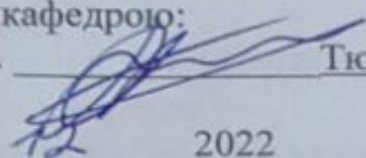


НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАСТЕРСТВА І ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

Проф., д.т.н.  Тютькін О. Л.

« 13 »  2022

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

ОС «магістр»

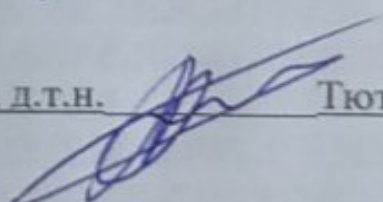
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема Приведення Європейських концепцій підсилення земляного полотна
в умовах українських залізниць

Theme Implementation of European concepts of embankment strengthening
in the conditions of Ukrainian railways

Виконав:  Пфайфер Б. А.

Керівник:
Проф., д.т.н.  Тютькін О. Л.

Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Порайдер Богдан Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи 1М2126 ННЦ «Організація будівництва та експлуатації доріг»

спеціальності 273 «Залізничний транспорт»

(код та назва спеціальності)

освітньої програми «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня магістр

(бакалавр, магістр)

заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Приведення Європейських конвенцій підписання залізничного колотня в умови українських залізниць

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений(а) з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Студент(ка)

(підпис)

Порайдер Б.А.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата

13.12.2022

Керівник ВКР

(підпис)

Розин О.А.

(прізвище, ім'я, по батькові)

МИНИСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технології
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАСТЕРСТВА І ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

Проф., д.т.н. _____ Тютюкін О. Л.

«_____» _____ 2022

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНІ МАГІСТЕРСКОЇ РОБОТИ

ОС «магістр»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема Приведення Європейських концепцій підсилення земляного полотна
в умовах українських залізниць

Theme Implementation of European concepts of embankment strengthening
in the conditions of Ukrainian railways

Виконав: _____ Пфайфер Б. А.

Керівник:

Проф., д.т.н. _____ Тютюкін О. Л.

Дніпро
2022

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

ННЦ: «Мости і тунелі»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Пфайферу Богдану Анатолійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Приведення Європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць»

Керівник роботи: Тюткін Олексій Леонідович, д.т.н., професор

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

затверджені наказом від «19» жовтня 2022 р. № 1069ст

2. Строк подання студентом роботи: «12» грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу літературних джерел, конструкцій земляного полотна та дані про концепції підсилення, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз причин підвищення деформування земляного полотна залізниць України. Розділ 2. Аналіз концепцій підсилення земляного полотна в Україні та Європейському Союзі. Розділ 3. Визначення ефективності Європейської концепції підсилення земляного полотна. Висновки.

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

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10...12 слайдів).

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

6. Консультанти розділів роботи:

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Аналіз причин підвищення деформування земляного полотна залізниць України.	24.10.2022 – 06.11.2022	
2	Розділ 2. Аналіз концепцій підсилення земляного полотна в Україні та Європейському Союзі.	07.11.2022 – 20.11.2022	
3	Розділ 3. Визначення ефективності Європейської концепції підсилення земляного полотна. Висновки. Оформлення ВКР.	21.11.2022 – 11.11.2022	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	12.12.2022 – 18.12.2022	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри.	19.12.2022	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії.	19.12.2022-25.12.2022	

Студент

(підпис)

Богдан ПФАЙФЕР

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ПІДВИЩЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ.....	7
1.1 Загальний стан земляного полотна на залізницях України	7
1.2 Аналіз деформацій земляного полотна.....	8
1.3 Вимоги до проєктних рішень щодо усунення деформацій земляного полотна	15
2 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ ПІДСИЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УКРАЇНІ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ.....	18
2.1 Основні концепції підсилення земляного полотна в умовах української залізниці	18
2.2 Варіанти підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів	19
2.3 Варіанти підсилення із застосуванням захисних ґрунтових шарів.....	24
2.4 Основні концепції підсилення земляного полотна в Європейському союзі.....	30
3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КОНЦЕПЦІЇ ПІДСИЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	33
3.1 Розробка скінченно-елементної моделі підсиленого земляного полотна	33
3.2 Напружено-деформований стан підсиленого згідно українських концепцій земляного полотна.....	40
3.3 Напружено-деформований стан підсиленого згідно європейських концепцій земляного полотна.....	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	57
АННОТАЦІЯ	60
ABSTRACT	60

ВСТУП

Земляне полотно залізниці – несучий елемент, що сприймає поїзне навантаження, яке передається з верхньої будови колії. За вимогами будівництва земляного полотна основним будівельним матеріалом є глинястий ґрунт (найчастіше усього суглинок), який пошарово розміщується в тілі земляного полотна та ущільнюється. Не викликає сумнівів, що інженерна споруда, що створена з природного матеріалу, який володіє незначною, на відміну від будівельних матеріалів (бетон, сталь, цегла), міцністю, в процесі експлуатації може формувати значний деформований стан.

В комплекс інженерних споруд земляного полотна входять [21, 27]:

1) насипи, виїмки, напівнасипи, напіввиїмки, напівнасипи-напіввиїмки і нульові місця. До нульових місць відносяться перехідні ділянки земляного полотна від напівнасипів або насипів з висотою одного з укосів до 1 м до виїмок або напіввиїмок з висотою їх укосів до 1 м;

2) пристрої для відведення поверхневих вод (лотки, кювети, забанкетні і нагорні канави у виїмок; поздовжні канави у насипів і нульових місць);

3) споруди для перехоплення і відведення ґрунтових вод (закриті дренажі різних конструкцій, поглиблені відкриті канави, каптажні пристрої);

4) захисні споруди, побудовані для збереження земляного полотна від пошкоджень або руйнувань (підпірні стіни, хвилевідбійні стіни, хвилегасники, струменевонаправляючі дамби, шпори та інші споруди);

5) укріплювальні споруди (плитні протирозмивні покриття, насипання гірської маси, анкерні кріплення скельних порід);

6) споруди для захисту земляного полотна від небезпечних природних явищ (протисельові, протизсувні комплекси споруд, противолавинні, протиобвальні і ін.).

Деформації земляного полотна є наслідком впливу зовнішніх навантажень і виникають через відхилення конструкції земляного полотна від сучасних норм, дефекти, допущені при будівництві або експлуатації залізниці, недостатню міцність ґрунтів, слабку конструкцію верхньої будови колії, відсутність або малу працездатність захисних і підсилюючих споруд. При деяких деформаціях

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

можлива подальша експлуатація шляху, іноді з пропуском потягів зі зниженими швидкостями; при інтенсивному прояві деформацій та дефектів рух поїздів зазвичай припиняється до закінчення робіт.

Директиви Європейського Союзу, які є основними документами, що регламентують інтероперабельність залізниць, приділяють увагу верхній будові колії, переходу з ширини 1520 на 1435 мм, системам сигналізації, централізації та блокування, електромагнітній сумісності, безпеці перевезень тощо. Сутністю інтероперабельності є узгодження різних систем, але цей концепт можна тлумачити ширше – як перенесення або приведення європейських концепцій для українських залізниць. Виникає така сумісність через імплементацію європейських ідей, які, проте, не слід приймати беззаперечно, оскільки будь-які ідеї потребують наукових досліджень та обґрунтування на основі отриманих результатів. Слід повною мірою оцінити, в якому обсязі можливі приведення або пряме перенесення концепцій Європейського союзу до України.

Такий різновид інтероперабельності для земляного полотна проявляється в тому, що європейські концепції підсилення у випадку слабких ґрунтів поступово імплементуються в український досвід. В наданій магістерській роботі проведено детальний аналіз ситуації стану земляного полотна на залізницях України для виявлення умов та принципів подолання деформацій. Проведений аналіз конструктивних рішень земляного полотна в рамках українських та європейських концепцій, який надав можливості визначити вектор досліджень підсилення.

Приведення європейських концепцій підсилення можливе лише на основі наукового їх обґрунтування, для чого фактором ефективності конструктивних рішень визначено рівень напружено-деформованого стану. Проведені дослідження дозволили досягти мети приведення Європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ПІДВИЩЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

1.1 Загальний стан земляного полотна на залізницях України

По даним спостережень за станом залізниць України 2020 року загальна довжина земляного полотна, схильного до деформації, складає біля 860 км, в тому числі з деформаціями на слабких основах (біля 180 км). Основними причинами деформацій є зволоженість основ (підтоплення), наявність глинистих, болотистих, засолених, лесових ґрунтів. Такі дефекти необхідно усувати в процесі капітального ремонту і при цьому використовуються запобіжні заходи, які зменшують або виключають деформації.

До земляного полотна, що споруджується на слабких основах, висуваються наступні вимоги [27]:

1) виключена можливість видавлювання слабого ґрунту з насипу в процесі експлуатації;

2) інтенсивна частина деформацій (осідання) повинно завершуватися до укладання колій;

3) пружні коливання земляного полотна, що виникають в слабких ґрунтах, не повинні перевищувати допустимих величин для прийнятої величини навантаження і інтенсивності руху;

4) товщина насипу на слабких основах не повинна перевищувати 3 м.

Всі нестійкі або деформуємі місця земляного полотна, особливо ті, що перебувають у складних інженерно-геологічних, гідрологічних, гідрогеологічних та кліматичних умовах (зсувні, обвальні, розмивні, карстові і інші ділянки), повинні перебувати під постійним наглядом інженерно-геологічних баз або шляхообстежувальних станцій залізниць за земляним полотном. На основі спостережень і обстежень необхідно щорічно становити інженерно-геологічні звіти з зазначенням необхідних заходів щодо нагляду за земляним полотном і його спорудами і їх поточного утримання, а також визначати обсяги та терміни виконання цих робіт.

