,0	31,6 0	1,2 5	135, 0	300-450-300-572-300-450-300	1520
ЧС8	16 0	2(2 ₀ - 2 ₀)	109 ,5	17,5 0	1,2 5	169, 0	295-505-295-486-295-505-295	1840
ЧС4, ЧС4	16 0	3 ₀ -3 ₀	105 ,0	18,5 0	1,2 5	140, 0	230-230500-230-230	870
Магістральні тепловози з електричною передачею								
ТЭ3, 3ТЭ3	10 0	2(3 ₀ - 3 ₀)	105 ,0	23,3 0	1,0 5	57,0	210-210-440-210-210-418,8-210- 210-440-210-210	1430
2ТЭ10УТ	12 0	2(3 ₀ - 3 ₀)	115 ,0	22,0	1,0 5	102, 0	210-210-630-210-210	1120
ТЭ10, 2ТЭ10	10 0	3 ₀ -3 ₀	107 ,5	21,8 0	1,0 5	71,0	210-210-440-210-210	1210
2ТЭ10Л	10 0	2(3 ₀ - 3 ₀)	106 ,5	22,4 0	1,0 5	69,0	210-210-440-210-210-418,8-210- 210-440-210-210	1190
2ТЭ116, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ10У, 3ТЭ10В, 3ТЭ10У, 4ТЭ10	10 0	2(3 ₀ - 3 ₀)	115 ,0	22,3 0	1,0 5	102, 0	185-185-593-185-185	1090
М62, 2М62	10 0	3 ₀ -3 ₀	98, 0	22,5	1,0 5	90,0	210-210-440-210-210	1100
М62У, 2М62У 3М62У	10 0	3 ₀ -3 ₀	105 ,0	22,5	1,0 5	104, 0	210-210-440-210-210	1100

