

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

на тему: Підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

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

Виконав: студент групи: ІН2226

(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Андрій КУЛЬБАБА /

Керівник:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ проф. Віталій КОВАЛЬЧУК /

Нормоконтролер:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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»

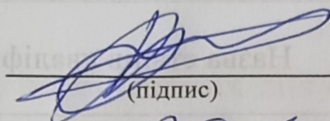
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»



(підпис)

Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 25.04.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Кульбабі Андрію Валентиновичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Ковальчук Віталій Володимирович, д.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: Результати аналізу українських та європейських норм, щодо оцінки технічного стану земляного полотна. Поперечний профіль земляного полотна.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України і країн Європейського союзу щодо методів підвищення несучої здатності земляного полотна залізниць. Розділ 2. Методика підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності. Розділ 3. Дослідження несучої здатності земляного полотна залізничної колії підсиленого залізобетонною трубою. Розділ 4. Рекомендації із підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії із позиції інтероперабельності. Висновки.

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

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 19 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України і країн Європейського союзу щодо методів підвищення несучої здатності земляного полотна залізниць.	30.10.2023-19.11.2023	
2	Розділ 2. Методика підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності.	20.11.2023-04.12.2023	
3	Розділ 3. Дослідження несучої здатності земляного полотна залізничної колії підсиленого залізобетонною трубою.	05.12.2023-17.12.2023	
4	Розділ 4. Рекомендації із підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії із позиції інтероперабельності. Висновки. Оформлення ВКР.	18.12.2023-07.01.2024	
5	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024-14.01.2024	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент

(підпис)

Андрій КУЛЬБАБА
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Віталій КОВАЛЬЧУК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

на тему: Підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтеперабельності

за освітньою програмою «Інтеперабельність і безпека на залізничному транспорті»

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

Виконав: студент групи: ІН2226

(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ) _____

_____ / Андрій КУЛЬБАБА /

Керівник:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ) _____

_____ / проф. Віталій КОВАЛЬЧУК /

Нормоконтролер:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ) _____

_____ / зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /

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

Студент _____

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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: Increasing the load-bearing capacity of the ground surface of the railway track in difficult engineering and geological conditions in accordance with the requirements of interoperability

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport
in the Specialization: 273 Rail transport
(Specialization and its code)

Done by the student of the group: IH 2226 / Andrii KULBABA /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Professor Vitalii KOVALCHUK /
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Dnipro – 2024

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

63 стор., 37 рис., 1 табл., 28 літературних джерел.

Об'єкт розробки – земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах.

Мета роботи – розробка методів підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності.

Метод дослідження – аналіз нормативної документації України та ЄС. Метод скінченно-елементного моделювання.

У магістерській роботі виконано аналіз нормативних документів щодо методів оцінки та підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії та наведено вимоги інтероперабельності до земляного полотна.

Наведено методику підвищення несучої здатності земляного полотна в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності.

Проведено оцінку земляного полотна методом скінченно-елементного моделювання. Наведено рекомендації із підвищення несучої здатності земляного полотна із позиції інтероперабельності.

У результаті досліджень встановлено, що для підсилення земляного полотна залізничної колії, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах, доцільно застосовувати залізобетонну трубу.

Ключові слова: ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО, ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ, ТРУБА, ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ, НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЇ.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

TSI	Технічні специфікації інтероперабельності
EN	Європейські стандарти
PC	Рухомий склад
БК	Верхня будова колії
DB	Німецькі залізниці
BS	Британські стандарти
ЗМ	Земляне полотно
ТС	Технічний стан

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ І КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ЩОДО МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ	9
1.1. АНАЛІЗ ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ДО ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	9
1.2. ВИМОГИ TSI INF ДО ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	12
1.3. ВИМОГИ EN 1990 ТА EN 1997-1 ПРИ РОЗРАХУНКАХ ГЕОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ДОРІГ	13
1.4. КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У КРАЇНАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	14
1.5. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	17
1.6. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	20
Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ	22
2.1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ДІЛЯНКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА КОЛІЇ НА ЛЬВІВСЬКІЙ ЗАЛІЗНИЦІ.....	22
2.2. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ ВІД ЗЛИВИ НА ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ ЧЕРНІВЦІ – ВАДУЛ СІРЕТ.....	23
2.3. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ВИТРАТИ ВОДИ ВІД СНІГОТАНЕННЯ НА ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ ЧЕРНІВЦІ – ВАДУЛ СІРЕТ	24
2.4. ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ ТРУБИ ДЛЯ ВІДВЕДЕННЯ ВОДИ	27

Висновки до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПІДСИЛЕНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ТРУБОЮ	30
3.1. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО НАСИПУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	30
3.2. ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПІДСИЛЕНЕ ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	31
3.3. СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ РОЗРАХУНОК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПІДСИЛЕНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ТРУБОЮ	36
3.4. ПЛОСКА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНА МОДЕЛЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	38
3.5. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПІДСИЛЕНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ТРУБОЮ	39
Висновки до розділу 3	43
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ ПОЗИЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ	45
4.1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ЗАПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ НАГЛЯДУ ЗА СТАНОМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ІЗ ПОЗИЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ	45
4.2. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	49
Висновки до розділу 4	53
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРА	57

ВСТУП

Розвиток залізничного транспорту потребує впровадження нових технологій та конструкцій. Особливе місце у забезпеченні безперебійного та безпечного перевезення вантажів та пасажирів є забезпечення технічно справного стану всіх елементів залізничної колії. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти технічному стану земляному полотну, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах. Оскільки, земляне полотно залізничної колії відіграє важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи залізничного транспорту. Від справності земляного полотна залежить безпечний проїзд рухомого складу із встановленими швидкостями руху та нормативними навантаженнями.

У зв'язку із збільшенням осьового навантаження на вісь та підвищенням швидкості руху залізничного транспорту, до технічного стану земляного полотна залізниць ставляться жорсткіші вимоги. А враховуючи, те що земляне полотно на окремих ділянках залізниці експлуатується більше 100 років без ремонтів, то його стану потрібно приділяти належну увагу.

При проектуванні земляного полотна залізничної колії потрібно забезпечити виконання наступних характеристик: міцності, стійкості, довговічності, надійності ремонтпридатності та мінімальних витрат на ремонти.

Актуальність теми досліджень. У Стратегії [1] зазначено, що у випадку незадовільного технічного стану земляного полотна на окремих ділянках залізниці, коли виникає обмежена пропускна здатність залізниці, необхідно вживати заходи для підсилення проблемних ділянок земляного полотна.

У результаті неоднорідного земляного полотна відбувається зміна геометрії залізничної колії, а це у свою чергу викликає підвищення витрат на поточне утримання колії та може призвести до аварій.

На залізниці близько 4 % протяжності земляного полотна є хворим. А це ризик, що може призвести до деформацій земляного полотна. Крім цього на таких ділянках робиться обмеження швидкості руху залізничного транспорту.

Розробка рекомендацій із ремонту земляного полотна та моніторингу його технічного стану в умовах експлуатації може призвести до відновлення його несучої здатності.

Слід зазначити, що натурні огляди, які використовуються для оцінки технічного стану земляного полотна не завжди є ефективними. Оскільки ними неможливо оцінити стан земляного полотна на певних глибинах від поверхні. У Європейських країнах широко використовуються методи інерційних досліджень технічного стану земляного полотна та георадіолокаційні методи.

Отже, розробка методів із підвищення несучої здатності неоднорідного земляного полотна залізничної колії із врахуванням передового досвіду Європейських країн є актуальним завданням наукових досліджень в умовах залізниць України.

Мета дослідження. Метою магістерської роботи є розробка методів підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії в складних інженерно-геологічних умовах відповідно до вимог інтероперабельності.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати вимоги нормативних документів України та країн Європейського Союзу, що ставляться до земляного полотна залізничної колії;
- розробити методику підвищення несучої здатності неоднорідного земляного полотна залізничної колії в умовах експлуатації;
- провести числовий розрахунок напружено-деформованого стану підсиленого неоднорідного земляного полотна;
- розробити рекомендації із запровадження систем нагляду за станом земляного полотна із позиції інтероперабельності.

Об'єкт досліджень – земляне полотно залізничної колії, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах.

Предмет досліджень – методи підвищення несучої здатності неоднорідного земляного полотна залізничної колії відповідно до вимог інтероперабельності.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ І КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ЩОДО МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ

1.1. Аналіз вимог інтероперабельності до оцінки технічного стану земляного полотна

Політика Європейського Союзу, стосовно залізничної галузі, відбувається в напрямку розбудови єдиного європейського залізничного простору. Це дозволить суттєво розширити географію перевезення залізничним транспортом у межах країн Європейського Союзу. Відповідно до плану Європейський Союз прагне:

- модернізувати ринок залізничних перевезень;
- підвищити конкурентну здатність залізниці;
- розвинути залізничну інфраструктуру;
- підвищити рівень безпеки на залізниці;
- забезпечити доступні ціни на залізничні перевезення.

Зазначений план розвитку залізничних перевезень можливо втілити при технічно-справному стані земляного полотна залізничної колії.

Оскільки Україна повинна свої норми привести до норм Європейського Союзу, то вже на цьому етапі необхідно гармонізувати норми. Оскільки, поняття інтероперабельність (або сумісність) – закладає у собі твердження, що ґрунтується на сумісності, тобто здатності здійснювати рух на будь-якій ділянці залізниці. Отже, необхідно уможливити безпечну експлуатацію всіх систем залізниць, які існують в Європейському Союзі [2–5].

Слід зазначити, що технічні системи залізниць держав-членів країн ЄС мають відмінності у геометричних параметрах ширини колії (інфраструктурі), сигналізації, швидкості руху тощо.

В Європейському Союзі діє Директива 797 ЄС, що закладає принципи експлуатаційної сумісності залізничної системи в рамках країн членів [3]. Вона спрямована на зменшення відмінностей у правилах і нормах, які вимагають підвищення безпеки руху рухомого складу залізниць [3].

Слід зазначити, що інтероперабельність основана на декількох напрямках:

- запровадження однакових правових рамок та процедур, щодо надійності, технічної сумісності, безпеки, здоров'я та допустимого впливу на навколишнє середовище;

- впровадження однакових процедур при експлуатації рухомого складу на тій самій інфраструктурі;

- забезпечення технічної сумісності різних систем з метою руху різних типів рухомого складу залізниць;

- поступова модернізація внутрішнього ринку залізниць для забезпечення експлуатації залізничної системи в цілому.

У Законі України «Про транспорт», законі «Про залізничний транспорт», законі «Про стандартизацію», законі «Про підтвердження відповідності», законі «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності», законі «Технічний регламент безпеки залізничного транспорту» зазначені загальні засади управління залізницею [2-5].

У країнах Європейського Союзу та України діяльність залізниць регламентується правовими засадами, що наведені на блок-схемах рис. 1.1 та рис. 1.2 відповідно.

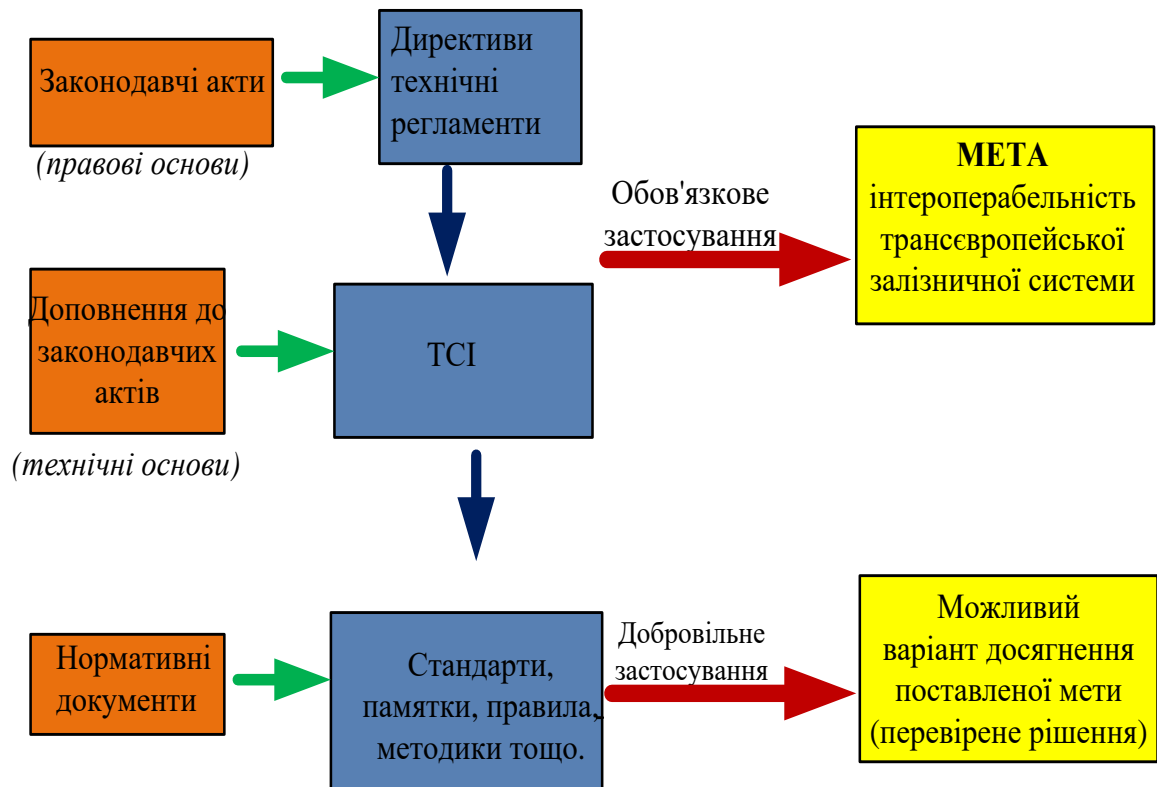


Рисунок 1.1 – Засади правового технічного регулювання на залізницях у Європейському Союзі

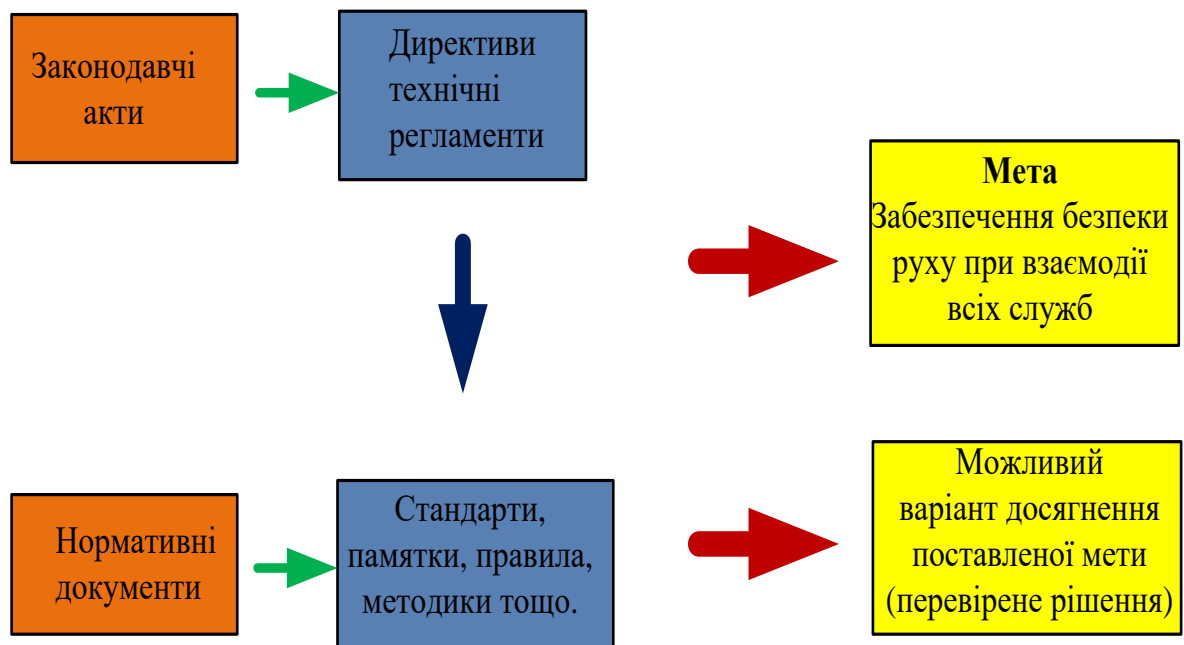


Рисунок 1.2 – Засади правового технічного регулювання на залізницях в Україні

Слід зазначити, що на сьогоднішній день Україна максимально швидко намагається приєднатися до міжнародних залізничних організацій, імплементувати та приєднатися до конвенцій та угод, які діють в країнах Європейського Союзу в галузі залізничного транспорту. Одним із пріоритетним завданням є приведення інфраструктури залізниць України до норм та вимог інтероперабельності. У тому числі і земляного полотна залізниць.