Заходи щодо стабілізації та посилення земляного полотна слід розробляти у

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

відповідності з діючими нормативними документами [21, 27]. При ремонті та улаштуванні нових споруд необхідно виконувати відповідні вимоги технічних умов на виробництво і приймання робіт. Заходи щодо підвищення експлуатаційної надійності земляного полотна повинні забезпечувати усунення його деформацій і дефектів, а також ремонт або посилення захисних і укріпних споруд. Заходи капітального характеру з ремонту або посилення земляного полотна і його споруд виконуються на підставі індивідуальних проєктів. Роботи по усуненню дефектів, деформацій та пошкоджень здійснюють бригади з поточного утримання колії, спеціалізовані бригади дистанцій колії з поточного утримання й ремонту земляного полотна, спеціалізовані бригади дистанцій колії, які здійснюють утримання і ремонт земляного полотна на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами, колійні машинні станції на ділянках планових ремонтів верхньої будови колії, спеціалізовані колійні машинні станції, що виконують ремонт на крупних об'єктах за індивідуальними проєктами.

Заходи, що приймають для стабілізації земляного полотна, повинні повністю усувати дефекти, деформації та інші пошкодження [27]. До робіт, які підсилюють земляне полотно, залучають підрядні організації з відповідними ліцензіями на право виконання робіт на коліях. Контроль за якістю робіт, які виконуються підрядними організаціями, здійснює майстер по земляному полотну, шляховий майстер або інші працівники, спеціально призначені начальником дистанції або служби колії.

1.2 Аналіз деформацій земляного полотна

Деформації земляного полотна – залишкові або пружні, у тому числі сезонні зміни форми або розмірів земляного полотна або його частин, що знижує експлуатаційні якості залізничного шляху. Дефекти, деформації та пошкодження земляного полотна усувають шляхом модернізації, капітального, середнього, комплексно-оздоровчого ремонту, проведення невідкладних заходів щодо усуненню проблеми, що виникла, своєчасних оглядів ділянок [27].

Земляне полотно перебуває під впливом потягів, що проходять, ваги верхньої будови колії і власної ваги. Воно, як і будь-який ґрунтовий масив, в різному

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

ступені (залежно від глибини даної товщі) схильно до коливань температури і вологості, впливів інфільтрації поверхневих і випару ґрунтових вод, змін рівнів підземних вод, міри агресивності і насиченості їх електролітами. Тому міняються в часі чинники, що чинять опір деформаціям ґрунтових масивів (сили тертя і зчеплення, складові ваги, протидіючі зрушенню і так далі) і чинники, прагнучі викликати деформації (складові ваги, що зрушують, гідродинамічні сили).

Слабкі основи – це природні мокрі ґрунти, які представлені торфами, мулами, глинами текучої консистенції. При розташуванні їх в основі земляного полотна (насипу) можливі великі і нерівномірні осадки, значні деформації насипів (до втрати несучої здатності), якщо своєчасно не прийняти заходи по посиленню таких насипів.

Деформації земляного полотна виникають в наступних випадках: при недостатній несучій здатності ґрунтів, з яких воно зведено; невідповідності потужності верхньої будови колії навантаженням від обертового рухомого складу; при недостатньому захисті ґрунтів земляного полотна від несприятливих впливів кліматичних та інженерно-геологічних факторів (зсувів, селів, повеней). Низька якість утримання земляного полотна, коли не забезпечується відведення поверхневих і підземних вод, несвоєчасно усуваються дрібні пошкодження захисних і укріпних пристроїв, не ліквідуються причини зниження несучої здатності ґрунтів та інші порушення призводять до переростання дрібних пошкоджень в небезпечні деформації, що загрожують безпеці руху поїздів. Дефекти і деформації земляного полотна підлягають усуненню в процесі поточного утримання колії, при планово-попереджувальних роботах з ремонту верхньої будови колії, а також при ремонті та посиленні земляного полотна за індивідуальними проєктами.

Існує кілька класифікацій деформацій земляного полотна. Залежно від місця виявлення причин виникнення і характеру пошкоджень вони підрозділяються на чотири групи [21].

І група – деформації основної площадки: баластне корито – поглиблення під шпалою в глинистих ґрунтах, з яких складена основа площадки, заповнена баластними матеріалами; баластне ложе – поглиблення під кількома шпалами в

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

глинистих ґрунтах основної площадки, витягнуте по шляху, іноді має поздовжній ухил; баластний мішок – поглиблення (кілька метрів уздовж шляху) в глинистих ґрунтах земляного полотна, що не має стоку; баластні гнізда – баластні мішки або лежа, мають один або кілька відростків-кишень, заповнені баластними матеріалами; випирання ґрунтів у виїмці – осідання або підняття основної площадки внаслідок різкої зміни напруженого стану в пластичних ґрунтах; безодні – спотворення положення рейкових ниток в подовжньому і поперечному профілях у вигляді горбів, западин, перепадів внаслідок нерівномірного морозного обдимання ґрунтів; весняне пучинне осідання – інтенсивне наростання місцевих спотворень рейкової колії в подовжньому і поперечному профілях в результаті осідань (просідань) ґрунтів земляного полотна, що відтаяли, під поїзними навантаженнями на ділянках з великим (більше 40...60 мм) рівномірним обдиманням.

II група – деформації укосів: змиви – поверхневі порушення укосів насипів і виїмок атмосферними водами або в результаті промерзання і відтавання ґрунтів у вигляді несучільного зміщення верхніх шарів ґрунту («руслова система»); спливи укосів виїмок, насипів, глибоких канав у вигляді зміщення верхніх шарів ґрунту товщиною 1...2 м із збереженням загальної стійкості схилу; сповзання укосу виїмки – переміщення мас ґрунту вниз під впливом сили тяжіння через порушення загальної стійкості схилу; сповзання укосів насипу або напівнасипу – відшарування укісної частини із захопленням основної площадки і іноді ґрунтів основи насипу; руйнування укісних частин у основі виїмок або насипів через винесення дрібних часток ґрунту ґрунтовими водами (суфозійне руйнування); осипи – переміщення під дією сили тяжіння і атмосферних вод дресв'яно-щебенистих продуктів вивітрювання з поверхні укосів і схилів до їх підосві; вивали одиночних скельних уламків з укосів і схилів в цілому стійкого скельного масиву; обвалення окремих частин стрімких лісових укосів.

III група – деформації тіла земляного полотна: зсув насипів – повільний односторонній поперечний зсув тіла насипу по похилій основі внаслідок переміщення розвалу; розповзання насипу – повільний зсув укісних частин насипу, супроводжуване осіданням основної площадки і зміною її поперечного

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		10

обрису; зсув (сповзання) насипу або її частини по похилій основі (на косогорі, дні болота, на відтаваючій похилій мерзлій основі); осідання насипу – повільне опускання основної площадки без бічних зсувів через ущільнення ґрунтів тіла земляного полотна або основи.

IV група – деформації основи земляного полотна: зсув – ковзання мас ґрунту по ґрунту, що підстилас, у бік пониження рельєфу без перекидання і падіння; осідання основи насипу – повільне вертикальне переміщення земляного полотна без бічних зсувів, що викликається ущільненням слабких товщ, що залягають під подошвою насипу; провали – швидкоплинні деформації земляного полотна (на болотах з торф'яної кіркою, над карстовими порожнечами, в місцях суфозійного руйнування основи), що приводять, як правило, до повного або часткового його руйнування; осідання над гірською виробкою – вертикальне переміщення основи земляного полотна, яке викликається зрушенням гірських порід у місцях шахтного видобутку корисних копалин.

Існує також альтернативне розділення деформацій земляного полотна на шість груп.

I група – весняні пучинні просадки – інтенсивне наростання місцевих викривлень рельсової колії в подовжньому і поперечному профілях в результаті осідання під час розтавання ґрунтів земляного полотна під поїзними навантаженнями.

II група – дефекти і деформації укосів. Дефекти: змиви – поверхневе порушення укосів насипів і виїмок атмосферними водами. Деформації: розмивання укосів контрбанкетів і бERM; спливи укосів виїмок – зміщення верхнього шару ґрунту товщиною до 1...2 м з збереженням загальної стійкості укосу; спливи укосів насипу – зміщення поверхневого шару ґрунту з захопленням узбіччя і частини баластної призми без порушення загальної стійкості насипу; сповзання укосів насипу – відшарування укісної частини насипу з захопленням основної площадки частіше за все до кінця шпал або до осі колії і зміщення її до подошви укосу, інколи з захопленням основи насипу; спливи укісних частин насипів над теплотрасами, які їх перетинають; сповзання сипучих відкладів по контуру зі скельними породами – виникнення бугрів природної поверхні схилу з

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

виникненням поздовжніх тріщин в ґрунтовій товщі, розміщеній вище бровки укосу; осипання – переміщення під дією сили тяжіння жорствяно-щебених продуктів вивітрювання гірських порід з поверхні укосів або схилів до їх підшви; вивали – випадіння окремих скельних уламків із укосів виїмок (напіввиїмок) або з поверхні укосів при відносно стійких скельних масивах; обвали – зрушення роздроблених скельних порід з природних схилів, укосів, виїмок або напіввиїмок.

III група – тіло і основа земляного полотна. Дефекти: розповзання насипу – повільне осідання насипу із зміною початкових обрисів як основної площадки, так і укосів; осідання насипу внаслідок ущільнення ґрунтів з яких вона складається – помітне пониження поздовжнього профілю колії, особливо біля водопропускної труби. Деформації: здвиг (сповзання) насипу або її низової частини по нахиленій основі – зміщення рельсової колії в напрямку переміщення насипу (вниз по косогору), поява бугрів випирання ґрунту у основи укосу з низової сторони; зсуви – деформації земляного полотна, обумовлені оповзанням ґрунтових мас під дією сили тяжіння.