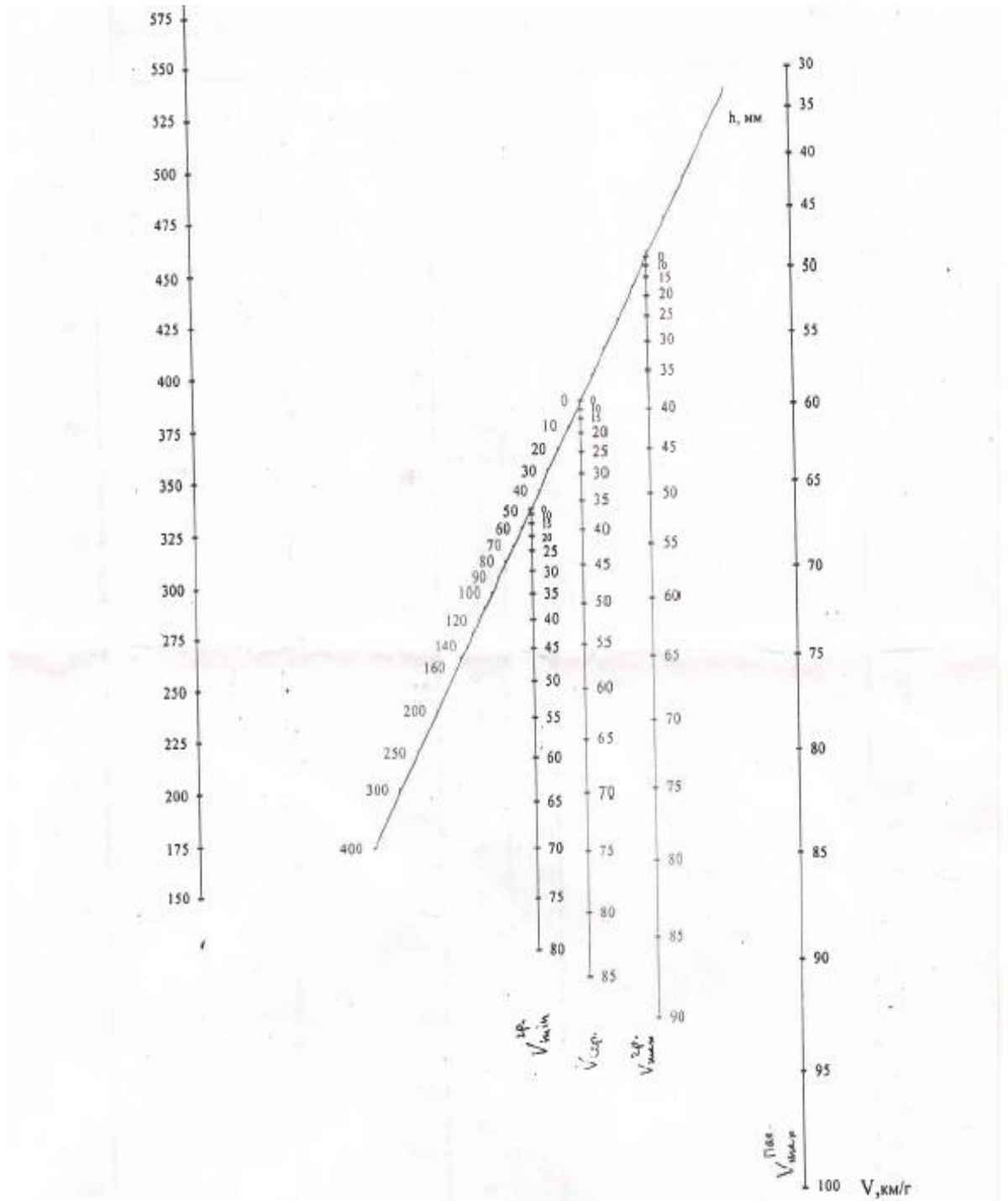
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТЭП60, 2ТЭП60	160	3 ₀ -3 ₀	107, 5	14,5 0	1,0 5	94,0	240-220-580-220-240	990
ТЭП70	160	3 ₀ -3 ₀	105, 2	30,8 0	1,2 2	180, 0	240-220-670-220-240	585
Електропоїзди та дизель-поїзди								
ЭР2 з №632, ЭР2Р, ЭР2Т, ЭР9Т, ЭР9Е, ЭР9П з №158, ЭТ2, ЭД2Т, ЭД4, ЭД9М	130	2 ₀ -2 ₀	95,5	14	$\frac{1,05}{0,95}$	105	260-1070-260 240-1060-240*	480
ЭР1, ЭР2 до №631 вкл., ЭР9П до №157 вкл.	130	2 ₀ -2 ₀	100	13	1,0 5	120, 2	260-1070-260	470
ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т з №002	130	2 ₀ -2 ₀	104, 5	$\frac{12,29}{9,73}$	$\frac{1,05}{0,95}$	204, 3	270-555-270-1430	264
ДР1 (ДР1А, ДР1П)	120	2 ₀ -2 ₀	99	14,7	0,9 5	105	240-220-670-220-240	480
ДЕЛ01	130	2 ₀ -2 ₀	105, 4	$\frac{10,54}{9,84}$	0,9 5	204	270-555-270*1430	264
Д1	120	3 ₀ -2 ₀	86	12,2	0,9 5	137	148-303-1328-240	670
Тепловози маневрові								
ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ2У	100	3 ₀ -3 ₀	100, 0	23,3 0	1,0 5	54,0	210-210-440-210-210	1430
ТЭМ3, ТЭП16	100	3 ₀ -3 ₀	106, 0	29,8	1,0 5	87,0	210-210-440-210-210	950
ТЭМ7, ТЭМ7А	100	2(2 ₀ - 2 ₀)	112, 5	20,5 0	1,0 5	175, 0	210-210-210-460-210-210-210	640
ТГМ23	60	0-3-0	73,0	14,4	1,0 5	70	130-330	1400
ТГМ3	60	2 ₀ -2 ₀	858, 0	15,5 0	1,0 5	30,0	210-390-210	1180
ТГМ4, ТГМ4А	55	2 ₀ -2 ₀	98,0 / 83,5	16,8	1,0 5	70/6 0	210-390-210	1180
ТГМ6, ТГМ6А	80	2 ₀ -2 ₀	110, 5	19,8 0	1,0 5	70	210-590-210	1080
ЧМЭ33, ЧМЭ33Э,	95	3 ₀ -3 ₀	102, 5	19,4 0	1,0 5	52,0	200-200-460-200-200	1570