Отже, реформа залізничного транспорту України дасть можливість привести законодавство України до вимог Європейського Союзу. У Директиві 2016/797 [3] однією із ключових вимог є забезпечення безпеки руху поїздів. Для цього необхідно інфраструктуру, в тому числі і земляне полотно, привести до імплементованих вимог утримання.

Крім цього у працях [6–13] зазначено, що підвищити працездатність залізничної колії можливо, у першу чергу, за рахунок покращення характеристик підрейкової основи.

1.2. Вимоги TSI INF до інфраструктури залізниць

Відповідно до TSI INF [14] основні вимоги підсистеми «Інфраструктура» відображені у табл. I.

Таблиця I – Перелік вимог до основних параметрів підсистеми «Інфраструктура»

Пункт и TSI	Назва пункту TSI	Безпека	Надійність, доступність	Здоров'я	Захист навколишнього середовища	Технічна сумісність	Пункт и TSI
4.2.7.1	Опір нових мостів дорожньо-транспортних навантажень	1.1.1, 1.1.3				1,5	

4.2.7.2	Еквівалентне вертикальне навантаження для нових земляних робіт і тиск землі на нові структури	1.1.1, 1.1.3				1,5	
4.2.7.3	Опір нових структур над ними або рядом композицій	1.1.1, 1.1.3				1,5	
4.2.7.4	Стійкість сучасних мостів і земляного полотна для руху рухомого складу	1.1.1, 1.1.3				1,5	

Як бачимо обов'язковим пунктом є забезпечення стійкості земляного полотна при русі рухомого складу залізниць. Тому утримання земляного полотна у технічно-справному стані є однією із обов'язкових вимог ТСІ.

1.3. Вимоги EN 1990 та EN 1997-1 при розрахунках геотехнічних споруд доріг

У EN 1990 [15] встановлено впливи, які необхідно враховувати при розрахунках споруд, що знаходяться у тілі насипу залізничної колії (рис. 1.3). При цьому слід пам'ятати, що величини впливів на конструкції приймаються відповідно до EN 1991 [16, 17]. У EN 1997-1 [18] наведені методики врахування геотехнічних впливів та геотехнічного опору. Також зазначено, що проєктування споруд вимагає проведення розрахунків на граничні стани.

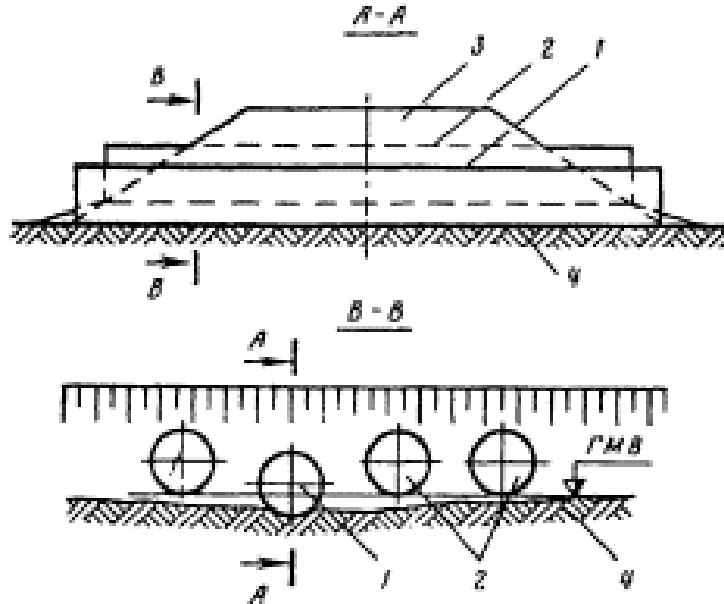


Рисунок 1.3 – Багатоотворна споруда, що розташована у різних рівнях в тілі насипу земляного полотна

Необхідно відрізнити впливи конструкції на ґрунт, та геотехнічні впливи, що виникають від впливу ґрунту. Оскільки у деяких підходах до проектування підземних споруд застосовуються різні коефіцієнти надійності.

1.4. Конструкції земляного полотна, що використовуються у країнах Європейського Союзу

Конструкції земляного полотна виконують стабільне положення залізничної колії у плані та профілі. Відповідно до [19] розглянемо основні конструкції земляного полотна. При цьому слід зазначити, що конструкції можуть бути удосконалені, у залежності від інженерно-геологічних умов будівництва земляного полотна залізниці.

На рис. 1.4 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії без захисного шару.

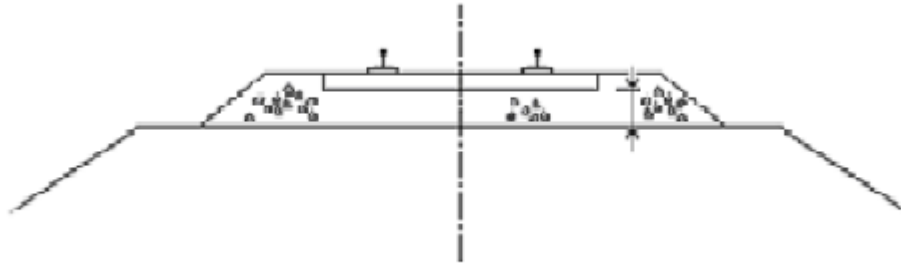


Рисунок 1.4 – Конструкція нижньої будови залізничної колії без захисного шару

Така конструкція використовується у випадках, коли основа земляного полотна складається із незв'язних, дренажних ґрунтів та ґрунтів із достатньою несучою здатністю.

На рис. 1.5 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії із захисним шаром.

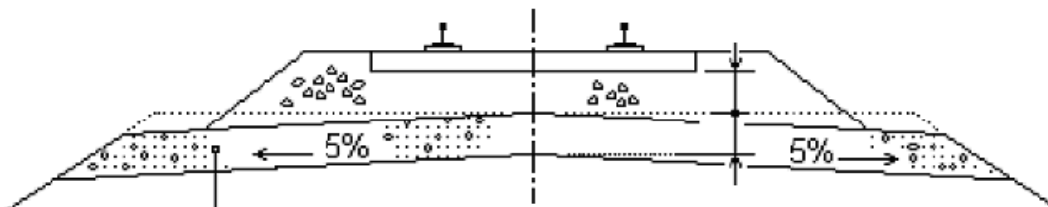


Рисунок 1.5 – Конструкція нижньої будови колії із захисним шаром

Така конструкція використовується у випадках коли необхідно підвищити несучу здатність основної площадки земляного полотна та коли земляне полотно складається із в'язких ґрунтів, що допускає морозне пучення.

На рис. 1.6 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії із захисним шаром із геотекстилю.

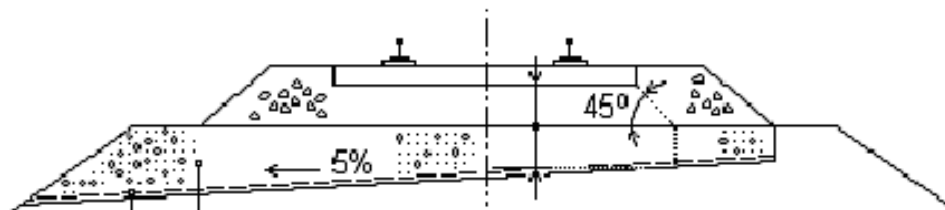


Рисунок 1.6 – Конструкція нижньої будови залізничної колії із захисним шаром із геотекстилю

Така конструкція використовується у випадках:

- коли земляне полотно залізниці складається із в'язких ґрунтів;
- коли потрібно підвищити несучу здатність основної площадки земляного полотна залізниці;
- геотекстиль використовується для перешкоджання проникненню дрібних частинок ґрунту в щебневий баласт колії;
- геомембрана захищає нижню будову залізничної колії від проникнення атмосферних опадів;
- протівібраційний мат знижує рівень вібрації та шуму при русі рухомого складу;
- застосування теплоізоляційних елементів добре захищає колію від морозного пучення ґрунтів.

На рис. 1.7 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії із застосуванням підбаластних залізобетонних плит.

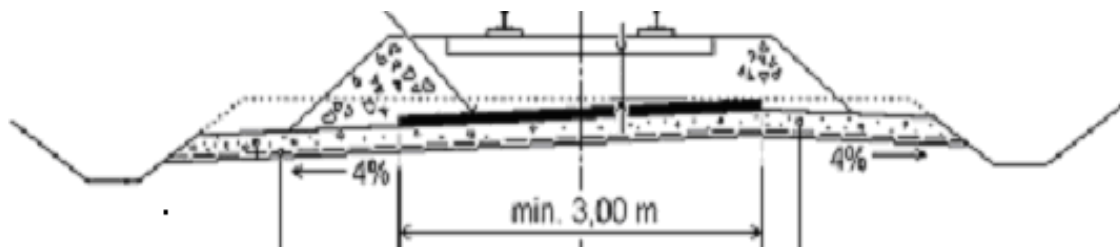


Рисунок 1.7 – Конструкція нижньої будови залізничної колії із застосуванням підбаластних залізобетонних плит

Така конструкція використовується у випадку основи залізничного полотна, утвореного в'язким ґрунтом і має малу несучу здатність. Також рекомендується використовувати її на залізничних переїздах.

На рис. 1.8 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії із компенсаційним шаром.

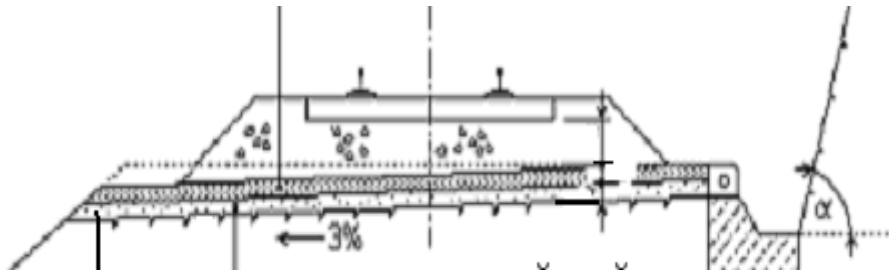


Рисунок 1.8 – Конструкція нижньої будови залізничної колії із компенсаційним шаром основи

Дана конструкція використовується у скелястій місцевості у виїмках та на косогорах. Це місця де порода може вивітрюватися та втрачати міцність під дією води та негативних температурних впливів.

На рис. 1.9 наведено конструкцію нижньої будови залізничної колії із пісчано-гравійною сумішшю.

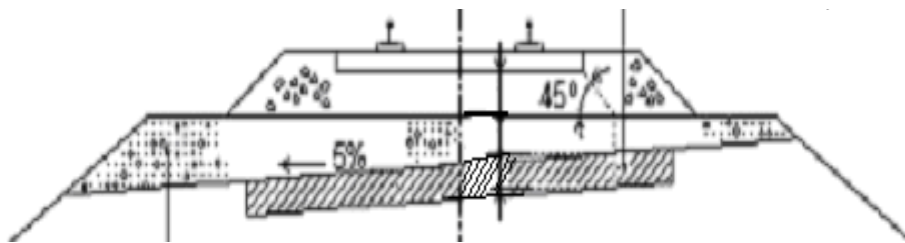


Рисунок 1.9 – Конструкція нижньої будови залізнично колії із пісчано-гравійною сумішшю

Така конструкція використовується з метою підвищення несучої здатності основної площадки земляного полотна, або для підвищення стійкості від впливів морозу.

1.5. Аналіз методів оцінки міцності та стійкості земляного полотна залізничної колії

При визначенні напружень на основній площадці земляного полотна залізничної колії необхідно враховувати навантаження від осей рухомого складу залізниць. Розрахункова схема наведена на рис. 1.10.