IV група – слабкі основи: осідання насипу внаслідок випирання і ущільнення ґрунтів основи – просадки і здвиги колії; випирання ґрунтів у виїмці – скривлення кюветів або інших водовідвідних споруд в плані і профілі, змінення обрисів укосів з виколами значних масивів, виникнення тріщин провалу насипу на торф'яних ґрунтах (мулових відкладах) – швидко протікаючи деформації земляного полотна, спочатку в формі помірного нерівномірного осідання, а потім з виникненням непередбачених проривів по основі насипу; провали земляного полотна на закарстованих територіях – виникнення на земній поверхні провалів, місцевих осідань з виникненням тріщин, виникнення просадок, порушення обрисів баластної призми, укосів, берм.

V група – місця взаємодії з іншими спорудами. Дефекти: осідання основної площадки земляного полотна над трубопровідними місцями – просадка колії на коротких ділянках, внаслідок осідання ґрунту земляного полотна, руйнування укріплень або обрисів укосів або дна водовідводів, нерівномірне пучення ґрунтів над трубопроводом і на сусідніх ділянках колії; порушення відводу поверхневої

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		12

води. Деформації: довготривале осідання насипів на підходах до мостів і водопропускних труб.

VI група – земляне полотно, під впливом несприятливих природних умов: розмиви підтоплюваних укосів земляного полотна – обумовлені швидкою течією води на ділянках тимчасового або постійного підтоплення; розмиви відкритих водовідводів (каналів кюветів) – місцеві руйнування укосів і дна поздовжніх каналів, кюветів, відвідних русел від дренажів з виникненням промоїн, накопиченням розмитого ґрунту; замулювання кюветів та каналів – відкладення муловатих і супіщаних ґрунтів на дні кюветів і каналів; підмив основи земляного полотна водяними потоками – розмив берега у основи укосу земляного полотна з відкладенням наносів і підмиванням нижніх частин укосів; яроутворення – витягнуті вдовж вимоїни з крутими укосами і дном, яке інтенсивно розмивається; завали колії селевими потоками – відкладення селевих мас; пошкодження земляного полотна при повенях, обумовлене інтенсивним і довготривалим підняттям рівня води в близько розміщених водотоках, яке приводить до розмиву укосів земляного полотна і закріплюючих споруд, виходом води на колію.

Несприятливі природні дії викликають також наступні деформації земляного полотна і його пристроїв: розмиви каналів і кюветів повеневими або зливовими водами з винесенням матеріалу захисного одягу, укосів і дна; розмив підтоплюємих укосів і тіла насипу руйнування укріплень, винесення ґрунту течією, хвилями, ударами крижин; замулювання кюветів і каналів, поступове заповнення їх живого перетину ґрунтами, змиваємими з укосів, прилеглих територій і які перевозять паводковими і зливовими водами; пошкодження основи насипів ярами, зменшення ширини берм у підшві укосу або відщепи частині основи під укисною частиною насипу внаслідок розмиву і обвалення бортів яру; завали шляху або отворів штучних споруд селевими виносом, поява вимоїн земляного полотна або підмив укосів селевими потоками; завали шляху снігом, руйнування штучних споруд сніговими обвалами або лавинами; пошкодження шляху намерзаннями – накопичення льоду в каналах (кюветах), на верхній будові шляху, в водопропускних трубах під мостами через замерзання ґрунтових вод, що зливаються взимку на поверхню (районах з суворим кліматом); розвівання

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		13

піщаних укосів і брівок земляного полотна і піщані замети шляху – віднесення вітровими потоками дрібнопіщаних частинок земляного полотна, а також перенесення і відкладення їх у водовідводи, на укоси (в пустельних районах).

Поширені такі дефекти земляного полотна: завищена крутість схилів, звужений основнийа площадка, неприпустима пружна осадка шляху під поїзним навантаженням, недостатність захисту від несприятливих природних дій, поховані під баластними матеріалами кювети, що акумулюють воду.

Найбільш розповсюдженими деформаціями земляного полотна на Придніпровській залізниці України є (табл. 1.1): 1) просадки рельсової колії в результаті осідання ґрунтів земляного полотна при відтаюванні; 2) осідання насипу в результаті ущільнення ґрунтів, з яких вона складена; 3) вивали окремих уламків із укосів виїмок та напіввиїмок або з поверхні схилів; 4) розмив укосів, які підтоплюються водою.

Таблиця 1.1

Відомість деформацій земляного полотна по Придніпровській залізниці

Вид земляного полотна	Вид деформації								
	просадка	осідання	горіння	сплив	вивали	осипи та вивали	зсув	зсув косоугору	розмив
Насип	39	14	1	1					12
Виїмка	11			1	8	6			6
Напівнасип							1		
Напіввиїмка					8	2	1		4
«0» місце								1	1
Насип – виїмка	2								
Виїмка – насип	1								1
Насип – напіввиїмка «0» місце									3
Напівнасип – напіввиїмка									1
Всього	53	14	1	2	16	8	2	1	28

Деформації земляного полотна виникають з різних причин: при недостатній несущій здатності ґрунтів, із яких воно споруджено; при недостатньому ущільненні ґрунтів; невідповідності потужності верхньої будови колії навантаженням від рухомого складу; при недостатньому захисту ґрунтів земляного полотна від впливу несприятливих кліматичних і інженерно-геологічних факторів (зсувів, селів, повеней).

Деформації земляного полотна в насипах проявляються у вигляді тріщин, місцевих невеликих просадок, пучення, спливу укосів, рівномірного осідання, великих просадок, сповзання тіла насипу по основі. В виїмках основними видами деформацій земляного полотна є спливи укосів, просадки і провали полотна, виплески ґрунту, осипання і обвали укосів. В насипах і виїмках на косогорах деформації земляного полотна виражаються в сповзанні основи земляного полотна.

1.3 Вимоги до проєктних рішень щодо усунення деформацій земляного полотна

Для того, щоб оцінити процеси, що проходять в ґрунтовому масиві і прийняти правильні заходи для його стабілізації, необхідно виділити головну причину, яка приводить до виникнення деформації і усунути її.

Перед проведенням капітального ремонту необхідно провести обстеження інженерно-геологічних умов з метою встановлення стійкості ґрунтів, на яких розташована конструкція земляного полотна і визначити максимально допустиму висоту насипу, виходячи зі стійкості ґрунтів. Або застосувати спеціальні конструктивно-технологічні рішення.

Під час капітального ремонту земляного полотна, в основі якого розташований лесовий ґрунт, влаштовують ущільнення до модуля деформації 30...35 МПа або замінюють лесовий ґрунт на дренуючий із мінеральної суміші відпрацьованого шлаку або бутового каменю [21].

Якщо ґрунти засолені, то необхідно влаштовувати дренаж для відводу води, в результаті чого ґрунт стає більш міцним і деформації зменшуються.

При підтопленні основи земляного полотна нижній шар необхідно видалити і

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

замінити дренажним ґрунтом. Ущільнення слабких основ земляного полотна виконуються за індивідуальними проектами.

Особливу увагу при утриманні земляного полотна треба приділяти стану водовідвідних, укріпних і захисних споруд. Працівники дистанції колії повинні мати креслення і відповідну облікову документацію споруд і пристроїв, що забезпечують стійкість земляного полотна і його захист від ушкоджень.

Основою утримання земляного полотна є нагляд за станом з метою своєчасного виявлення ознак і причин деформацій, попередження небезпечних деформацій, які можуть призводити до аварійних ситуацій, проведення невідкладних заходів, виконання планово-попереджувальних робіт в комплексі з роботами з верхньої будови колії, а також його ремонт або посилення в якості самостійних робіт по індивідуальних проектах.

Результати оглядів, комісійних та інструментальних обстежень і спостережень, виконуваних посадовими особами дистанції шляху, відділень залізниць, служби шляху, керівниками залізниць, дорожніми інженерно-геологічними базами з описом виявлених несправностей і зазначенням обсягу необхідних робіт повинні фіксуватися в книгах, журналах, актах встановлених форм і постійно зберігатися в дистанціях шляху. Начальник дистанції шляху перевіряє своєчасність та правильність ведення облікових форм. Поточне утримання земляного полотна і його споруд здійснюється безперервно протягом року на всьому шляху, включаючи ділянки, де проводиться ремонт земляного полотна або планові ремонти верхньої будови колії.

Виконання робіт щодо усунення дефектів, деформацій і пошкоджень земляного полотна і його споруд при поточному утриманні, а також при проведенні їх ремонту та посилення здійснюють: бригади з поточного утримання колії; спеціалізовані бригади дистанцій шляху з поточного утримання та ремонту земляного полотна; спеціалізовані колони дистанцій шляхи, які здійснюють зміст і ремонт земляного полотна на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами (скельно-обвальних, підтоплюємих, карстових, зсувних та інших умов); колони і цеху шляхових машинних станцій, що спеціалізуються на роботах з ремонту й посилення земляного полотна на ділянках планових ремонтів шляху;

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

спеціалізовані шляхові машинні станції та інші підрозділи, які виконують складні роботи з земляного полотна на великих об'єктах по індивідуальних проектах.

Обсяги і номенклатуру робіт з поточного утримання земляного полотна, його захисних і укріпних споруд для конкретних ділянок, перегонів та інших об'єктів визначає начальник дистанції шляху в залежності від сезонних, місцевих умов, а також результатів оглядів, спостережень і обстежень споруд. Проектуємі заходи щодо стабілізації земляного полотна повинні розраховуватися на повне усунення деформацій.

До виконання робіт з ремонту або посилення земляного полотна і його облаштування можуть залучатися підрядні організації, які мають відповідні ліцензії на право ведення таких робіт на лініях, що експлуатуються.

Технічний контроль за якістю робіт, виконуваних підрядними організаціями, здійснює майстер з земляного полотна, дорожній майстер або інші працівники, спеціально призначені начальником дистанції шляху або служби шляху.