ЧМЭ3Т								
ЧМЭ2	80	2 ₀ -2 ₀	92,5	17,2	1,0 5	52,0	240-430-240	1570
ЧМЭ5	95	2(2 ₀ - 2 ₀)	105, 0	20,5 0	1,0 5	50,0	200-210-200*-340-200-210-200	1570
ТГК, ТГК2	60	0-2 ₀ -0	68,5	13,4	0,9	30	320	1180
Чотиривісні вантажні вагони вантажопідйомністю 65 т на візках МТ50								
	80	2-2	105, 0	9,75	0,9 5	18,0	180-685-180	5000
Чотиривісні вантажні вагони вантажопідйомністю 71 т на візках ЦНИИ-Х3-0								
	120	2-2	116, 2	9,95	0,9 5	48,0	185-660-185	2000
Восьмивісні вантажні вагони вантажопідйомністю 142,4 т на візках ЦНИИ-Х3-0								
	100	4-4	116, 2	9,95	0,9 5	54,0	185-135-185-702-185-135-185	2150
Пасажи́рські ЦМВ								
	120	2-2	81,0	7,10	1,0 5	145, 0	270-1430-270	760
Пасажи́рський вагон на візках КВЗ-ЦНИИ								
	160	2-2	71,2 5	7,10	1,0 5	155, 0	240-1460-240	570

№631 вкл., ЭР9П до №157 вкл.									
ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т з №002	1,14	1,38	1,42	1,48	1,53	1,55	1,59	1,60	1,62
ДР1 (ДР1А, ДР1П)									
ДЕЛ-01	1,14	1,38	1,47	1,52	1,55	1,59	1,64	1,68	1,73
Д1									
Тепловози маневрові									
ЧМЭ2	1,08	1,20	1,25	1,30	1,35	1,39	1,46	1,54	1,64
ЧМЭЗЗ, ЧМЭЗЗЭ, ЧМЭЗТ	1,08	1,20	1,25	1,30	1,35	1,39	1,46	1,54	1,64
ЧМЭ5	1,08	1,20	1,25	1,30	1,35	1,39	1,46	1,54	1,64
ТГМ2, ТГМ3	1,2	1,35	1,42	1,46	1,52	1,57	1,63	1,67	1,72
ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ2У	1,2	1,35	1,42	1,46	1,52	1,57	1,63	1,67	1,72
ТЭМ7, ТЭМ7А	1,13	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50	1,60	1,70
ТГК, ТГК2	1,18	1,26	1,28	1,30	1,33	1,39	1,49	1,55	1,65
ТГМ4, ТГМ4А									
ТГМ6, ТГМ6А									
ТЭМ3	1,13	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50	1,60	1,70
Вагоны									
4-вісні на візках моделі 18-100 (ЦНИИ-ХЗ)	1,18	1,26	1,28	1,30	1,33	1,39	1,49	1,55	1,65
8-вісні на візках моделі 18-100 (ЦНИИ-ХЗ)	1,18	1,28	1,31	1,33	1,37	1,42	1,49	1,54	1,62
Пасажирські ЦМВ	1,13	1,35	1,41	1,44	1,46	1,49	1,53	1,56	1,6
ЦМВ на візках КВЗ-ЦНИИ	1,13	1,35	1,41	1,44	1,46	1,49	1,53	1,56	1,6

ДОДАТОК В

Узагальнена номограма для визначення оптимального радіуса, підвищення зовнішньої рейки та встановлення швидкостей руху поїздів для кривих малого радіусу



ДОДАТОК Г

Розрахункові параметри шпал

Найменування параметру		Значення параметрів		
Тип шпал		I	II	III
<i>B</i> , см		25	23	28
Ω_a , см ²	При щебеновому баласті	2853	2466	3092
	При гравійно-піщаному баласті	2920	2561	3150
<i>Z</i>		0,8		0,7

ДОДАТОК Д

Розрахунок напружень в елементах верхньої будови колії при товщині
баласту 40 см

P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=60;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=48,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=400, summer									
f=1,49; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Gпк	Gгк	Gш	Gб	Gзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,4	123,6	141,2	89,03	87,24	0,996	0,164	45,3
20	138	146,3	128	146	92,17	90,32	1,03	0,17	46,8
30	141,5	151,5	132,8	151,3	95,64	93,72	1,068	0,176	48,5
40	145	157,1	138	156,9	99,34	97,34	1,107	0,182	50,20
50	148,5	163	143,3	162,7	103,2	101,13	1,148	0,189	52,1
60	152	169	148,9	168,8	107,21	105,05	1,191	0,196	54
70	155,6	175,2	154,6	174,9	111,33	109,09	1,234	0,203	56
80	159,1	181,5	160,5	181,3	115,56	113,24	1,279	0,211	58