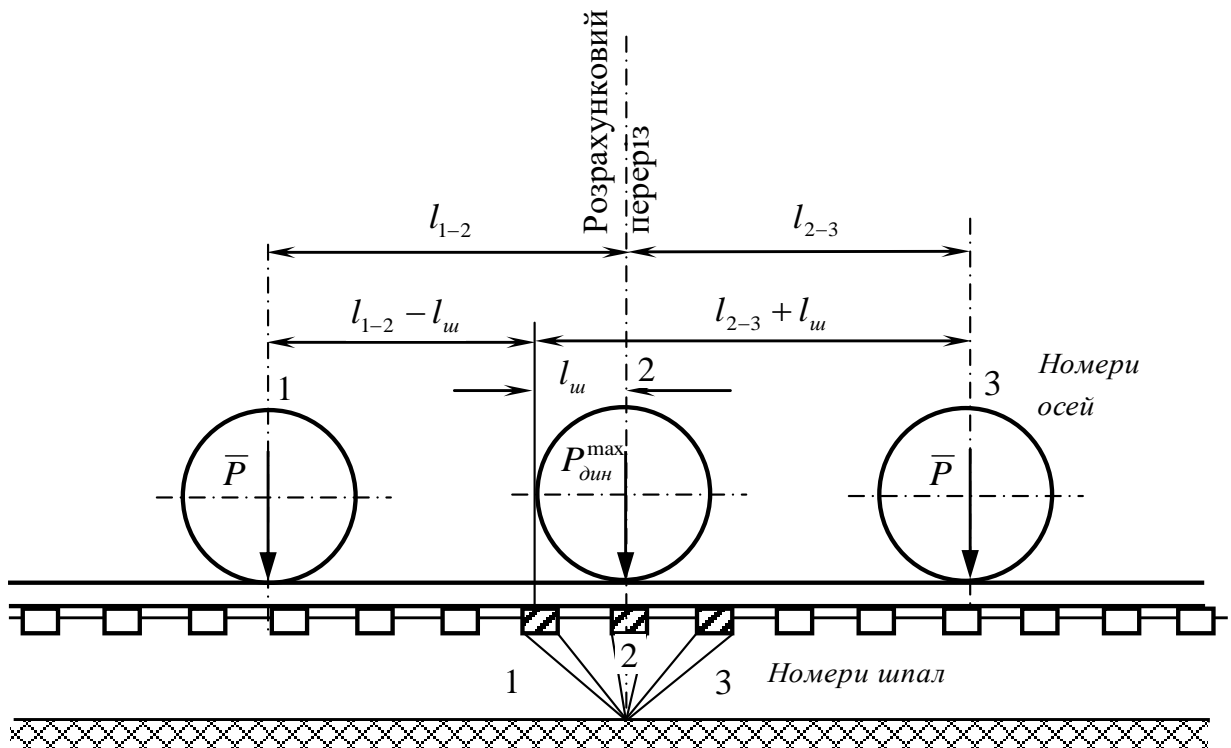


Рисунок 1.10 – Розрахункова схема до врахування навантажень від осей рухомого складу при визначенні напружень на основній площадці земляного полотна залізничної колії

Це виконується методом математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу із використанням сучасних програм, які мають модуль числових розрахунків.

На рис. 1.11 наведено розподіл динамічних навантажень від рейки на окремі шпали у результаті моделювання динамічної взаємодії колії та рухомого складу.

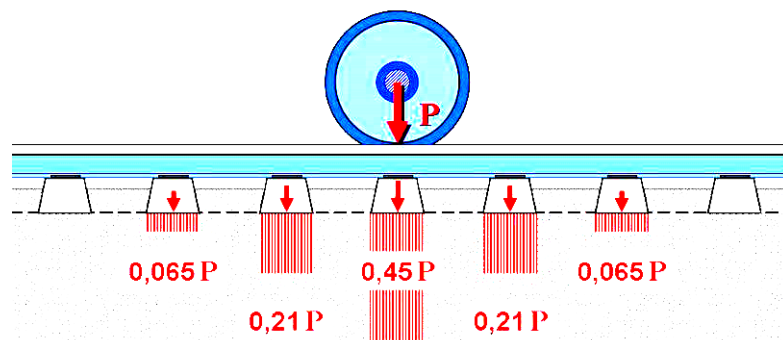


Рисунок 1.11 – Розподіл динамічних навантажень від рейки на окремі шпали

Далі за визначеними навантаженнями, які виникають при взаємодії рухомого складу і колії можна оцінити напружено-деформований стан земляного полотна залізничної колії.

Потужними обчислювальними комплексами для розрахунку напружено-деформованого стану земляного полотна є ANSYS, NX NASTRAN, MSC / PATRAN, COSMOS / M, ABAQUS, ADINA тощо.

Ці програмні комплекси дозволяють моделювати віртуальний прототип земляного полотна (ділянки залізниці) із реальними геометричними розмірами та із заданням дійсних фізико-механічних властивостей складових моделі.

При чисельному моделюванні методом скінченних елементів створюється тривимірна модель деформування елементів рейко-шпальної решітки, баластної призми та земляного полотна.

На рис. 1.12 наведена скінченно-елементна модель ділянки залізничної колії, яка побудована із об'ємних скінченних елементів типу SOLID.

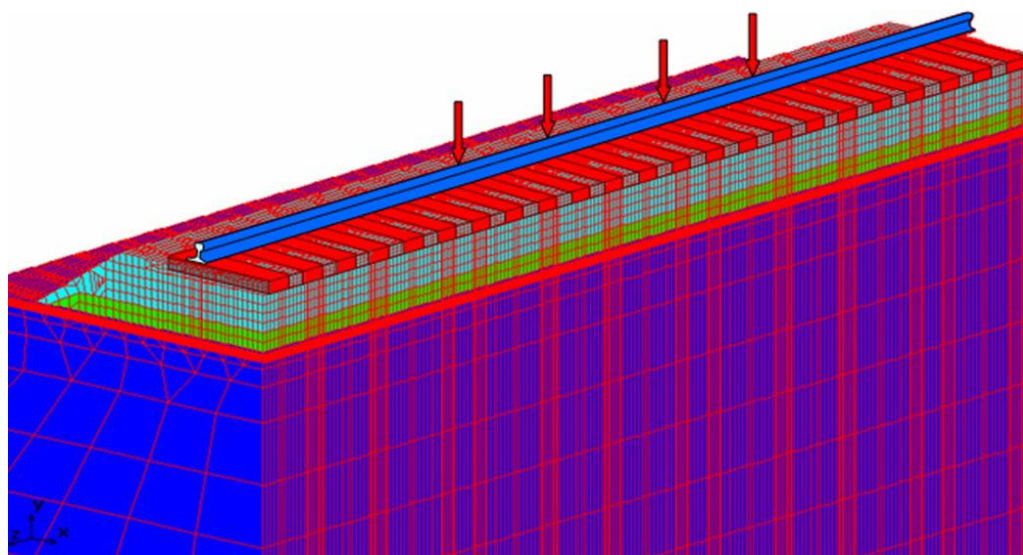


Рисунок 1.12 – Скінченно-елементна модель ділянки залізничної колії

У результаті числових розрахунків визначають напруження та деформації земляного полотна. Приклад розподілу вертикальних напружень у поперечному перерізі земляного полотна і баластної призми наведено на рис. 1.13.

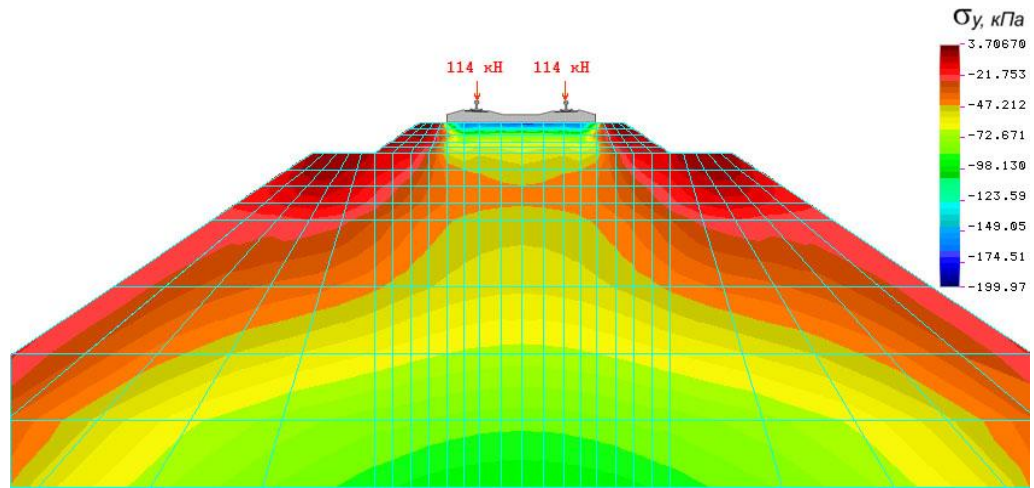


Рисунок 1.13 – Кольорова картина розподілу вертикальних напружень у земляному полотні та баластній призмі при скінченно-елементному моделюванні

Із проведених розрахунків спостерігаються зони максимальних стискаючих напружень: під шпалою і в основі насипу, перша зона обумовлена поїзним навантаженням, а друга – вагою ґрунту насипу.

1.6. Методи визначення геометричних та фізичних характеристик ґрунтів земляного полотна

Крім проведення розрахунків земляного полотна можна використовувати і експериментальні методи, які дозволяють визначати геометрію земляного полотна та фізико-механічні параметри. На рис. 1.14 за допомогою відомих або уточнених кореляційних залежностей виконано побудову сейсмотограми земляного полотна із визначенням модуля Юнга.

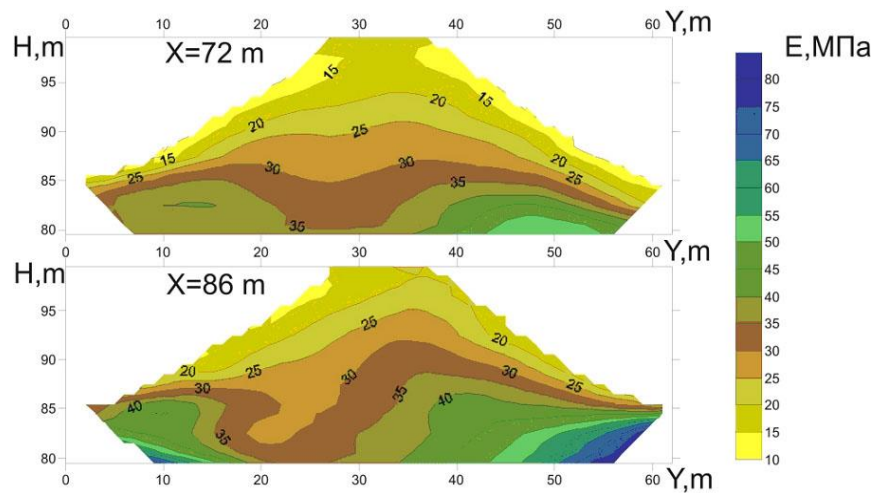


Рисунок 1.14 – Сейсмограма земляного полотна із розподілом модуля Юнга по товщині

За допомогою сейсмограми можна оцінити фізико-механічні параметри ґрунтів у поперечному розрізі, що є дуже актуальним при діагностиці технічного стану ділянки залізниці та пошуку неоднорідностей у земляному полотні.

Висновки до розділу 1

Провівши аналіз нормативних документів та методів оцінки технічного стану земляного полотна залізничної колії можна зробити такі висновки:

1. На несучу здатність земляного полотна залізничної колії впливає ряд факторів, як фізико-механічних параметрів ґрунтів так і вік земляного полотна.
2. Для реалізації планів, пов'язаних із підвищенням швидкості руху поїздів, шляхом модернізації залізниць та збільшенні пропускної та провізної спроможності транспортних коридорів, необхідно мати достовірну інформацію про технічний стан основи залізниць – земляного полотна. Для цього необхідно розробити методикау для визначення несучої здатності земляного полотна, і за отриманими даними приймати рішення щодо його посилення та підвищення несучої здатності.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

2.1. Аналіз проблемної ділянки земляного полотна колії на Львівській залізниці

Однією із проблемних ділянок земляного полотна на Львівській залізниці є ділянка колії на дільниці Чернівці – Вадул Сирет [20].

При обстеженні земляного полотна георадіолокаційним методом [21] встановлено, що на глибині від 0,3 м до 5,6 м спостерігаються проблемні зони у тілі земляного полотна у вигляді розуцільнення ґрунту (рис. 2.1). Крім цього із рис. 2.1 видно характерний сигнал від дрена.

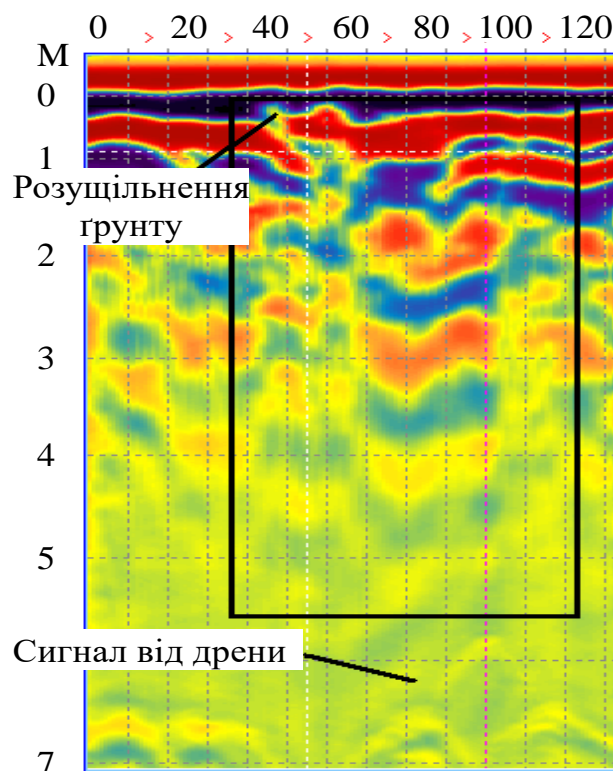


Рисунок 2.1 – Радарограма земляного полотна залізниці, що експлуатується на ділянці Чернівці – Вадул Сирет [20]

Одним із заходів підвищення несучої здатності проблемних ділянок земляного полотна є застосування перспективних конструкцій у вигляді встановлення труб. Це дозволяє відводити воду із тіла земляного полотна.

Для вибору поперечного перетину труби, який необхідний із умови безнапірного пропуску води виконаємо розрахунки максимальних витрат води від зливи та сніготанення для ділянки колії Чернівці – Вадул Сирет.

2.2. Визначення максимальних витрат води від зливи на ділянці колії Чернівці – Вадул Сирет

Розрахунок максимальної витрати води від зливи для ділянки колії перегону Чернівці – Вадул Сирет використано методику та алгоритм, що наведений у методичних вказівках [22]. Дана методика базується на значенні ймовірності, що не перевищує $P=1\%$. Відповідно до методики [22] при площі басейну до 100 км^2 , за формулою (2.1), можна порахувати максимальну витрату води:

$$Q_{зл1\%} = 16.7 a_{зод} F \varphi \varphi_1 k_T, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.1)$$

де годинну максимальну інтенсивність зливи $a_{зод}$, мм/хв слід визначати у залежності від зливого району відповідно до рекомендацій [22] у яких наведено карту України із позначенням зливових районів; F – водозбірний басейн, км^2 ; φ – коефіцієнт дощового стоку; φ_1 – коефіцієнт редукції; k_T – коефіцієнт переходу. Дані параметри визначаються, також, за рекомендаціями [22].

Максимальну витрату води при зливі для ділянки залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет розраховуємо при таких вхідних параметрах: водозбір площею 5 км^2 , довжина логу 6 км із нахилом 2% . Ґрунти – суглинки.