Дистанція колії повинна мати затверджений в установленому порядку перелік видів діяльності з утримання земляного полотна, що відображає місцеві умови і режим експлуатації споруд.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

2 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ ПІДСИЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УКРАЇНІ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ

2.1 Основні концепції підсилення земляного полотна в умовах української залізниці

Прийнятий в 2009 році документ «ЦП-0204 Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії» [21] є найбільш репрезентативним для визначення концепцій підсилення земляного полотна в Україні. Нижче наведені варіанти підсилення, які проаналізовані автором магістерської роботи з позиції проведених в 2010-2022 роках досліджень. Ці конструктивні рішення свідчать про те, що двома концепціями, що були з різним ступенем успішності реалізовані АТ «Укрзалізниця», є 1) підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів [3, 20-22] та 2) підсилення із застосуванням захисних ґрунтових шарів (шарів з матеріалу, що мало деформується) [23, 24].

Лише в останні п'ять років, як свідчать проаналізовані наукові статті, в Україні з'явилася та поступово розвивається третя концепція, що наразі є характерною для країн Європейського союзу та Великої Британії [5, 7]. Це концепція підсилення земляного полотна за допомогою паль, що влаштовуються в ньому на основі різних технологій (буроін'єкційна, бурозмішувальна, буронабивна тощо) [2, 4].

Крім вже визначених концепцій, існували і ще додаткові, які характеризуються комбінуванням, наприклад, підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів із комбінуванням з шаром, що мало деформується (українська концепція) [23, 24] або підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів [8, 9] із комбінуванням із комбінуванням підсиленням палями (європейська концепція) [1, 2, 25]. Виникнення таких комбінованих рішень розпочало можливість створення нових конструктивних рішень підсилення (наприклад, Geosynthetic-Reinforced-Pile-Supported (GRPS) – комбінування георешітки та паль), деякі з котрих проявили себе як досить плідні, але такі, що потребують з'ясування ефективності [6, 14, 17].

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		18

В Розділі 3 цієї магістерської роботи буде проведене дослідження впровадження європейських концепцій та їх порівняння з українськими з можливістю приведення, тобто імплементації деяких положень.

2.2 Варіанти підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів

З метою забезпечення стабільності земляного полотна і ефективності витрат на його капітальний ремонт або модернізацію пропонуються наступні основні конструкції нижньої будови колії, які забезпечують надійність експлуатації. Вони розроблені в рамках документу, що вже згадувався, а саме «ЦП-0204 Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії» [21]. Однак, більше, ніж десятиріччя, що пройшло з терміну прийняття в роботу цього документу, було проведено низку досліджень працівниками Дніпровського (раніше – Дніпропетровського) національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [3, 6, 14, 17, 18, 22-25]. Тому в магістерській роботі був проведений їх аналіз, а його результати у вигляді коментарів наведені під час розгляду конструктивних рішень підсилення.

Виходячи із необхідності забезпечення надійності конструкції земляного полотна для одноколійної дільниці передбачають кілька основних типів улаштування основної площадки земляного полотна з можливими варіантами конструктивного рішення.

Тип земляного полотна без захисного шару рекомендується для умов, коли основа залізничної колії представлена дренуючим незв'язним ґрунтом з достатньою несучою здатністю і модулем деформації 70...80 МПа і не допускають морозного пучіння (рис. 2.1).

Слід відмітити, що цей тип земляного полотна, що є класичним, потребує не тільки ґрунтової основи, що мало деформується, але й спорудження тіла насипу з високим рівнем технологічності, а саме контрольованого та чіткого процесу пошарового розміщення, зволоження до оптимальної вологості та ущільнення суглинистого ґрунту до значень модуля деформації 35...40 МПа. З'ясовано, що за наявності меншого модуля деформації, наприклад, 25...30 МПа, що є розповсюдженим для умов будівництва залізниць в Україні, деформації

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

земляного полотна та верхньої будови колії можуть бути ненормативними і, відповідно, потребувати постійного поточного ремонту з короткими межремонтними термінами.

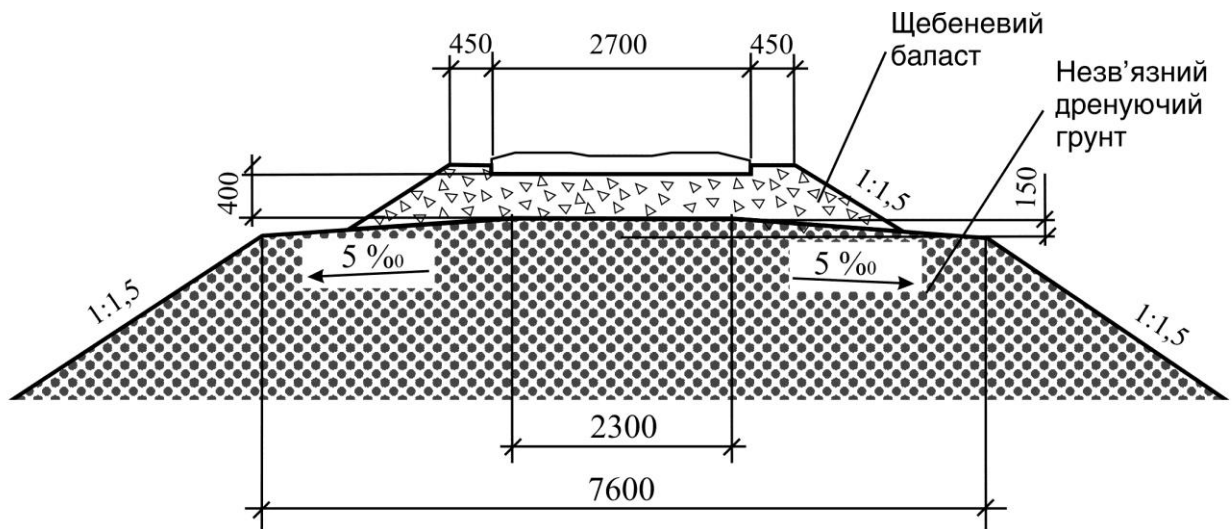


Рисунок 2.1 – Конструкція земляного полотна для одноколіїного насипу

Таким чином, неякісно збудоване земляне полотно, що має високий деформаційний потенціал, вимагатиме постійних матеріальних та грошових витрат та, після накопичення значного рівня деформування, проведення капітального ремонту або реконструкції із застосуванням підсилення, конструктивні рішення якого наведені нижче.

Для дренажующого ґрунту, представленого супісками або щебенем і при односкілій основній площадці земляного полотна, на ній під баластним шаром необхідно укласти геотекстиль або геосітку (рис. 2.2) для розділення шарів баласту призми основної площадки. Після укладання щебеневого баласту ущільнюють до нормативних значень із забезпеченням модуля деформації $E=80\ldots100$ МПа.

Для цієї конструкції наявність геосинтетичних матеріалів (геотекстиль або геосітка) не свідчить про їх підсилюючу роль. В даному випадку вони є лише елементом, що відділює баласт від основної площадки земляного полотна, не дозволяючи проникнення і подальше утворення баластних западин, кишень та інших дефектів земляного полотна. Проведені дослідження геосинтетичних

матеріалів поступово перемістили їх функцію з елементів підсилення до елементів розділення, що підтверджується багатьма результатами.

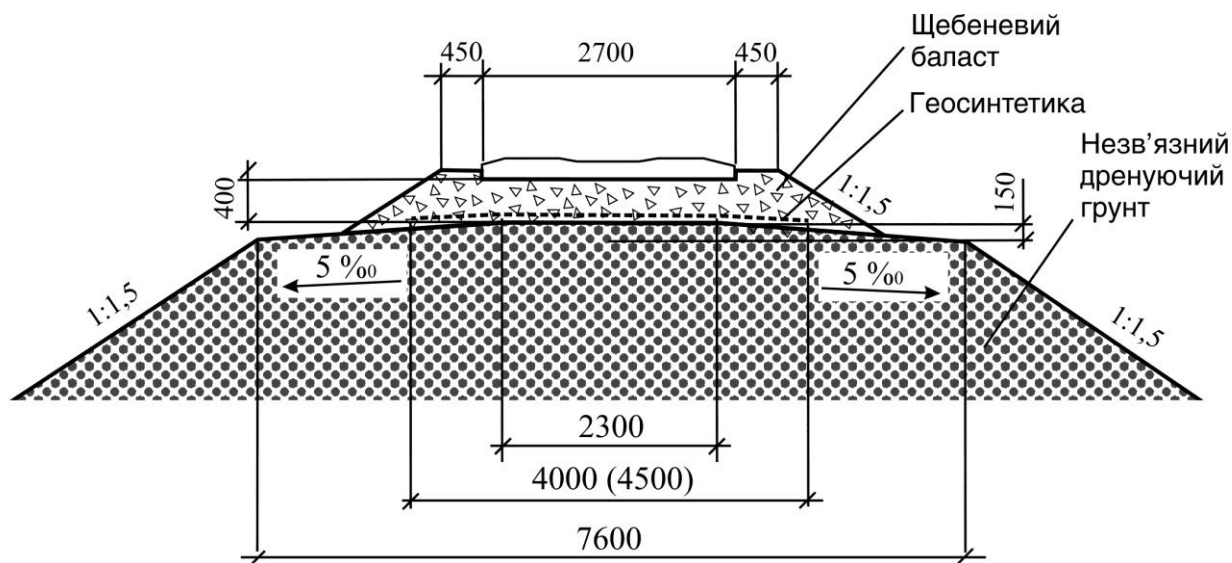


Рисунок 2.2 – Конструкція земляного полотна із геотекстилем або геосіткою

Наступна конструкція земляного полотна приймається для умов, коли воно представлено зв'язними ґрунтами. Можливі кілька модифікацій цього варіанту в залежності від матеріалу і розмірів конструктивного шару для підсилення основної площадки.