P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=60;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=300, summer									
f=1,65; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Gпк	Gгк	Gш	Gб	Gзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,5	123,7	141,3	98,65	87,29	0,997	0,164	45,3
20	138,1	146,4	128,2	146,2	102,19	90,43	1,03	0,17	46,9

30	141,7	151,8	133,1	151,6	106,1	93,88	1,069	0,176	48,6
40	145,3	157,5	138,3	157,3	110,25	97,56	1,11	0,183	50,4
50	148,9	163,4	143,7	163,2	114,6	101,41	1,151	0,19	52,2
60	152,5	169,5	149,4	169,3	119,1	105,39	1,194	0,197	54,2
70	156,1	175,8	155,2	175,6	123,74	109,49	1,239	0,204	56,2
P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=60;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=250, summer									
f=1,75; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Гпк	Ггк	Гш	Гб	Гзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
5	132,7	139,3	121,7	139,1	102,94	85,88	0,981	0,162	44,6
10	134,5	141,5	123,7	141,3	104,63	87,29	0,997	0,164	45,3
15	136,3	143,9	125,9	143,7	106,45	88,81	1,01	0,167	46
20	138,1	146,4	128,2	146,2	108,39	90,43	1,032	0,17	46,9
25	139,9	149,1	130,6	148,8	110,42	92,12	0,07	0,173	47,7
30	141,7	151,8	133,1	151,6	112,53	93,88	1,069	0,176	48,6
35	143,5	154,6	135,6	154,4	114,7	95,7	1,089	0,179	49,4
40	145,3	157,5	138,3	157,3	116,94	97,56	1,11	0,183	50,4
45	147,1	160,4	141	160,2	119,22	99,46	1,00	0,186	51,3
50	148,9	163,4	143,7	163,2	121,55	101,41	1,151	0,19	52,2
55	150,7	166,5	146,5	166,2	123,92	103,38	1,173	0,193	53,2
60	152,5	169,5	149,4	169,3	126,32	105,39	1,194	0,197	54,2
65	154,3	172,7	152,3	172,4	128,76	107,42	1,216	0,2	55,2
P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=60;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=0, summer									
f=1,18; mgk=1,46; U=67,7									

V	Pcep	Ppоз	Рекв1	Рекв2	Gпк	Gгк	Gш	Gб	Gзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,5	123,7	141,3	70,55	87,29	0,997	0,164	45,3
20	138,1	146,4	128,2	146,2	73,08	90,43	1,032	0,17	46,9
30	141,7	151,8	133,1	151,6	75,88	93,88	1,069	0,176	48,6
40	145,3	157,5	138,3	157,3	78,85	97,56	1,11	0,183	50,4
50	148,9	163,4	143,7	163,2	81,96	101,41	1,151	0,19	52,2
60	152,5	169,5	149,4	169,3	85,18	105,39	1,194	0,197	54,2
70	156,1	175,8	155,2	175,6	88,49	109,49	1,239	0,204	56,2
80	159,7	182,3	161,1	182	91,89	113,7	1,284	0,212	58,2
90	163,3	188,9	167,2	188,6	95,37	118,01	1,331	0,219	60,3
100	166,9	195,6	173,5	195,3	98,93	122,41	1,378	0,227	62,4
110	170,5	202,4	179,9	202,1	102,57	126,91	1,426	0,235	64,6
120	174	209,4	186,4	209,1	106,28	131,5	1,475	0,243	66,8

ДОДАТОК Е

Розрахунок напружень в елементах верхньої будови колії при товщині
баласту 25 см

P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=45;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=0, summer									
f=1,18; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Гпк	Ггк	Гш	Гб	Гзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,5	123,7	141,3	70,55	87,29	0,997	0,164	54,3
20	138,1	146,4	128,2	146,2	73,08	90,43	1,032	0,17	56,2
30	141,7	151,8	133,1	151,6	75,88	93,88	1,069	0,176	58,2
40	145,3	157,5	138,3	157,3	78,85	97,56	1,11	0,183	60,4
50	148,9	163,4	143,7	163,2	81,96	101,41	1,151	0,19	62,7
60	152,5	169,5	149,4	169,3	85,18	105,39	1,194	0,197	65
70	156,1	175,8	155,2	175,6	88,49	109,49	1,239	0,204	67,4
80	159,7	182,3	161,1	182	91,89	113,7	1,284	0,212	69,8
90	163,3	188,9	167,2	188,6	95,37	118,01	1,331	0,219	72,3
100	166,9	195,6	173,5	195,3	98,93	122,41	1,378	0,227	74,9
110	170,5	202,4	179,9	202,1	102,57	126,91	1,426	0,235	77,5
120	174	209,4	186,4	209,1	106,28	131,5	1,475	0,243	80,2
P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=45;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=250, summer									
f=1,75; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Гпк	Ггк	Гш	Гб	Гзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
5	132,7	139,3	121,7	139,1	102,94	85,88	0,981	0,162	53,4
10	134,5	141,5	123,7	141,3	104,63	87,29	0,997	0,164	54,3