Відповідно до вхідних даних визначаємо параметри, які входять у формулу (2.1). Приймаємо наступні параметри: у випадку площі водозбору рівній 5 км^2 коефіцієнт дощового стоку при третій категорії поверхні (ґрунти суглинки) буде

становити $\varphi=0,5$, а коефіцієнт редуції рівний $\varphi_1=0,25$. При довжині логу 6 км і нахилу 2 % коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи годинної тривалості до інтенсивності зливи буде рівним $k_T=0,52$.

Відповідно до рекомендацій [22] ділянка залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет відноситься до восьмого зливого району. У зв'язку із цим максимальна годинна інтенсивність зливи із вірогідністю перевищення $P=1\%$ буде становити $a_{200}=1,41$ мм/хв.

Далі за формулою (2.1) та рекомендаціями [22] визначаємо максимальну витрату води під час зливи на ділянці залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет:

$$Q_{зл1\%} = 16,7 \cdot 1,41 \cdot 5,0 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,52 = 7,65, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отже, для ділянки залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет максимальна витрата дощового стоку води при зливі становить $Q_{зл1\%} = 7,65, \text{ м}^3/\text{с}$.

Крім зливи, також значна витрата води виникає при сніготаненню, особливо у Карпатських регіонах України.

2.3. Визначення максимальної витрати води від сніготанення на ділянці колії Чернівці – Вадул Сирет

При сніготаненню максимальна витрата води, відповідно до рекомендацій [22] розраховується за формулою:

$$Q_{сн1\%} = \frac{K_0 h_p \mu}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2 F, \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

де: K_0 – параметр потужності повені; n – показник ступеню потужності повені. Слід зазначити, що ці параметри визначаємо відповідно до дорожньо-кліматичної зони та категорії рельєфу місцевості відповідно до рекомендацій

[22]; F – водозбірний басейн, км²; h_p – розрахунковий шар стоку повені при $P=1$ %, мм. Його розраховуємо за формулою:

$$h_p = k_1 h_0, \quad (2.3)$$

де: h_0 – середній багаторічний шар стоку від сніготанення, мм, для місцевості яку розглядаємо. Визначається за картою рекомендацій [22]. У нашому випадку для Карпат він становить 200 мм; k_1 – модульний коефіцієнт шару стоку, розраховуємо за методичними рекомендаціями [22].

Коефіцієнт $\mu=1,0$, враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку і максимальних витрат води, приймаємо рівним 1,0 для України, у зв'язку із ймовірністю $P=1$ %.

При визначенні коефіцієнту δ_1 , який враховує зниження максимальної витрати води річок, потрібно враховувати витрату води, що зрегульована озерами і водосховищами. Його розраховуємо за рекомендаціями [22].

Коефіцієнт δ_2 враховує зниження максимальної витрати води річок, у зв'язку із залісненням чи заболоченням районів місцевості. Розраховуємо за рекомендаціями [22].

Максимальну витрату води при сніготаненню для ділянки залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет розраховуємо при таких вхідних параметрах: водозбір площею 25 км², довжина логу 6 км із нахилом 2 %. Ґрунти – суглинки. Для даної ділянки залізничної колії приймаємо відносну озерність рівною 4 %, ступінь залісненості басейну 5 % та ступінь заболоченості басейну приймаємо рівним 6 %.

Далі за рекомендаціями [22] визначаємо параметр, що характеризує потужність повені, і для Карпат він становить $K_0=0,0045$. При цьому показник ступеня, залежно від дорожньо-кліматичної зони і категорії рельєфу, приймаємо рівним $n=0,15$.

При $P=1\%$ розрахунковий шар стоку повені для ділянки колії Чернівці – Вадул Сирет буде становити:

$$h_p = k_1 h_0 = 200 \cdot 1,52 = 304 \text{ мм.}$$

$\mu=1,0$ – коефіцієнт, що враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку і максимальних витрат води;

$\delta_1=0,88$ – коефіцієнт, що враховує зниження максимальної витрати води річок;

$\delta_2=0,38$ – коефіцієнт, що враховує зниження максимальної витрати води річок в заліснених і заболочених районах.

За наведеними вихідними даними проводимо розрахунок максимальної витрати води від сніготанення за формулою (2.2) та методичними рекомендаціями [22]:

$$Q_{CH1\%} = \frac{0,0045 \cdot 304 \cdot 1}{(5+1)^{0,15}} \cdot 0,88 \cdot 0,38 \cdot 5 = 1,75 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Відповідно до розрахунків отримали максимальне значення витрати води від сніготанення, що становить $1,75 \text{ м}^3/\text{с}$.

Із врахуванням максимальної витрати води при зливі і сніготаненню знайдемо сумарну витрату води:

$$Q = Q_{зл} + Q_{CH} = 7,65 + 1,75 = 9,4 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Для підсилення несучої здатності земляного полотна необхідно під розраховану витрату води підібрати трубу. При цьому трубу будемо вибирати залізобетонну.

2.4. Встановлення оптимального поперечного перетину труби для відведення води

Для відведення води від земляного полотна, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах будемо приймати залізобетонну трубу. Для забезпечення безнапірного режиму протікання води, напір перед трубою повинен бути на 20 % нижчим за висоту труби, для цього має виконуватися умова:

$$H \leq 1.2 h_{\text{тр}}, \quad (2.4)$$

де: $h_{\text{тр}}$ – діаметр труби та H – напір води перед трубою.

Тоді найнижчу висоту насипу над трубою розраховуємо за формулою:

$$H_{\text{min}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{кон}} + h_{\text{зас}}, \quad (2.5)$$

де: $h_{\text{тр}}$ – діаметр труби; $h_{\text{кон}}$ – товщина стінки труби; $h_{\text{зас}}$ – висота засипки, її слід приймати мінімум 0,5 м із умови забезпечення погашення прискорень, що виникають при русі рухомого складу залізниці.

Розміри отвору труби призначаємо у відповідності до гідравлічних розрахунків. Пропускну здатність безнапірної труби визначаємо за формулою А. А. Угінчуса [22]:

$$Q = mb_k \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (2.6)$$

де: m – коефіцієнт витрати, залежить від форми поперечного перерізу і типу вхідного оголовка;

b_k – середня ширина потоку в перерізі з критичною глибиною;

H_0 – повний напір (з врахуванням швидкості підходу потоку).

При максимальній витраті води від зливи і сніготаненню рівній $Q=9,4 \text{ м}^3/\text{с}$ вибираємо трубу із $Q_{\text{зл1\%}}=10,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Вибираємо II тип вхідного оголовка, що обмивається потоком. Діаметр труби становить 1,5 м при напорі 3,29 м. Поперечний переріз труби наведено на рис. 2.2.

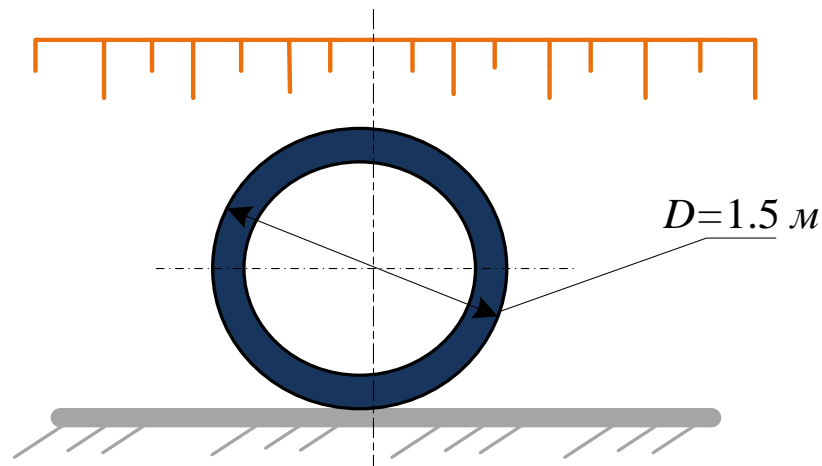


Рисунок 2.2 – Труба із вхідним оголовком, що обмивається потоком води

Для пропуску максимальної витрати води $9,4 \text{ м}^3/\text{с}$ проєкт підсилення проблемної ділянки залізничної колії передбачає влаштування труби діаметром 1,5 м.

Трубу встановлюємо у найбільш зволоженому місці земляного полотна (рис. 2.3) залізничної колії, що експлуатується на ділянці Чернівці – Вадул Сирет.

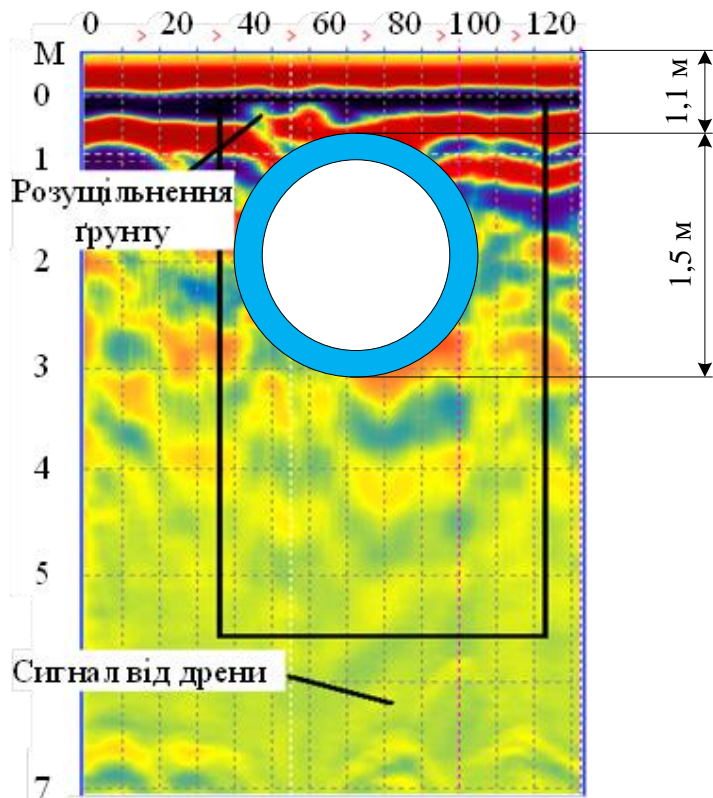


Рисунок 2.3 – Схема встановлення водопропускної труби у тіло насипу земляного полотна залізничної колії на ділянці Чернівці – Вадул Сирет

Висота насипу над трубою становить 1,1 м.

Висновки до розділу 2

У результаті проведеного розрахунку максимальної витрати води на ділянці залізничної колії Чернівці – Вадул Сирет та запропонованому варіанту підвищення несучої здатності проблемної ділянки земляного полотна залізниці отримано наступні висновки:

1. Максимальна витрата води від зливи та сніготанення на ділянці колії Чернівці – Вадул Сирет становить $9,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

2. Для підсилення земляного полотна залізничної колії, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах запропоновано влаштувати залізобетонну трубу діаметром 1,5 м. При цьому труба встановлюється у найбільш водонасичене місце земляного полотна.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПІДСИЛЕНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ТРУБОЮ

3.1. Геометричні параметри досліджуваного насипу залізничної колії

Для підвищення несучої здатності неоднорідного земляного полотна залізничної колії (яке зазнає підтоплення ґрунтовими водами) у межах магістерської роботи запропоновано вкладати у тіло земляного полотна залізобетонну трубу діаметром 1,5 м. Розрахункова схема підсилення земляного полотна наведена на рис. 3.1.

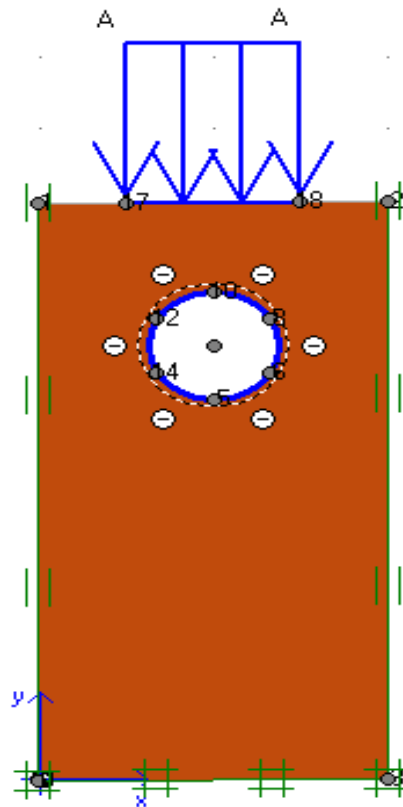


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема підсилення неоднорідного земляного полотна залізничної колії в умовах експлуатації

Розглядається насип висотою 7,0 м. Від вершини насипу земляного полотна 1,1 м вкладається залізобетонна труба 1,5 м. При цьому трубу вкрито у найбільш зволоженій частині земляного полотна колії.

У розрахунках приймається ґрунт типу глина із питомою вагою $27,4 \text{ кН/м}^3$, коефіцієнтом Пуансона $0,27$ та модулем пружності $16,4 \text{ МПа}$. Коефіцієнт зчеплення $c=30 \text{ кПа}$, кут внутрішнього тертя, $\varphi=17 \text{ град.}$ та кут дилантації $\psi=2 \text{ град.}$

Слід зазначити, що шари земляного полотна до глибини $3,2 \text{ м}$ є водонасиченими. Приймається питома вага води 10 кН/м^3 .

Наведені фізико-механічні параметри земляного полотна задаються у програмі скінченно-елементного розрахунку.

3.2. Визначення навантажень на підсилене земляне полотно залізничної колії

На трубу, у тілі насипу залізничної колії, діють постійні та тимчасові навантаження. Постійні навантаження виникають від ґрунтової засипки, а тимчасові – від дії рухомих транспортних засобів залізниць. Ці навантаження передаючись через насип колії, у результаті виникає вертикальний і горизонтальний тиск на ланки труби.

Схеми навантаження на трубу та розрахункові схеми наведені на рис. 3.2 та рис. 3.3 [23].