Перша модифікація конструкції земляного полотна включає щебеневий баласт, підбаластний піщаний шар і основу земляного полотна із зв'язного ґрунту з модулем деформації не менше 70...80 МПа (рис. 2.3).

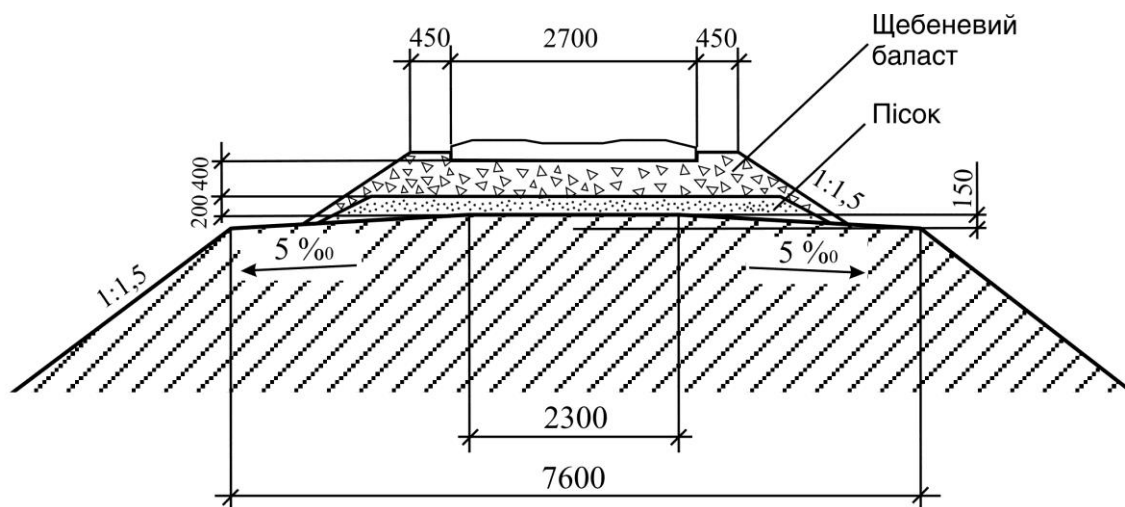


Рисунок 2.3 – Конструкція земляного полотна із піщаним шаром

При виконанні капітального ремонту основну площадку земляного полотна вирівнюють і на поверхню укладають піщаний шар товщиною 0,2 м і ущільнюють його до необхідних параметрів модуля деформації (35...40 МПа). На ущільнений піщаний шар укладають рейко-шпальну решітку і засипають щебеним баластом, який після укладання ущільнюють вібраційним ущільнювачем. Модуль деформації щебеневого баласту рекомендується в межах 100...120 МПа.

Наступна модифікація конструкції використовується, якщо необхідно підсилити несучу здатність ґрунтів основної площадки шляхом використання геосинтетичних матеріалів і піщаного шару. На вирівняну поверхню основної площадки укладають нетканий геотекстиль і засипають зверху піщаним шаром товщиною 0,2 м, який ущільнюють до відповідних значень модуля деформації ($E=40\ldots45$ МПа) (рис. 2.4).

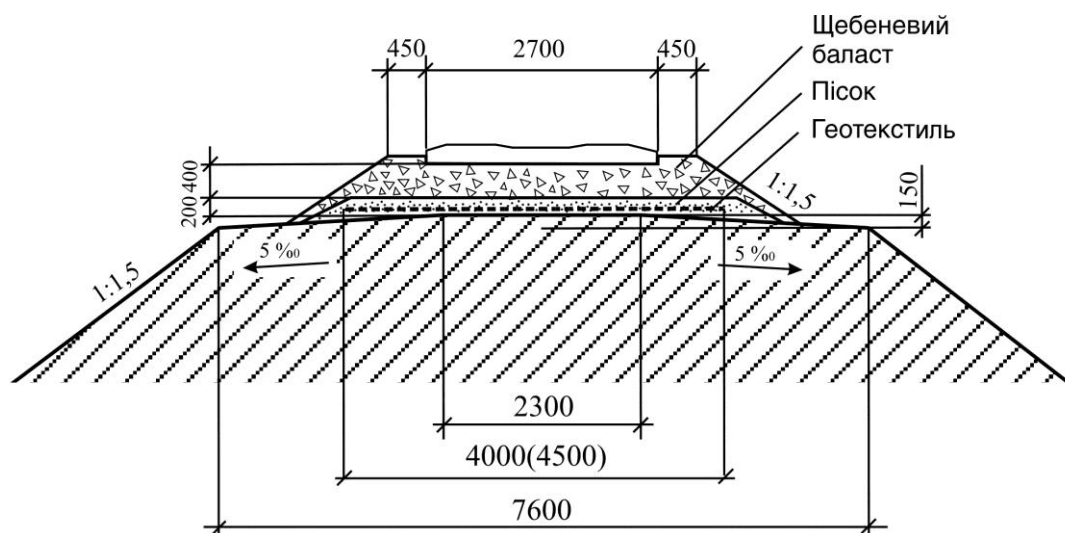


Рисунок 2.4 – Конструкція земляного полотна із геотекстилем

На ущільнений піщаний шар укладають рейко-шпальну решітку і щебеним баластом товщиною 0,4 м, а потім ущільнюють до забезпечення модуля деформації до 100...120 МПа.

Наступну конструкцію пропонується застосовувати з метою забезпечення надійності земляного полотна за рахунок підсилення основної площадки захисним шаром дренуючого матеріалу, а також використання геомембрани для відводу води і геотекстилю для розділення основної площадки і захисного шару, що сприяє зниженню бокових деформацій в конструкції насипу (рис. 2.5).

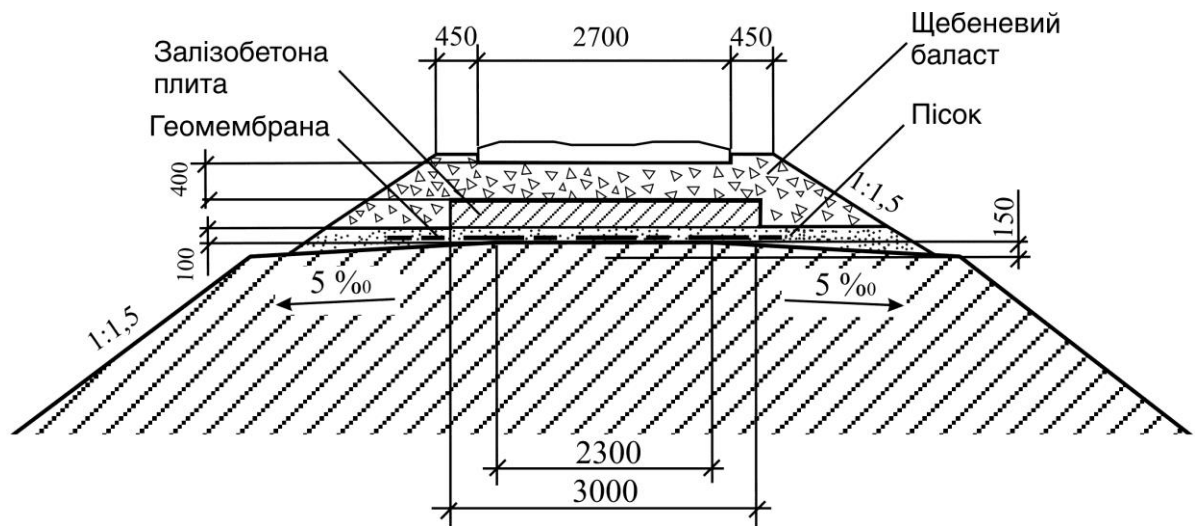


Рисунок 2.5 – Конструкція земляного полотна із геомембраною

На вирівняну поверхню основної площадки укладають нетканий геосинтетичний матеріал і поверх нього згідно з проєктом укладають захисний шар із щебеню або піщано-щебеневої суміші чи старого щебеню фракцією до 32 мм. Товщина шару визначається проєктом в залежності від інженерно-геологічних умов в межах від 0,15 до 0,8 м.

Влаштований шар ущільнюють до відповідних значень модуля деформації ($E=90\ldots100$ МПа). На ущільнений шар укладають геокомпозит, який складається із георешітки і геомембрани для відводу води, яка може просочуватися через щебневий баласт. Поверх геотекстилю укладають піщаний шар товщиною 0,2 м, ущільнюють його до нормативного значення модуля деформації, а потім укладають рейко-шпальну решітку і щебневий баласт товщиною 0,4 м, а потім ущільнюють його до значення модуля деформації в 100...120 МПа.

Слід відмітити, що застосування геосинтетиків та їх позитивний вплив на напружено-деформований стан земляного полотна доведений в багатьох наукових роботах [3, 8, 9, 16, 20]. Проте, в роботі [22], окрім позитивних висновків, відмічено і негативні. Так, відмічено, що армування земляного полотна окремими полотнищами геотекстильних матеріалів підвищують міцність тіла насипу до 1,5...1,6 раз, але виникнення зон розшарування на кінцях полотнища свідчать про неоптимальності цих варіантів незалежно від їх розміщення по висоті матриці (рис. 2.6).