15	136,3	143,9	125,9	143,7	106,45	88,81	1,014	0,167	55,2
20	138,1	146,4	128,2	146,2	108,39	90,43	1,032	0,17	56,2
25	139,9	149,1	130,6	148,8	110,42	92,12	1,05	0,173	57,2
30	141,7	151,8	133,1	151,6	112,53	93,88	1,069	0,176	58,2
35	143,5	154,6	135,6	154,4	114,7	95,7	1,089	0,179	59,3
40	145,3	157,5	138,3	157,3	116,94	97,56	1,11	0,183	60,4
45	147,1	160,4	141	160,2	119,22	99,46	1,13	0,186	61,5
50	148,9	163,4	143,7	163,2	121,55	101,41	1,151	0,19	62,7
55	150,7	166,5	146,5	166,2	123,92	103,38	1,173	0,193	63,8
60	152,5	169,5	149,4	169,3	126,32	105,39	1,194	0,197	65
65	154,3	172,7	152,3	172,4	128,76	107,42	1,216	0,2	66,2
P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=45;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=300, summer									
f=1,65; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Гпк	Ггк	Гш	Гб	Гзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,5	123,7	141,3	98,65	87,29	0,997	0,164	54,3
20	138,1	146,4	128,2	146,2	102,19	90,43	1,032	0,17	56,2
30	141,7	151,8	133,1	151,6	106,1	93,88	1,069	0,176	58,2
40	145,3	157,5	138,3	157,3	110,25	97,56	1,11	0,183	60,4
50	148,9	163,4	143,7	163,2	114,6	101,41	1,151	0,19	62,7
60	152,5	169,5	149,4	169,3	119,1	105,39	1,194	0,197	65
70	156,1	175,8	155,2	175,6	123,74	109,49	1,239	0,204	67,4

P65									
beta=0,87; a0=0,403; a1=0,931; eps=0,332; gama=1,0; r1=0,7; I=2998;									
W=404; S=2975; b=25,4; l=54,0; w=490,0; h=45;									
вагон									
Pst=122,5; qk=9,95; d=95,0; fst=47,0; e0=0,067; L1=185,0;									
R=400,									

summer									
f=1,49; mgk=1,46; U=67,7									
V	Pcep	Pроз	Рекв1	Рекв2	Gпк	Gгк	Gш	Gб	Gзп
км/ч	кН	кН	кН	кН	МПа	МПа	МПа	МПа	кПа
10	134,5	141,5	123,7	141,3	89,08	87,29	0,997	0,164	54,3
20	138,1	146,4	128,2	146,2	92,28	90,43	1,032	0,17	56,2
30	141,7	151,8	133,1	151,6	95,81	93,88	1,069	0,176	58,2
40	145,3	157,5	138,3	157,3	99,56	97,56	1,05	0,183	60,4
50	148,9	163,4	143,7	163,2	103,49	101,41	1,151	0,19	62,7
60	152,5	169,5	149,4	169,3	107,55	105,39	1,194	0,197	65
70	156,1	175,8	155,2	175,6	111,74	109,49	1,239	0,204	67,4
80	159,7	182,3	161,1	182	116,03	113,7	1,284	0,212	69,8

ABSTRACT

The main purpose of this master's thesis is the adaptation of the sub-base on the railways of Ukraine to the standards of the European Union countries.

The object of the study is the sub-rail base of the railway track.

In order to achieve the goal, the work analyzed the existing constructions of the rail base and the methods for calculating the railway track in the countries of the European Union and Ukraine. When comparing the calculated stresses in the elements of the superstructure with permissible, it was concluded that the calculated stresses do not exceed the permissible.

Based on the calculations it was proposed to use a load of 25 tons on the railways of Ukraine.

Key words: interoperability, rail base, sleepers, main platform, stresses, track superstructure.