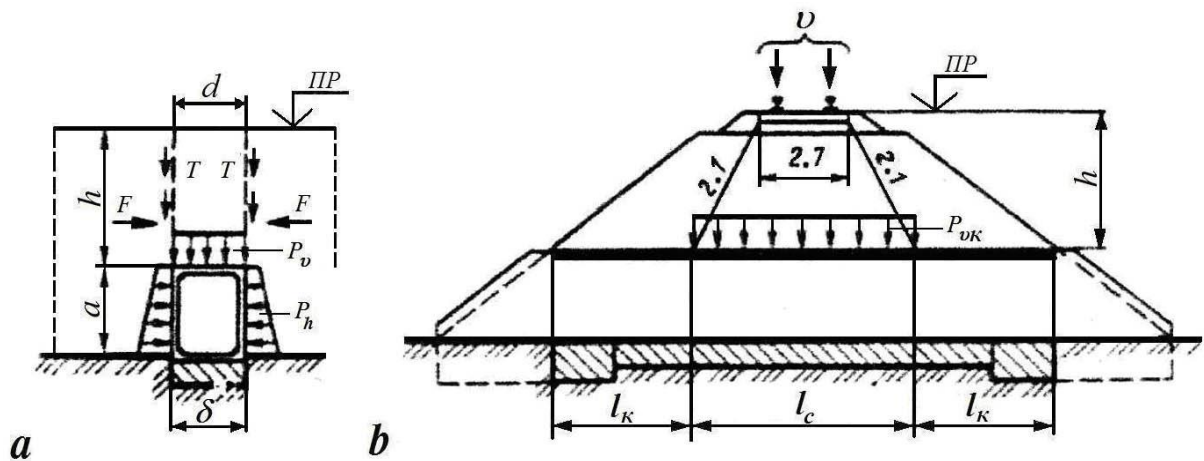


Рисунок 3.2 – Схема навантажень на трубу від залізничного транспорту
a – тиск власної ваги ґрунту насипу на трубу; *b* – тиск тимчасового навантаження від рухомого складу залізниць

Вертикальний тиск, що діє на трубу від постійного навантаження, розраховується із врахуванням сил тертя. Сили тертя діють на вертикальні площини, яка обмежує стовп насипу під трубою (рис. 3.2, *a*). Слід зазначити, що сили тертя виникають у результаті осідання насипу. Інтенсивне осідання насипу відбувається у початковий період його будівництва. Осідання насипу над трубою менше, аніж на ділянках поряд з трубою. Різниця осідання насипу має максимальне значення на рівні верху труби, однак на рівні поїзда, різниця осідань насипу набагато менша при високих насипах.

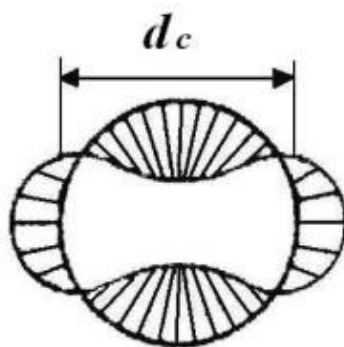


Рисунок 3.3 – Епюра розподілу моментів у круглій трубі від дії навантажень

Величину сил тертя F , що діють на стовп насипу над трубою, направлені вниз визначаємо, помноживши сили нормального тиску на граничні площини і на коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту насипу. Слід зазначити, що тиск ґрунту насипу на трубу буде вищим за вагу стовпа ґрунту, яка розташована над трубою.

Вертикальний рівномірно-розподілений тиск на трубу визначаємо за формулою:

$$P = C \gamma_n H , \quad (3.1)$$

Величина тиску має розмірність, МПа.

де $C > 1$ – безрозмірний коефіцієнт. Він враховує сили тертя; γ_n – об’ємна вага ґрунту насипу, т/м³; H – висота ґрунту над склепінням труби. Рахується від підшви шпали до склепіння труби.

Величину коефіцієнта C , що враховує сили тертя ґрунту при невисокому насипу розраховуємо за формулою:

$$C = 1 + \frac{H}{D} \mu \operatorname{tg} \varphi_n = 1 + A \mu \operatorname{tg} \varphi_n. \quad (3.2)$$

У випадку високого насипу залізничної колії розраховуємо уточнене значення коефіцієнту тертя. Для цього розраховуємо величину A за формулою:

$$A = \frac{Sh}{H} \left(2 - \frac{SDn}{H^2} \right), \quad (3.3)$$

де h – висота труби, м; S – коефіцієнт відносної жорсткості основи. У нашому випадку для суглинків його значення приймаємо рівним 10.

Горизонтальний постійний тиск ґрунту насипу на трубу (тс/м^2) визначаємо за формулою:

$$e_p = \mu \gamma_n \cdot H', \quad (3.4)$$

де приймаємо $H' = H$ у зв'язку із круглими трубами.

Слід зазначити, що тимчасове навантаження від рухомого складу залізниць, яке знаходиться на насипі, також викликає вертикальний і горизонтальний тиски на трубу. При цьому тимчасове вертикальне навантаження розподіляється у насипі під кутом. Цей кут рівним $\operatorname{arctg} 1/2$ до вертикалі. Приймаємо навантаження від залізничного рухомого складу $2K$ (і при навантаженні С14 – 28 т/мп колії). Довжина шпал, через які навантаження розподіляється впоперек вісі колії, становить 2,7 м. Таким чином отримуємо формулу для розрахунку вертикального тиску на трубу (т/м^2)

$$q = \frac{2K}{2,7 + H} = \frac{28}{2,7 + H}. \quad (3.5)$$

Горизонтальний тиск від рухомого складу залізничного транспорту визначаємо за формулою:

$$e_q = \mu \cdot q, \quad (3.6)$$

де q – приймаємо із розрахунків вертикального тиску при $H' = H$ для круглих труб.

Ланки круглих труб розраховують як кільця, що працюють в умовах нерівномірного радіального стиску. Згинальні моменти в кільці у вертикальних і горизонтальних перерізах визначають за формулою:

$$M_{роз} = \pm \nu r^2 (n_p P + n_t q) (1 - \mu). \quad (3.7)$$

При розрахунку згинального моменту враховується вплив постійних тисків p і e_p і тимчасових P і e_q . Також враховуються коефіцієнти перевантаження n_p і n_t ; нормативний кут внутрішнього тертя $\mu = \pm 5^\circ$; r – радіус кільця труби по середині товщини ланки та коефіцієнт, який враховує умови обпирання ланки: для ланок, укладених на фундаменті приймаємо рівним $\nu = 0,22$; а на ґрунтову основу – $\nu = 0,25$.

Слід зазначити, що за розрахованим значенням згинального моменту призначається товщина кільця труби із умови недопущення розвитку тріщин у бетоні труби.

Для визначення сил тиску на трубу, яка знаходиться у тілі насипу залізничної колії прийнято наступні вихідні дані: висота засипки над склепінням труби становить 1,1 м (рис. 3.1), величина діаметру труби становить 1,5 м; величина щільності ґрунту засипки $\gamma_n = 17,7 \text{ кН/м}^3$; кут внутрішнього тертя ґрунту – $\varphi_n = 30,0^\circ$; коефіцієнт відносної жорсткості основи – $S = 1,0$. Для врахування динамічних властивостей від рухомого складу залізниць було прийнято навантаження від залізничного рухомого складу, рівне $2K$ (для навантаження С14 – 28 т/м. п. колії) при довжині шпал 2,7 м.

На рис. 3.4 наведено розрахунок сил тисків від постійного навантаження, а на рис. 3.5 – від тимчасового навантаження рухомого складу залізниць.

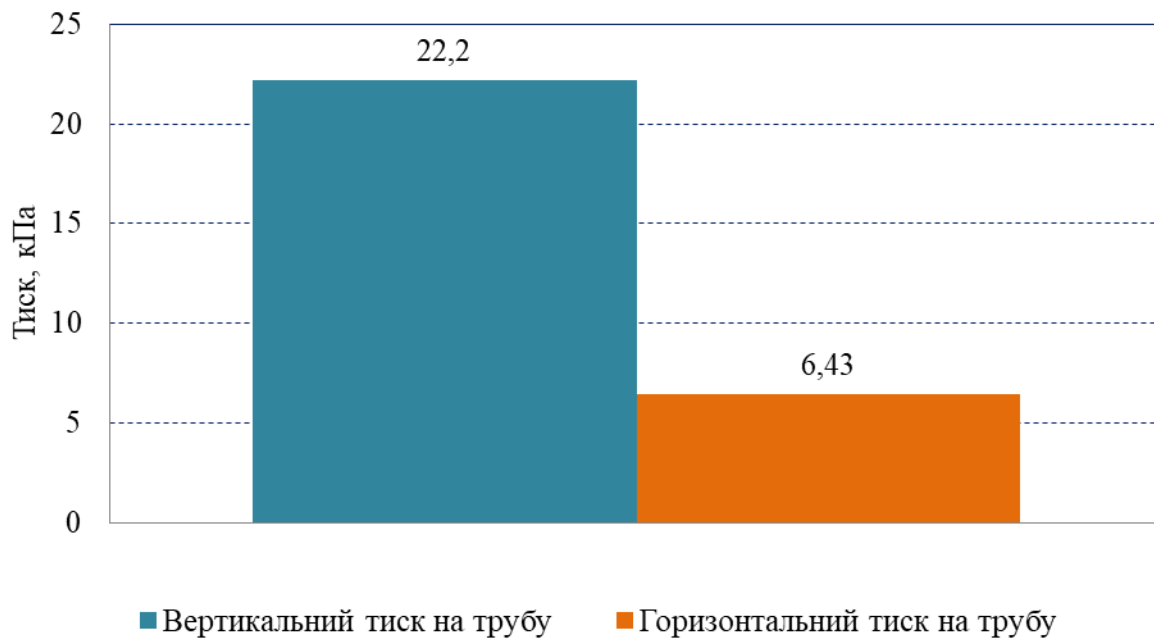


Рисунок 3.4 – Вертикальний та горизонтальний тиски на трубу від постійного навантаження

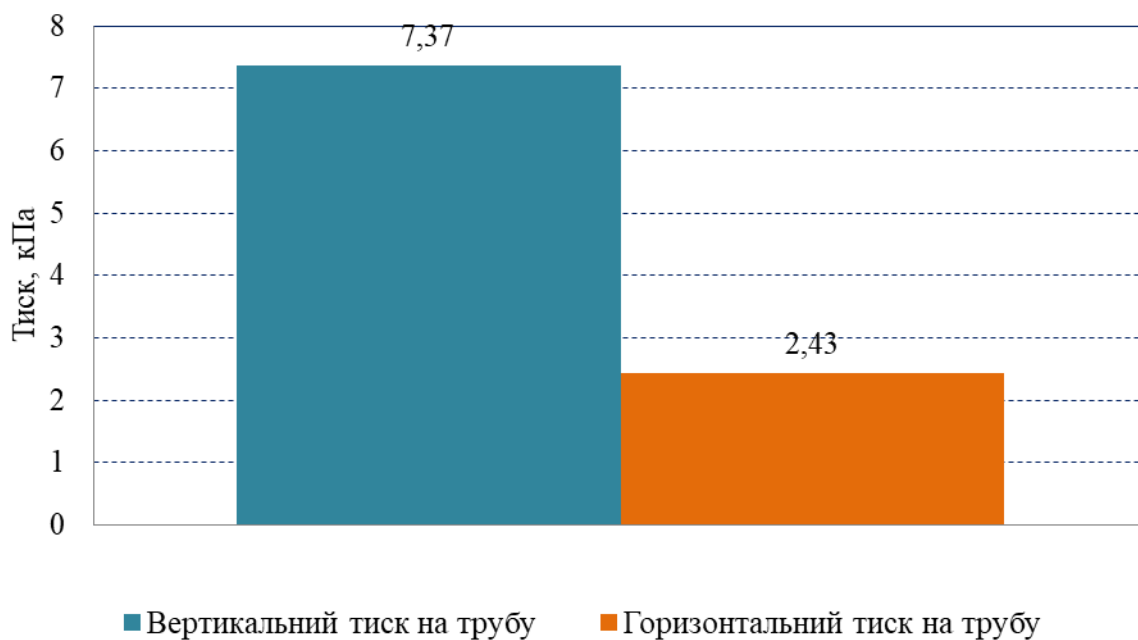


Рисунок 3.5 – Вертикальний та горизонтальний тиски на трубу від тимчасового навантаження рухомого складу залізниць

рівновагу зсувних та утримуючих сил на даній площадці земляного полотна, що описується формулою:

$$\tau_n = |\sigma_n| \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (3.8)$$

де φ і c – кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення ґрунту земляного полотна відповідно.

У довільній площадці земляного полотна можуть бути визначені компоненти нормальних напружень σ_n та дотичних напружень τ_n . Необхідно, щоб відомими були напруження σ_x , σ_y , τ_{xz} . Вони мають бути відомими на двох взаємно перпендикулярних площадках, що проходять через одну і ту ж точку:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_z \sin^2 \alpha + \tau_{xz} \sin 2\alpha \\ \tau_n &= (\sigma_x - \sigma_z) \sin \alpha \cos \alpha - \tau_{xz} \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (3.9)$$

Максимальне σ_1 і мінімальне σ_2 значення напружень визначаються з умовами рівноваги за формулою:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \quad (3.10)$$

У випадку взаємно перпендикулярних двох головних площадок формулу (3.9) запишемо у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \sin^2 \alpha_1 \\ \tau_n &= (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Співставляючи рівнянь (3.8) і (3.10) отримаємо кут нахилу площадок ковзання до головних площадок, що буде рівним $45^\circ \pm \varphi/2$. Умова міцності ґрунту в точці за Мором-Кулоном має вигляд:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \sin \varphi - c \cos \varphi = 0 \quad (3.12)$$

Згідно викладеної теорії, круг Мора не повинен перетинати пряму, яка виражає закон Кулона. Оскільки ґрунт не може сприймати напружений стан.

3.4. Плоска скінченно-елементна модель земляного полотна залізничної колії

При плоскій розрахунковій моделі земляного полотна залізничної колії, у програмному комплексі Plaxis, використовуємо трикутні скінченні елементи плоскої деформації із регулярною сіткою розбивки досліджуваної області. Скінченно-елементна модель наведена на рис. 3.7.

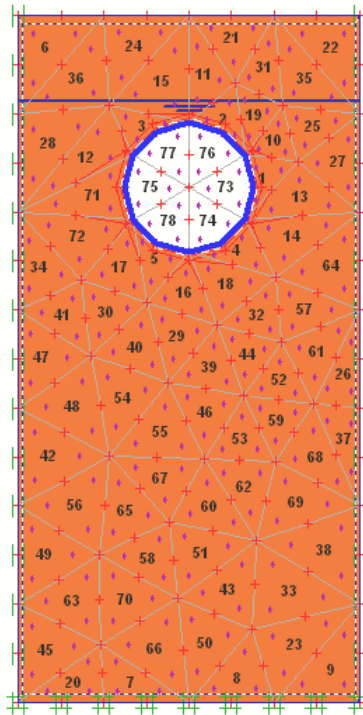


Рисунок 3.7 – Плоска скінченно-елементна модель земляного полотна залізничної колії підсиленого залізобетонною трубою

На рис. 3.8 наведено схему із заданням граничних умов на бокових поверхнях моделі. У верхній області скінченно-елементної моделі не задаємо закріплення. Вузли на бокових поверхнях моделі закріплюємо рухомими в'язями, а вузли у низу розрахункової моделі закріплюємо нерухомими в'язями.

У даній моделі залізобетонну трубу моделюємо стержневими скінченним елементами.