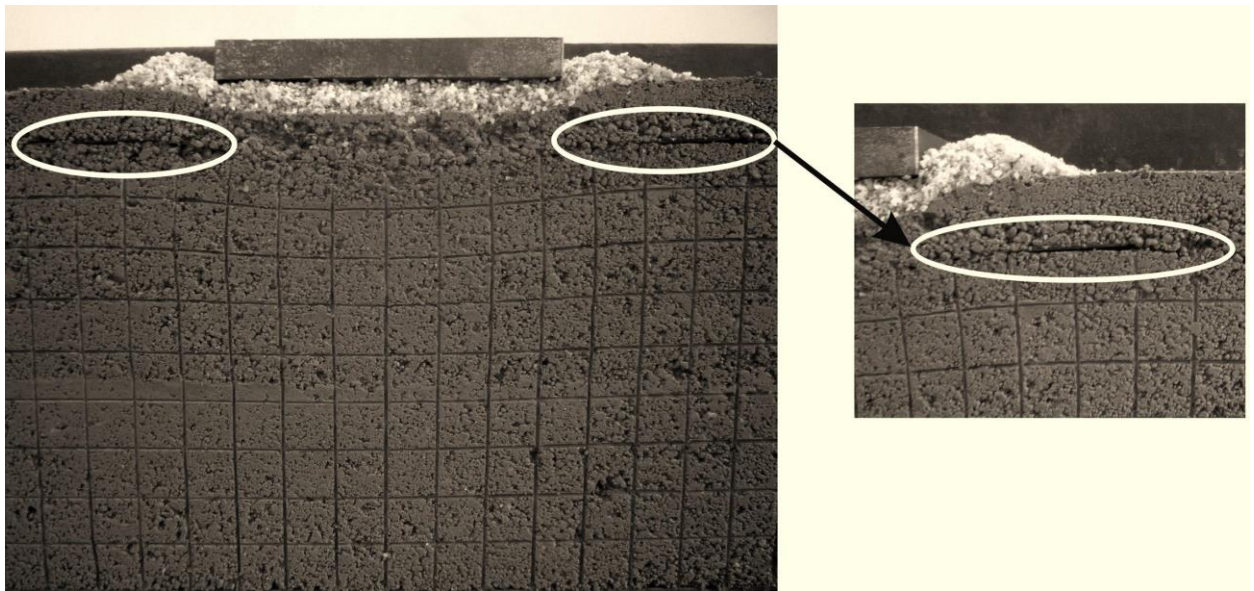


Рисунок 2.6 – Зони розшаровування (рисунок з роботи [22])

В тій же роботі [22] з'ясовано, що армування замкнутою оболонкою також може вважатися оптимальним (збільшення міцності до 1,6 разу), оскільки деформування земляного полотна за таким варіантом підсилення пов'язано з значним тріщиноутворенням, при цьому наявність анкерування геотекстильних полотнищ прибирає небажані ефекти деформування у вигляді активного тріщиноутворення та розшарування ґрунту насипу та арматури.

Застосування геосинтетиків в практиці АТ «Укрзалізниця» також позначене негативним досвідом, оскільки під час ремонту колії щебенеочисні машини розривали полотнища геотекстилю. Безсумнівно, що застосування геосинтетичних матеріалів досі має високий потенціал підсилення земляного полотна, який може бути розкритий лише за наявності відпрацьованої технології. Тому друга концепція підсилення в Україні, тобто застосування захисних ґрунтових шарів, стала більш розповсюдженою.

2.3 Варіанти підсилення із застосуванням захисних ґрунтових шарів

Застосування захисних ґрунтових шарів або шарів з матеріалу, що мало деформується, на відміну від підсилення геосинтетиками базується на підвищенні загального модуля деформації системи. Ця ідея підсилення має більш контрольовану реалізацію, оскільки в ґрунтовому земляному полотні немає

включень іншої природи, тобто геосинтетичних матеріалів.

Модифікація основної конструкції (див. рис. 2.1) передбачає використання шару, що мало деформується, для підсилення основної площадки земляного полотна. Товщину конструктивного шару приймають в межах від 0,15 до 0,8 м в залежності від розмірів дефектів, які необхідно усунути [21]. На вирівняну поверхню основної площадки укладають із щебеню або суміші щебеню і піску товщиною 0,15...0,8 м (рис. 2.7).

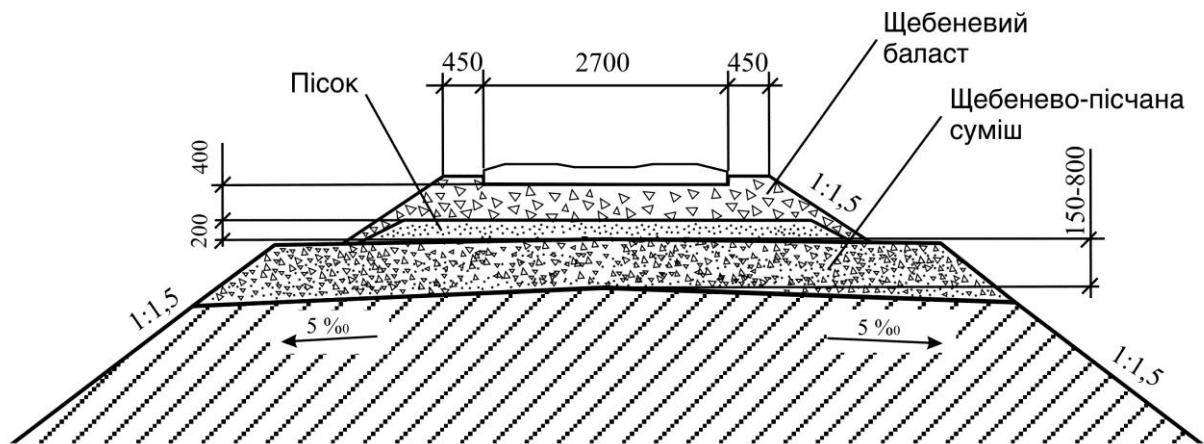


Рисунок 2.7 – Конструкція земляного полотна
із конструктивним шаром із гравійно-піщаної (щебенево-піщаної) суміші

Конструктивний шар ущільнюють до нормативних значень модуля деформації (не менше 80 МПа). На конструктивний шар укладають захисний піщаний шар товщиною 0,2 м і ущільнюють його для забезпечення модуля деформації в межах 40...50 МПа. На ущільнений піщаний шар укладають рейко-шпальну решітку і засипають щебеним баластом, який після укладання ущільнюють до модуля деформації в межах 100...120 МПа.

В конструкції земляного полотна в якості конструктивного шару з товщиною 0,15...0,8 м можна використовувати бутовий камінь [21]. Товщина шару визначається необхідністю забезпечення стійкості основної площадки. Поверхню основної площадки вирівнюють і на неї укладають захисний шар із бутового каменю товщиною від 0,15 до 0,8 м в залежності від конкретних умов і ущільнюють його до нормативного значення. На ущільнений шар укладають піщану подушку товщиною 0,2 м і ущільнюють її до відповідного значення

модуля деформації (не менше 40 МПа) (рис. 2.8).

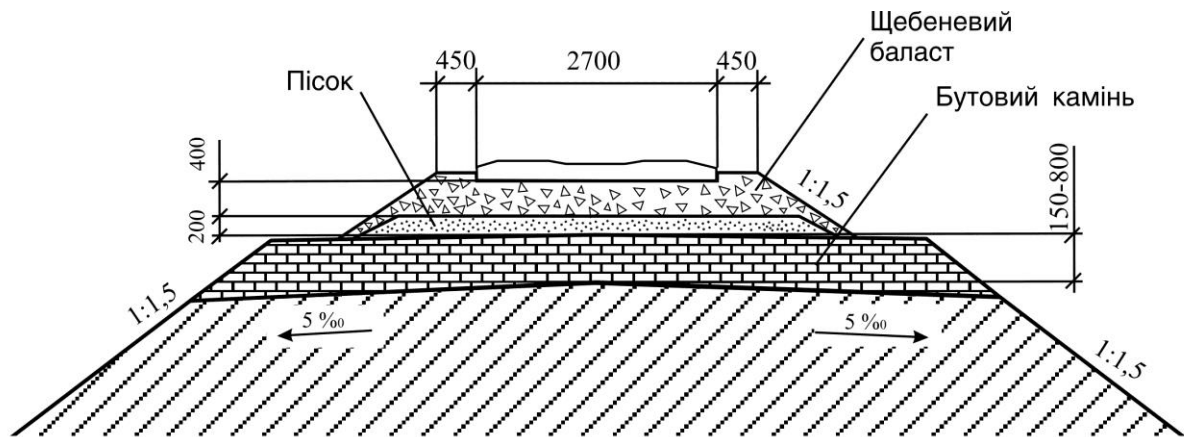


Рисунок 2.8 – Конструкція земляного полотна із конструктивним шаром із гравійно-піщаної (щебенево-піщаної) суміші

На ущільнений піщаний шар укладають рейко-шпальну решітку і засипають щебенево-піщаний баласт, який після укладання ущільнюють до модуля деформації в межах 100...120 МПа.

Наступна конструкція земляного полотна складається із основи, представленій ґрунтами, що вивітрюються, компенсаційним шаром із старогородного щебеню фракції 32 мм, асфальтобетоном товщиною 0,4...0,6 м або заповнювача, обробленого в'язкими матеріалами (товщина шару 0,4...0,6 м) і верхня будова колії (рис. 2.9).