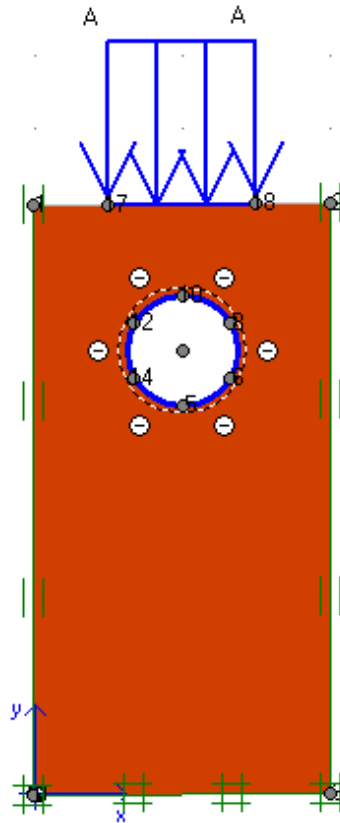


Рисунок 3.8 – Схема задання закріплень моделі земляного полотна

3.5. Результати розрахунку напружено-деформованого стану земляного полотна підсиленого залізобетонною трубою

На рис. 3.9 наведено результати розрахунку деформацій, які виникають у земляному полотні.

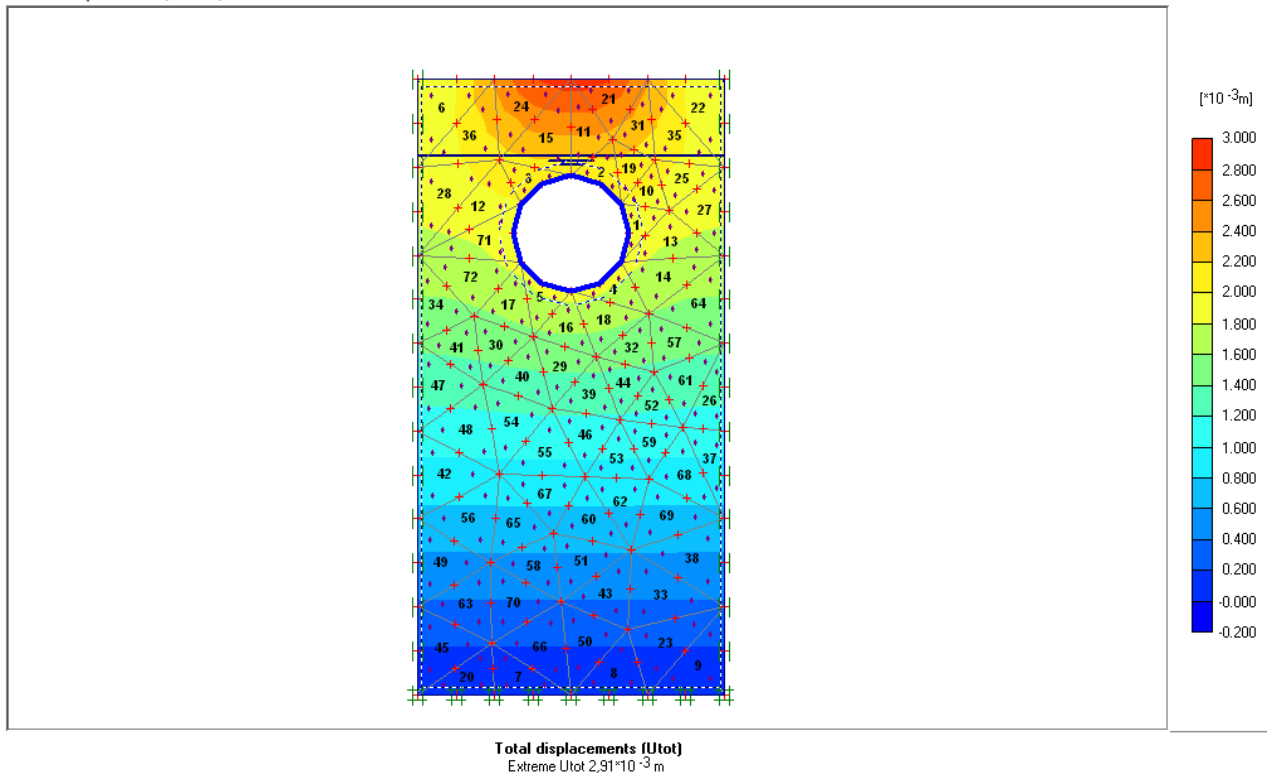


Рисунок 3.9 – Результати розрахунку загальних деформацій у земляному полотні залізничної колії

Із проведених результатів розрахунку видно, що максимальні деформації земляного полотна спостерігаються у вершині. Їх величина складає 3,0 мм. Далі деформації земляного полотна зменшуються і на глибині 7,0 м вони становлять - 0,2 мм.

Результати розподілу вертикальних та горизонтальних деформацій земляного полотна наведено на рис. 3.10 та рис. 3.11 відповідно.

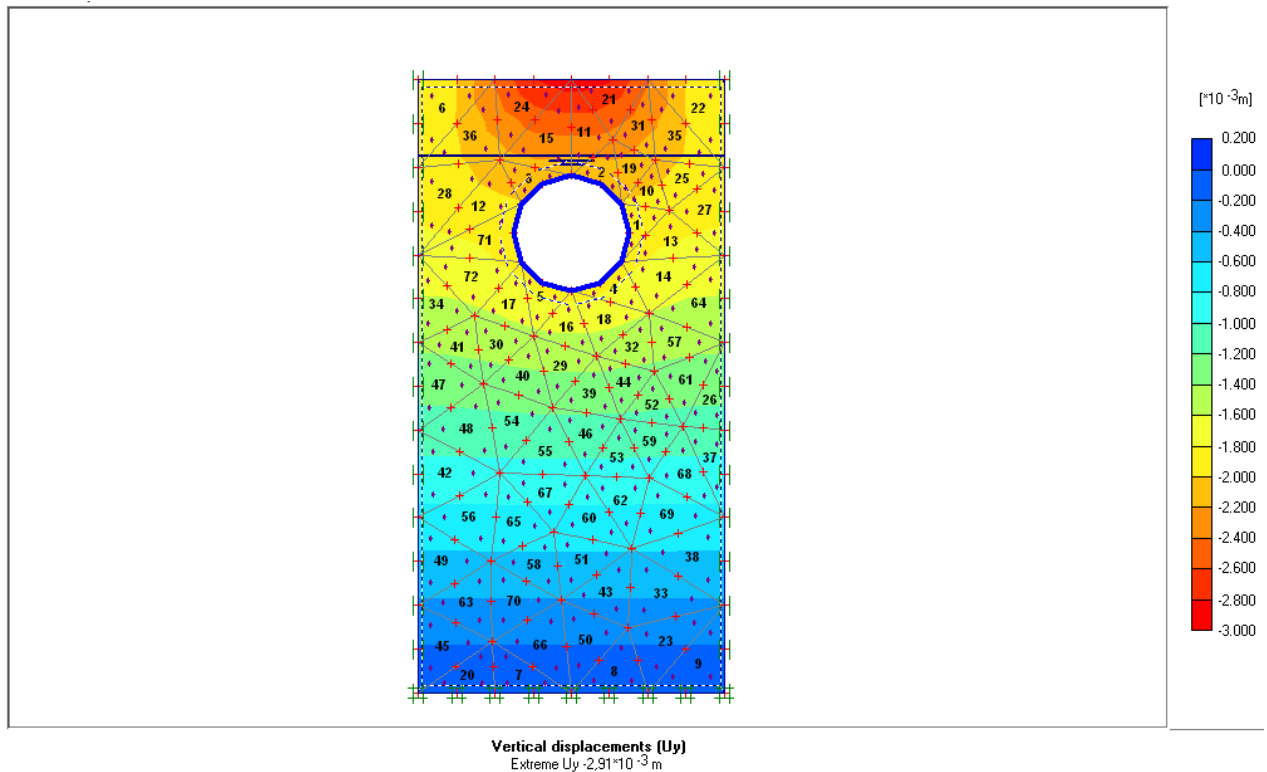


Рисунок 3.10 – Результати розрахунку вертикальних деформацій земляного полотна

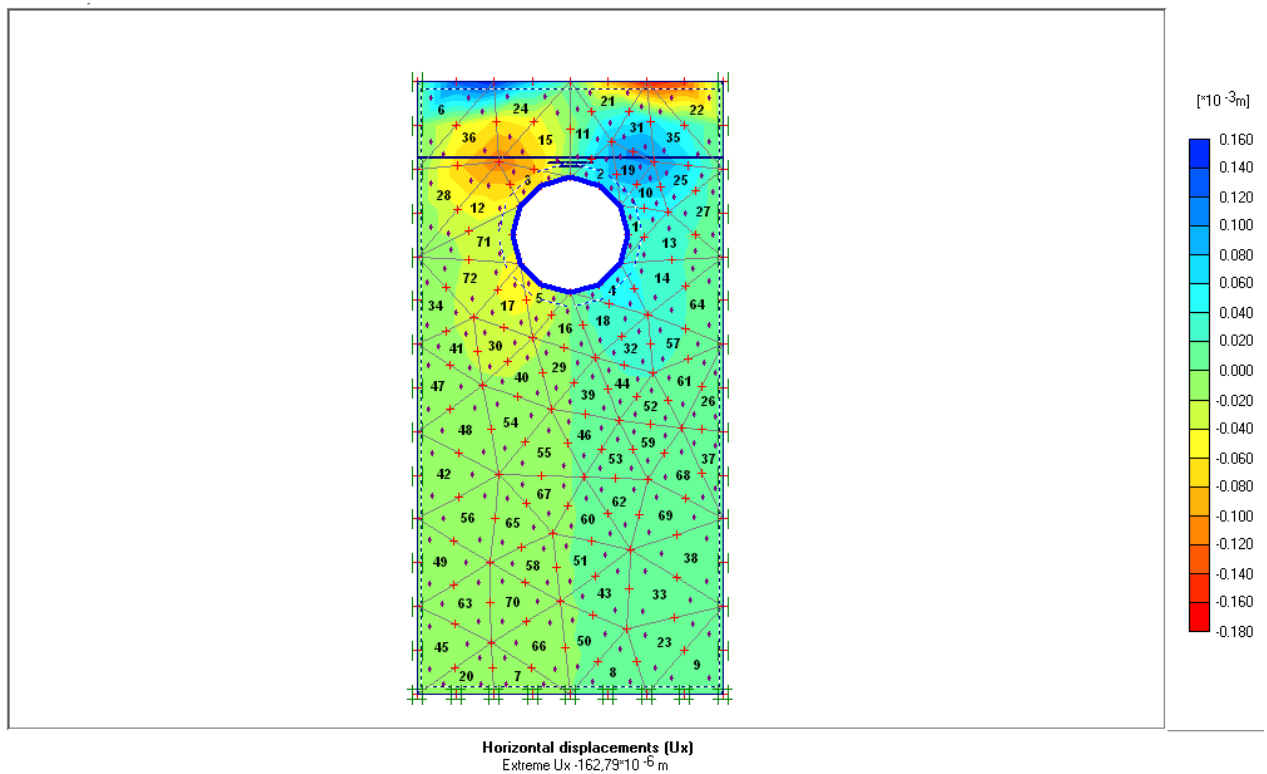


Рисунок 3.11 – Результати розрахунку горизонтальних деформацій земляного полотна

Із рис. 3.10 та рис. 3.11 видно, що максимальні вертикальні деформації земляного полотна становлять 0,2 мм, а максимальні горизонтальні – 0,18 мм.

Результати розрахунку напружень, що виникають у земляному полотні залізничної колії наведено на рис. 3.12.

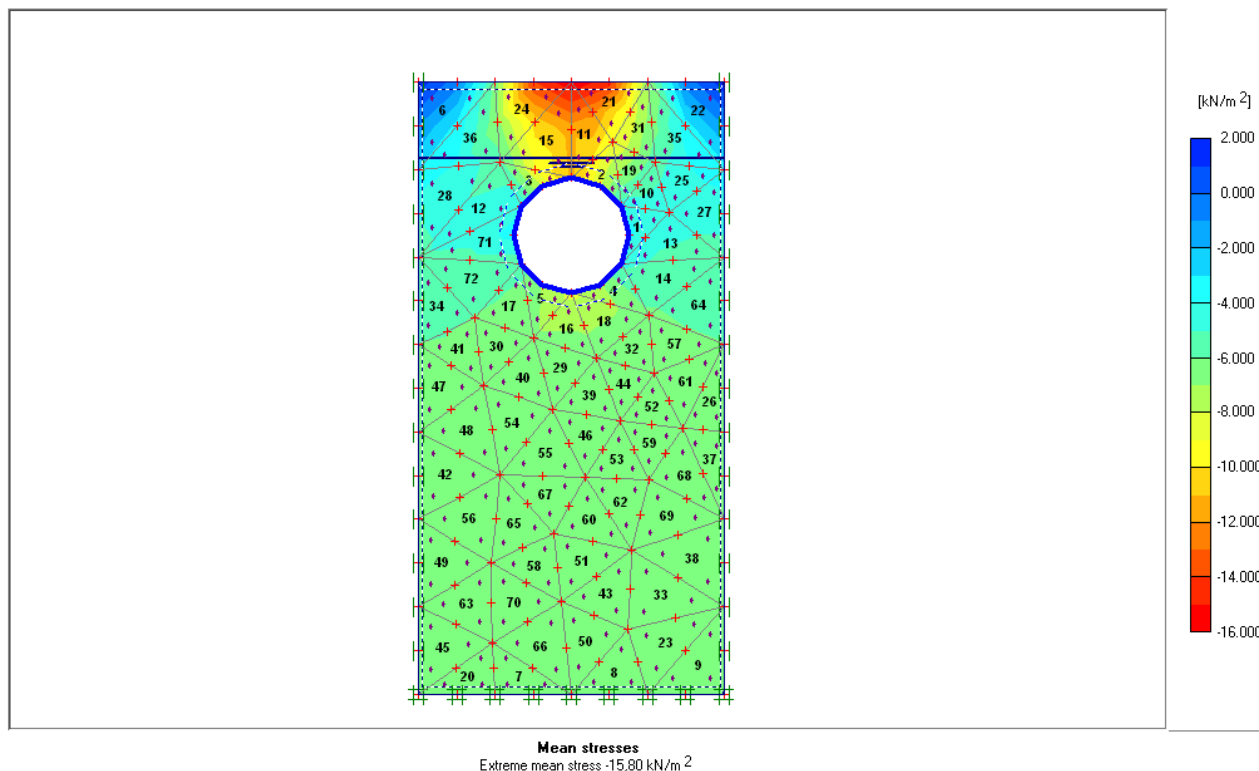


Рисунок 3.12 – Розподіл середніх напружень у земляному полотні залізничної колії

Максимальні напруження, які виникають у земляному полотні залізничної колії становлять 16 кПа. При чому максимальні їх значення виникають у вершині біля залізобетонної труби.

На рис. 3.13 наведено результати розподілу пластичних зон, які виникають у земляному полотні залізничної колії.

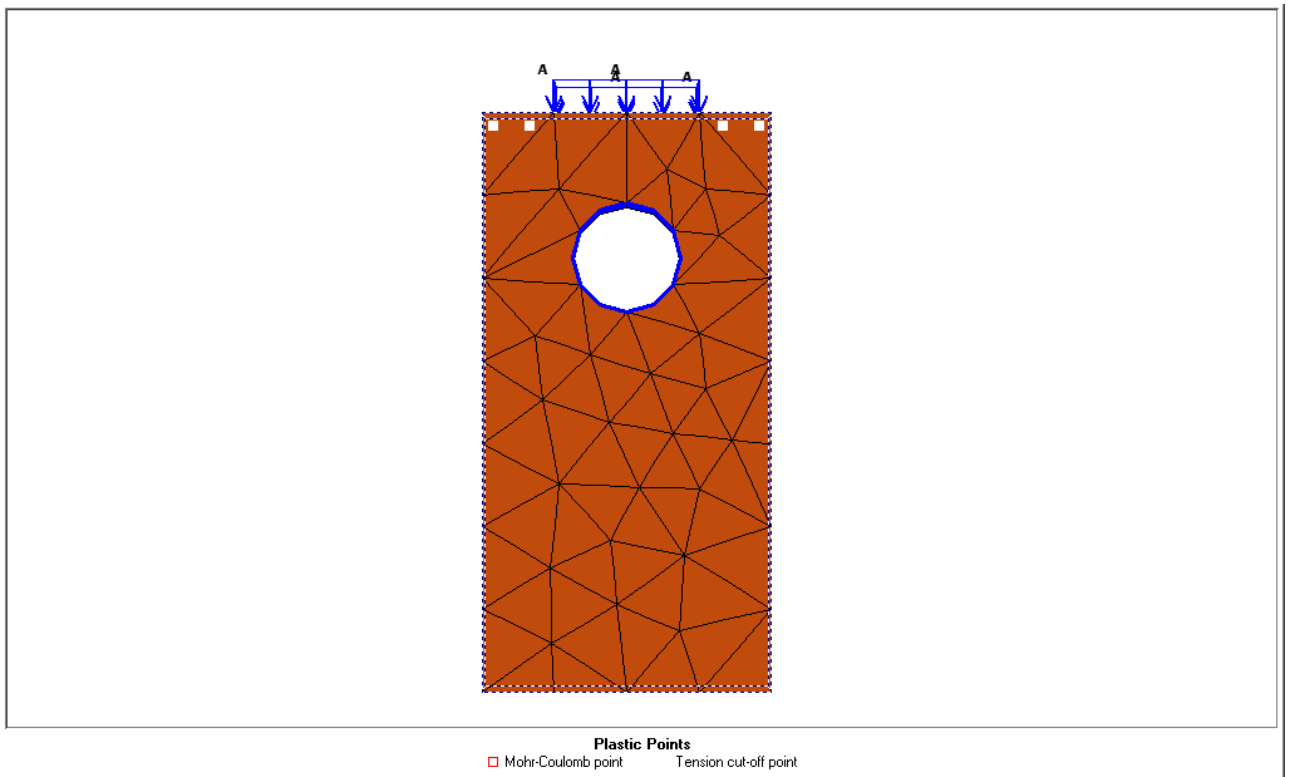


Рисунок 3.13 – Розподіл пластичних зон у ґрунтовій засипці земляного полотна залізничної колії

На рис. 3.13 маємо виражені зони із білими квадратами. Це свідчить про локальний зсув ґрунту у розтягнутій області земляного полотна. Можна стверджувати, що поява пластичних деформацій у ґрунтовій засипці земляного полотна незначно впливає на несучу здатність ділянки залізниці. Оскільки концентрація зсувних зон є дуже малою.

Висновки до розділу 3

Із проведеного розрахунку напружено-деформованого стану земляного полотна залізничної колії встановлено наступне:

1. При розрахунку сил тисків на земляне полотно від постійного навантаження встановлено, що величина вертикального тиску становить 22,2 кПа, а горизонтального – 6,43 кПа. При розрахунку сил тисків від тимчасового навантаження, величина вертикального тиску становить 7,37 кПа, а горизонтального – 2,43 кПа.

2. При дії навантажень рухомого складу залізниці, максимальні значення деформацій та напружень у підсиленому земляному полотні залізобетонною трубою, спостерігаються у вершині. При цьому величина деформацій складає 3,0 мм, а напружень – 16 кПа.

3. Підсилення неоднорідного земляного полотна залізничної колії із використанням залізобетонних труб є ефективним методом, що дозволяє підвищити несучу здатність полотна залізниці.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ ПОЗИЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

4.1. Рекомендації із запровадження систем нагляду за станом земляного полотна із позиції інтероперабельності

Для утримання проблемних ділянок земляного полотна залізничної колії, необхідно розробити комплексну систему нагляду та моніторингу зміни технічного стану земляного полотна у процесі експлуатації [20]. Оскільки при отриманні достовірних даних зміни технічного стану земляного полотна залізниць за допомогою систем моніторингу, дозволить систематизувати та аналізувати особливості зміни технічного стану земляного полотна у процесі експлуатації. Це у свою чергу призведе до прийняття своєчасних рішень для проведення поточних відновлювальних робіт із покращення стану земляного полотна.

Слід зазначити, що несвоєчасне виконання ремонтних робіт призводить до розвитку серйозних технічних несправностей, а це у свою чергу погіршує безпеку експлуатації колії, призводить до необхідності виконання капітального ремонту чи модернізації, що тягне за собою значну витрату коштів.

Рекомендована система технічного обслуговування земляного полотна наведена на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Система технічного нагляду за земляним полотном, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах

Слід зазначити, що використання планово-попереджувальної системи оцінки зміни технічного стану земляного полотна призведе до підвищення його несучої здатності.

Враховуючи цей факт, що навантаження на вісь збільшується, то впровадження «розумних» систем оцінки технічного стану земляного полотна є дуже актуальним. Оскільки це дозволить на основі статистичних зібраних даних отримати контрольні параметри зміни технічного стану. У результаті зміна контрольних параметрів буде сигналом загрози безпеці руху, у результаті чого

буде повідомлення про загрозу руху, або уведення певних обмежень, скажімо, зниження швидкості руху на проблемній ділянці залізничної колії.

У загальному, системи технічної діагностики земляного полотна можна поділити на системи планово-попереджувальні, системи поточного утримання земляного полотна та профілактичні системи.

Згідно принципів інтероперабельності система контролю технічного стану земляного полотна повинна передбачати виконання ряду вимог (рис. 4.2):

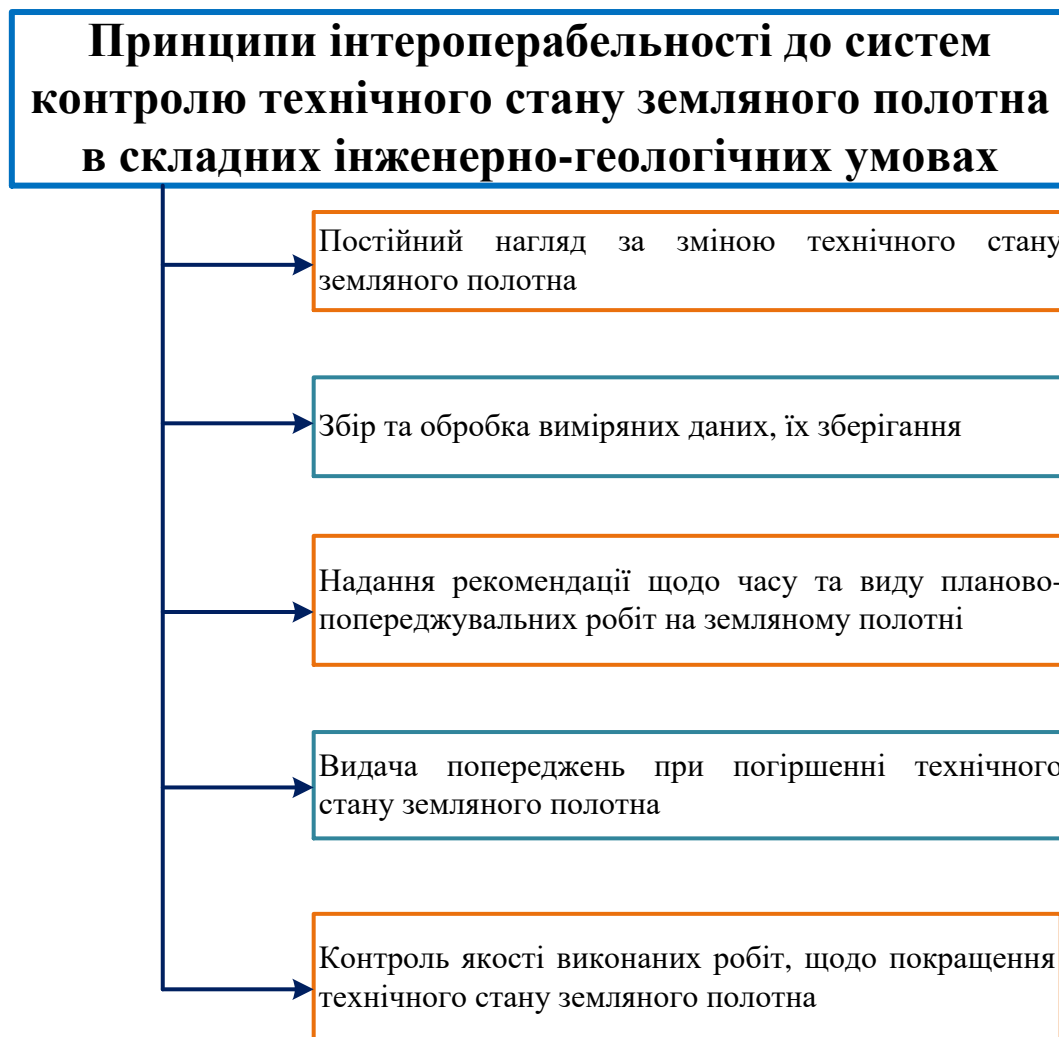


Рисунок 4.2. Застосування принципів інтероперабельності, щодо систем моніторингу технічного стану земляного полотна у складних інженерно-геологічних умовах

- своєчасний нагляд за зміною технічного стану земляного полотна;
- збір та обробка вимірних даних, їх зберігання;

- надання рекомендації щодо часу та виду планово-попереджувальних робіт на колії;
- видача попереджень при погіршенні технічного стану земляного полотна;
- контроль якості виконаних робіт, щодо покращення технічного стану земляного полотна.

Орієнтовна структура нагляду за зміною технічного стану земляного полотна наведена на рис. 4.3.

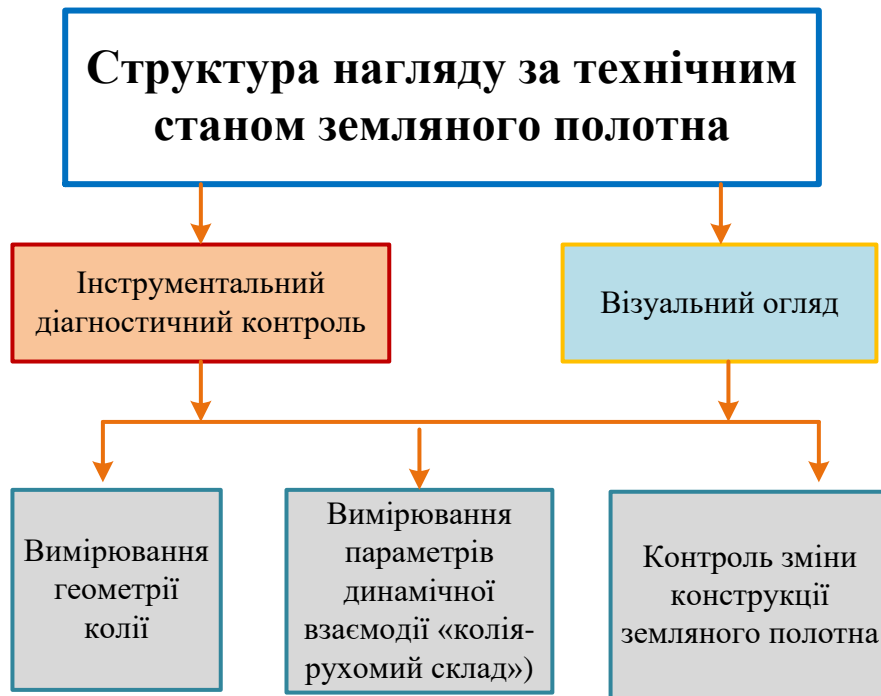


Рисунок 4.3 – Структура нагляду за зміною технічного стану земляного полотна

Слід зазначити, що на залізницях країн Європейського Союзу практикують застосування різних систем технічного контролю інфраструктури залізниць. Це дозволяє економічно вигідно керувати інфраструктурою залізниць, що базується на: прийнятті своєчасних рішень, плануванні профілактичних заходів та розподілу ресурсів із максимальною ефективністю. Все це призводить до підвищення безпеки руху транспорту.

4.2. Розробка рекомендацій із застосування систем моніторингу технічного стану земляного полотна на залізницях України

Розвиток залізничного транспорту потребує впровадження нових технологій та конструкцій. Особливе місце у забезпеченні безперервного та безпечного перевезення вантажів та пасажирів є забезпечення технічно справного стану всіх елементів залізничної колії. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти технічному стану земляному полотну, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах. Одним із перспективних методів управління інфраструктурою залізниць є використання сучасних технологій та вимірювальних засобів при діагностиці технічного стану елементів колії.

На сьогоднішній день на залізницях України створено підрозділ «Центр діагностики залізничної інфраструктури». І це вже є кроком вперед. Основними напрямками центру діагностики є:

- обстеження та оцінка технічного стану елементів залізничних колій;
- діагностика та випробування контактної мережі та високовольтного електрообладнання та інших об'єктів інфраструктури залізниць;
- експлуатація та ремонт засобів вимірювальної техніки та випробувального обладнання;
- забезпечення ефективного функціонування та розвитку виробничо-технологічного комплексу залізничного транспорту загального користування;
- здійснення контролю технічного стану та аналіз роботи пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації, поїзного радіозв'язку та засобів автоматичного контролю технічного стану рухомого складу, мобільними засобами діагностики із встановленою періодичністю. Складання, підтримка в актуальному стані та передача для експлуатації електронних карток для бортових локомотивних пристроїв безпеки руху.