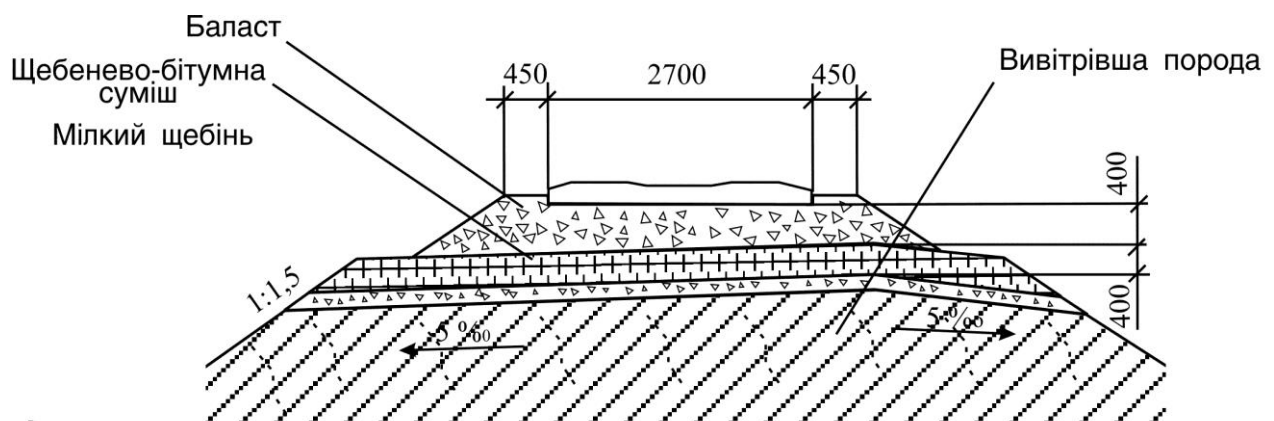


Рисунок 2.9 – Конструкція земляного полотна із шаром щебенево-бітумної суміші

На підготовану поверхню основної площадки для вирівнювання укладають шар піску товщиною 0,05...0,1 м, потім укладають компенсаційний шар ґрунту товщиною 0,4...0,6 м (по проєкту) і заповнювач, змішаний із в'язучими матеріалами такої ж товщини. Укладену таким чином подушку ущільнюють до нормативного модуля деформації в межах 70...80 МПа, а потім укладають рейко-шпальну решітку і щебеневий баласт товщиною 0,4 м. Після укладання верхньої будови баласт ущільнюють у відповідності з вимогами (модуль деформації повинен бути не менше 100...120 МПа).

Модифікація іншого конструктивного рішення передбачає для підсилення основної площадки використання гравійно-піщаної подушки товщиною 0,15...0,2 м, геомембрани для розділення шарів ґрунту і відводу води, що поступає з баласту захисного шару з піску (товщина 0,2 м) і верхня будова колії (товщина щебеневого баласту – 0,4 м).

На підготовлену поверхню основної площадки укладають шар із гравію і піску товщиною від 0,15 до 0,2 м, зверху розміщують геомембрану із нетканого геотекстилю і потім засипають шаром піску товщиною 0,2 м. Утворену таким способом подушку ущільнюють відповідно до проєкту ($E=80\ldots90$ МПа) і зверху укладають рейко-шпальну решітку і щебеневий баласт товщиною 0,4 м, який ущільнюють до значення модуля деформації $E=120\ldots150$ МПа (рис. 2.10).

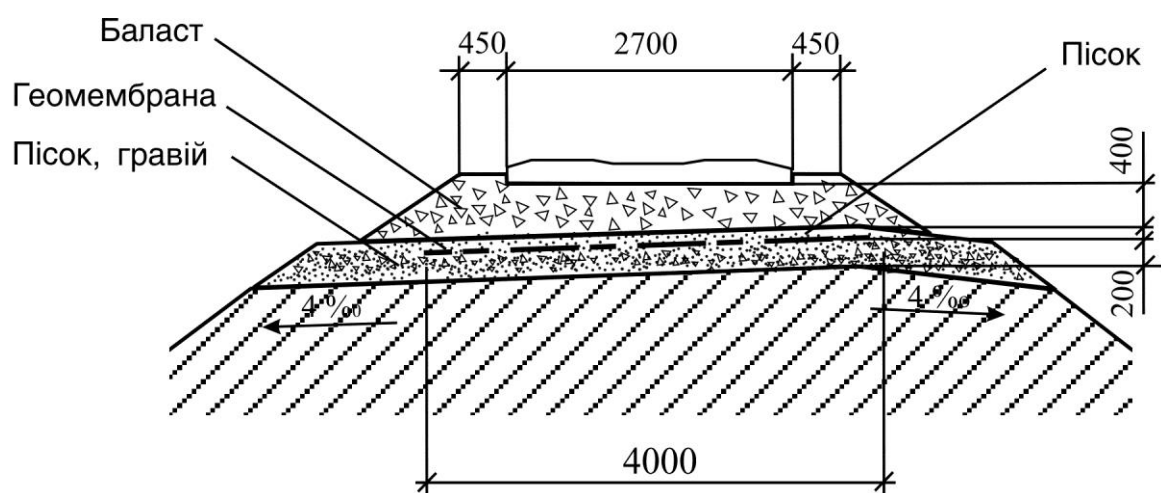


Рисунок 2.10 – Конструкція земляного полотна
із гравійно-піщаною подушкою

Наступна модифікація рекомендується для відносно сприятливих умов (невелика інтенсивність руху, відносно стійкі ґрунти основи, але здатні до вивітрювання). Конструкція земляного полотна складається із основи, захисного шару з мінеральної суміші товщиною 0,4 м і щебеневого баласту тієї ж товщини (рис. 2.11).

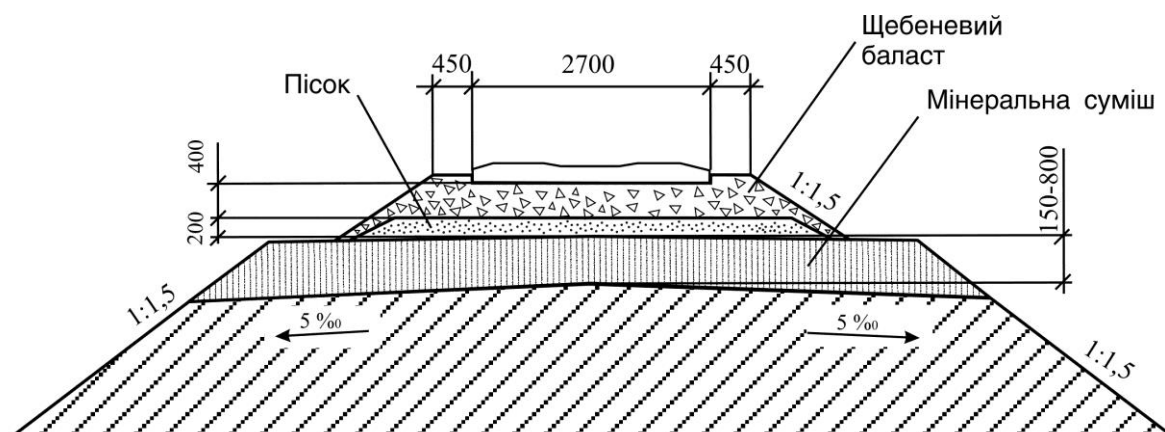


Рисунок 2.11 – Конструкція земляного полотна із мінеральної суміші

На підготовлену поверхню основної площадки укладають захисний шар із мінеральної суміші товщиною 0,4 м і ущільнюють його до нормативного значення модуля деформації $E=70\ldots80$ МПа. На захисний шар укладають рейко-шпальну решітку і щебеневий баласт, який ущільнюють до модуля деформації 100...120 МПа [15].

З проведених експериментальних досліджень в роботі [23] можна зробити висновок, що малodeформований шар і впроваджена в ґрунтову матрицю арматура у вигляді геотекстилю або геосітки, кардинально по-різному впливають на напружено-деформований стан земляного полотна, хоча інтегрально їх вплив полягає у зменшенні його деформацій. Важливість визначення зазначених причин полягає в тому, що, дослідивши особливості кожного із способів підсилення або армування, можна поєднувати найбільше впливають на деформування земляного полотна і створити їх комбінацію.

Разом з тим, слід чітко розмежовувати вплив малodeформованого шару та геосинтетичних матеріалів. З проведених досліджень з першого випадку, можна дійти невтішного висновку, що шар, що мало деформується, через підвищення

модуля деформації шару знижує деформації системи взагалі, збільшуючи її деформаційні властивості. Однак, таке збільшення відбувається лише в шарі та в деякій його околиці і базується лише на підвищенні деформаційних властивостей, але не коефіцієнта тертя, питомого зчеплення тощо. Такий шар деформується разом з матрицею, в яку впроваджено, таким чином, що ніяких розшарування, тріщин і порушень суцільності моделі не спостерігається, на відміну від випадку армування геотекстилем. У цьому полягає позитивний ефект такого шару (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Характер деформування моделі земляного полотна з шаром, що мало деформується (світлина з роботи [23])

Основними висновками в цій роботі є те, що результати експериментальних досліджень свідчать про те, що положення шару по висоті в межах зони активного деформування істотно не впливає на зниження вертикальних деформацій, тобто при розробці технології не слід використовувати особливі механізовані засоби.

Дослідження сутності впливу шару, що мало деформується, та арматури у вигляді геосинтетичних матеріалів з визначенням переваг та недоліків кожного свідчить про те, що застосування комбінованих рішень найбільш оптимальне, що впливає з кількісного аналізу кожного з варіантів.

Характер деформування земляного полотна за комбінованими варіантами свідчить про те, що в них відбувається поєднання позитивних властивостей комбінації шару та арматури, оскільки підвищення деформаційних властивостей шару. Таким чином, основним розвитком концепцій підсилення земляного полотна в Україні є вектор на комбінування.

2.4 Основні концепції підсилення земляного полотна в Європейському союзі

Наразі в Європейському союзі існують три концепції підсилення земляного полотна, кожна з яких має обґрунтовану область застосування:

- 1) підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів [5, 7, 8, 16];
- 2) підсилення земляного полотна за допомогою паль, що влаштовуються в ньому на основі різних технологій (буроін'єкційна, бурозмішувальна, буронабивна тощо) [4, 5, 10];
- 3) підсилення земляного полотна за допомогою комбінуванням геосинтетиків з палями [1, 2, 13].

В Україні вже намітився вектор до другої концепції, тобто потенціал технології буріння та змішування вже дозволяє створювати складні композитні конструкції земляного полотна. Так, однією з найбільш перспективних технологій закріплення слабких ґрунтових основ під час будівництва та відновлення транспортних споруд є бурозмішувальна технологія. Її основним продуктом є ґрунтоцементні елементи, що зміцнюють і армують ґрунтову основу [17, 18].