При цьому діагностика залізничної колії та контактної мережі залізниць виконується мобільними та технічними засобами із встановленою періодичністю діагностики.

Також центр діагностики проводить наступні види діагностики та обстеження:

- обстеження та здійснення контролю за станом та утриманням інженерних споруд;

- виконання інженерно-геологічних обстежень, геодезичної зйомки місць «хворого» земляного полотна;

- періодичний контроль стану об'єктів земляного полотна, що знаходяться у складних інженерно-геологічних умовах;

- перевірка плану та профілю залізничних колій;

- складання масштабних схем станцій;

- неруйнівний контроль рейок із використанням засобів дефектоскопії;

- експлуатація та ремонт засобів вимірювальної техніки та випробувального обладнання;

- розробка нормативної, технічної та технологічної документації.

Слід зазначити, що для повноцінного контролю технічного стану земляного полотна залізниць необхідно проводити діагностику у порядку, що наведено на рис. 4.4.

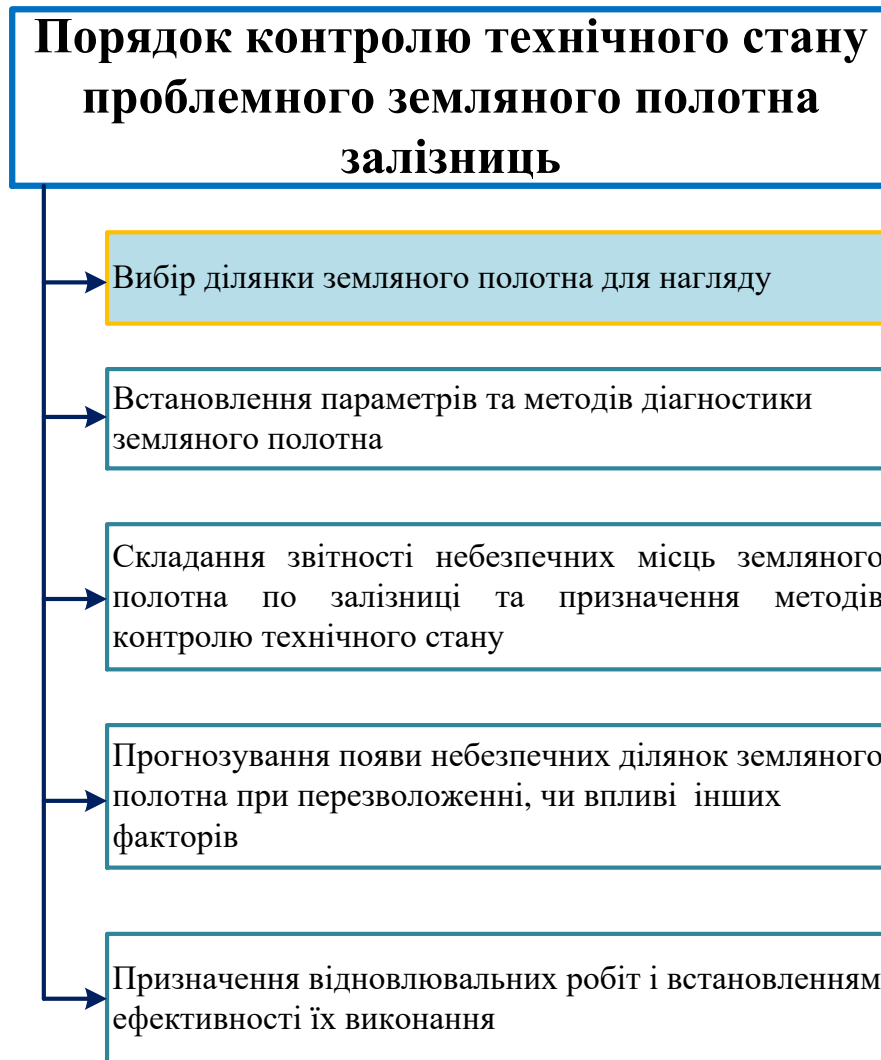


Рисунок 4.4 – Порядок контролю технічного стану земляного полотна у складних інженерно-геологічних умовах

Небезпечні місця земляного полотна можна встановити за результатами проїзду вагону-колівимірювача. Далі для отримання об'єктивних даних про несучу здатність хворого земляного полотна можна використати сучасні підходи діагностики, це використання геофонів (рис. 4.5), георадарів (рис. 4.6), методу MASW (рис. 4.7), застосування методів вимірювання щільності ґрунтів земляного полотна за швидкістю поширення звукової хвилі удару на основі швидкості хвиль удару.

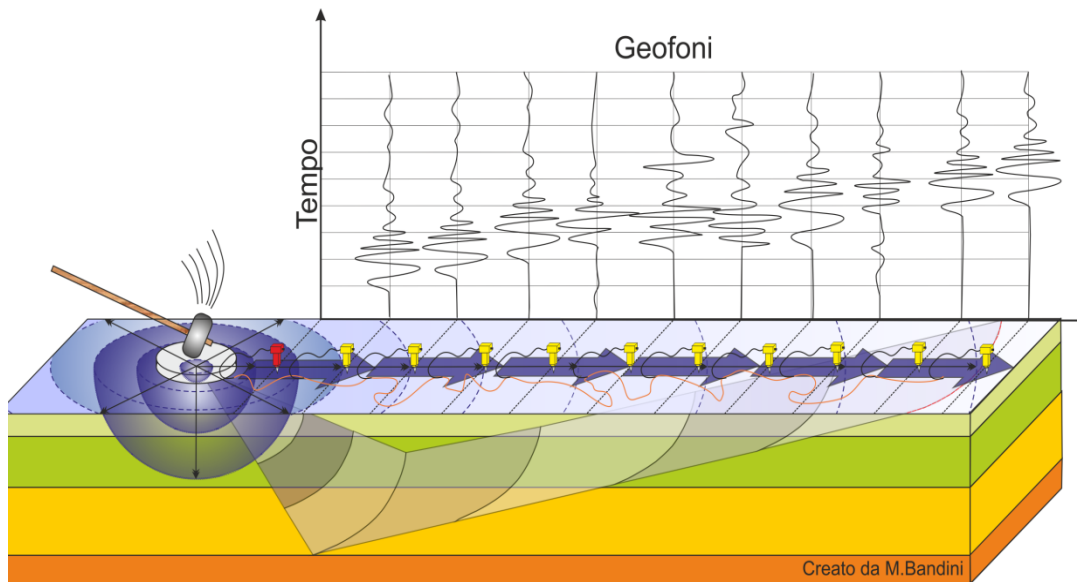


Рисунок 4.5 – Принципова схема діагностики земляного полотна залізниць із використанням методу MASW [25]

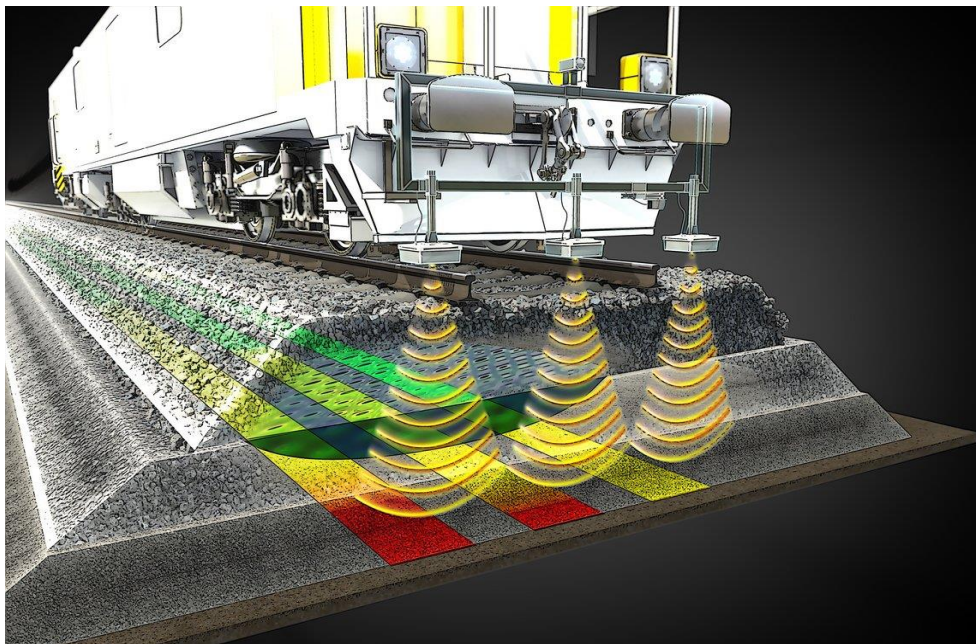


Рисунок 4.6 – Метод діагностики технічного стану земляного полотна із використанням георадару [26]

При одновимірному дослідженні отримують поширення звукової хвилі удару тільки у вертикальній площині (рис. 3.4).

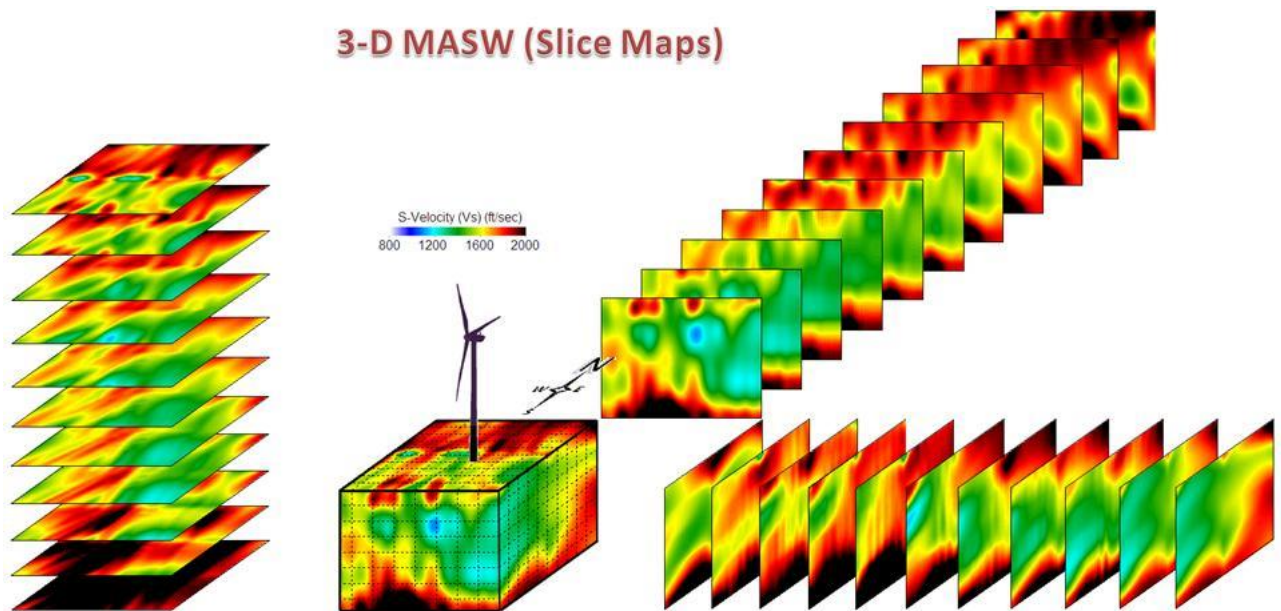


Рисунок 4.7 – Діагностика земляного полотна залізничної колії 3-D методом MASW [27, 28]

Слід зазначити, що діагностика технічного стану земляного полотна повинна відбуватися безперервно, або із певною періодичністю. Все залежить від ступеню небезпеки хворого земляного полотна.

Розвиток сучасних систем та методів діагностики земляного полотна залізниць України дозволить інтегрувати українські залізниці у європейський залізничний простір.

Застосування даних рекомендацій дозволить забезпечити поліпшення поточного стану земляного полотна. Також дозволить встановити фактичний стан земляного полотна у короткий час та забезпечить оперативне та економічно вигідне управління інфраструктурною.

Висновки до розділу 4

На основі запропонованих рекомендацій оціни технічного стану земляного полотна залізничної колії отримано наступні висновки:

1. Для вчасного виявлення та попередження розвитку несправностей на залізничній колії є встановлення складних місць земляного полотна, яке експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах.

2. Отримання достовірної інформації про несучу здатність проблемного земляного полотна можна із використанням сучасних систем діагностики та технічного контролю. Це системи які базуються на визначенні ступеню щільності земляного полотна методом оцінки швидкості поширення пружної хвилі удару, системи виконанні на основі використання геофонів та георадарів.

3. Впровадження перспективних систем діагностики земляного полотна залізниць дозволить підвищити безпеку руху рухомого складу та призведе до раціонального економічного планування витрат на утримання залізничної інфраструктури

4. З метою інтеграції залізниць України у єдиний європейський простір, з позиції TSI «Інфраструктура» необхідно впроваджувати сучасні методи моніторингу технічного стану інфраструктури залізниць.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень підвищення несучої здатності земляного полотна залізничної колії, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах отримано наступні висновки:

1. Для реалізації планів, пов'язаних із підвищенням швидкості руху поїздів та збільшенні пропускної та провізної спроможності транспортних коридорів, необхідно мати достовірну інформацію про технічний стан основи залізниць – земляного полотна. Для цього необхідно розробити методика для визначення несучої здатності земляного полотна, і за отриманими даними приймати рішення щодо його посилення та підвищення несучої здатності.

2. Для підсилення земляного полотна залізничної колії, що експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах запропоновано влаштувати залізобетонну трубу діаметром 1,5 м. При цьому труба встановлюється у найбільш водонасичене місце земляного полотна.

3. При розрахунку сил тисків на земляне полотно від постійного навантаження встановлено, що величина вертикального тиску становить 22,2 кПа, а горизонтального – 6,43 кПа. При розрахунку сил тисків від тимчасового навантаження, величина вертикального тиску становить 7,37 кПа, а горизонтального – 2,43 кПа.

4. Для вчасного виявлення та попередження розвитку несправностей на залізничній колії є встановлення складних місць земляного полотна, яке експлуатується у складних інженерно-геологічних умовах. Отримання достовірної інформації про несучу здатність проблемного земляного полотна можна із використанням сучасних систем діагностики та технічного контролю. Це системи які базуються на визначенні ступеню щільності земляного полотна методом оцінки швидкості поширення пружної хвилі удару, системи виконанні на основі використання геофонів та георадарів.

5. Впровадження перспективних систем діагностики земляного полотна залізниць дозволить підвищити безпеку руху рухомого складу та призведе до

раціонального економічного планування витрат на утримання залізничної інфраструктури.

6. З метою інтеграції залізниць України у єдиний європейський простір, з позиції TSI «Інфраструктура» необхідно впроваджувати сучасні методи моніторингу технічного стану інфраструктури залізниць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