Технологія влаштування ґрунтоцементного елемента, полягає в механічному перемішуванні та додатковій гідромоніторній розробці певного ґрунтового об'єму залізничного насипу. При цьому здійснюється додаткове якісне перемішування ґрунтоцементної суміші, що формує тіло ґрунтоцементного елемента, який можна створювати як у сухих, так і водонасичених ґрунтах.

Ґрунтоцементні елементи при необхідності можуть армуватися як у верхній частині, так і на їх довжину. Як армування в залежності від призначення можуть застосовуватись арматурні стрижні, просторові каркаси, двотаври, швелери або інші конструкційні матеріали. Причому армування можна виконувати в перші години до схоплювання ґрунтоцементного матеріалу шляхом звичайного занурення армуючих елементів.

Одним з найбільш важливих технологічних факторів при бурозмішувальній технології закріплення порід є вибір та використання закріплювальних розчинів (рис. 2.13).

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		



Рисунок 2.13 – Реалізація бурозмішувального способу створення паль для підсилення ґрунтової основи

Комбінування геосинтетиків з палями проводиться в геосинтетично армованій опорі на палі (Geosynthetic-Reinforced-Pile-Supported (GRPS)), яка широко досліджується [2] (рис. 2.14).

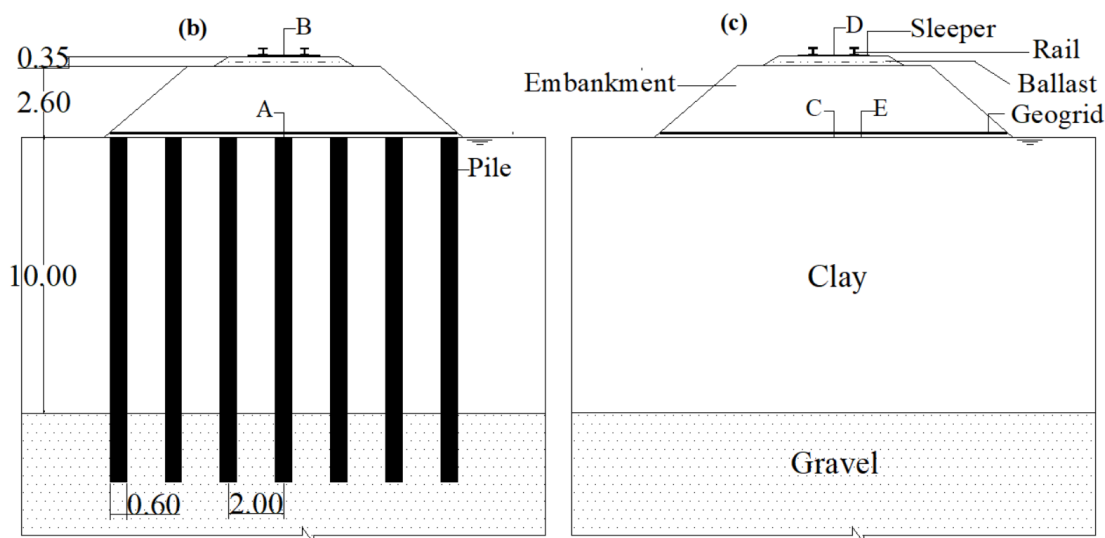


Рисунок 2.14 – Схема влаштування геосинтетично армованої опорі на палі (Geosynthetic-Reinforced-Pile-Supported (GRPS)) (рисунок з роботи [2])

Механізм передачі навантаження в насипах GRPS описується як комбінація різних явищ: викривлення ґрунту внаслідок різниці між жорсткістю паль і

навколишнього м'якого ґрунту, ефект натягнутої мембрани геосинтетика, фрикційна поведінка межі «ґрунт – геосинтетик» і опора з м'якого ґрунту. Різні дослідники досліджували поведінку насипів GRPS і запропонували багато аналітичних методів проектування, найбільш широкий огляд яких надано в роботах [1, 2, 5, 7, 12, 13].

Що стосується циклічного навантаження, огляд літератури є набагато більш обмеженим, однак поведінка насипу GRPS під цим типом навантаження має вирішальне значення через реальне представлення проблеми. Деякі автори вказали, що численні чинники зменшують дугоподібність ґрунту і, як наслідок, ефективність навантаження [12, 13]. На основі дрібномасштабної моделі насипу GRPS, що піддається циклічному навантаженню. Ці фактори включають конфігурацію палі, шари геосинтетиків, кількість циклів і частоту навантаження.

Було порівняно різницю в поведінці пальового насипу при статичних і транспортних навантаженнях, результати показують, що вертикальне напруження, яке переноситься слабким ґрунтом, збільшується разом із числом циклів

Результати досліджень показали, що прикладене вертикальне напруження над вістрям палі зростає зі збільшенням циклічного навантаження до певного моменту часу, а потім зменшується через зниження аркового ефекту ґрунту. Складна динамічна поведінка ґрунту насипу не може бути адекватно представлена через прийняття моделі Мора-Кулона. Слід проводити чисельний аналіз методом скінченних елементів. Дослідження виявило накопичення параметрів, особливо в перших десяти циклах, де відбулося 50 % від його обсягу.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

З ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КОНЦЕПЦІЇ ПІДСИЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

3.1 Розробка скінченно-елементної моделі підсиленого земляного полотна

Реалізація рішень методу скінченних елементів під час чисельного аналізу проводилася на основі професійного комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R3 (SCAD) [26]. Основною задачею була розробка скінченно-елементної моделі, яку зручно варіювати для уведення в неї різноманітних елементів підсилення. При цьому прийшлося створити дві різні основні моделі, що дозволяють моделювати підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів та підсилення із застосуванням захисних ґрунтових шарів (шарів з матеріалу, що мало деформується) (українська концепція) та підсилення із застосуванням паль (європейська концепція), а також два випадки їх комбінування.

Ідеєю моделювання була наступна. Визначити ефективність української або європейської концепції підсилення можливо лише після аналізу результатів математичного моделювання, тобто показником ефективності виступає рівень напружено-деформованого стану моделей із конкретним видом підсилення. Зміна, а саме зменшення напружень та/або переміщень, свідчитимуть про ефективність концепції, яку надалі можна обґрунтовано імплементувати на українських залізницях.

План досліджень, що спираються на результати чисельного аналізу, наступний:

1. Українські концепції – чотири моделі:

- 1) Варіант 0у – непідсилене земляне полотно;
- 2) Варіант 1у – земляне полотно, підсилене полотнищем геосинтетику під баластним шаром (моделює конструкцію на рис. 2.2);
- 3) Варіант 2у – земляне полотно, підсилене шаром щебенево-піщаної суміші товщиною 0,4 м (моделює конструкцію на рис. 2.7);
- 4) Варіант 3у – земляне полотно, підсилене шаром мінеральної суміші товщиною 0,8 м (моделює конструкцію на рис. 2.11);

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

2. Європейські концепції – чотири моделі:

- 1) Варіант 0с – непідсилене земляне полотно;
- 2) Варіант 1с – земляне полотно, підсилене двома палями;
- 3) Варіант 2с – земляне полотно, підсилене трьома палями;
- 4) Варіант 3с – земляне полотно, підсилене GRPS з трьох паль та георешітки (моделює конструкцію на рис. 2.14).

Непідсилене земляне полотно розраховувалося два рази, оскільки дискретизація моделей, тобто розбивка на скінченні елементи, дещо відрізнялася, що пояснюється кардинально різними схемами підсилення, що потребують зміни структури всередині земляного полотна. В подальшому, порівняння значень напружень і переміщень Варіанту 0у і Варіанту 0с (непідсилене земляне полотно) доводить те, що дискретизація проведена вірно, оскільки розходження не виникає, при цьому сітка скінченних елементів, як буде видно нижче, має відмінності.

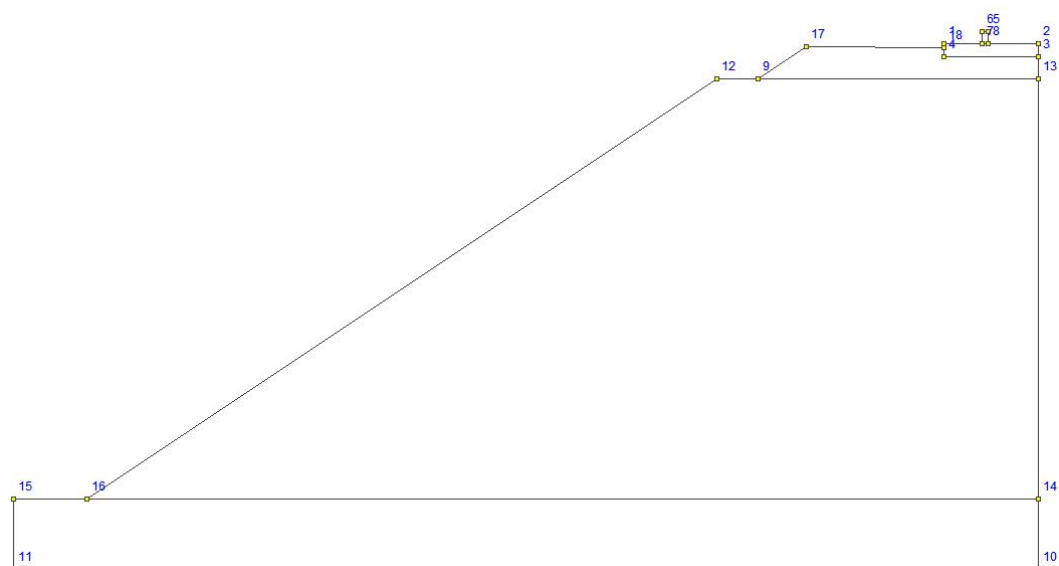
Для математичного моделювання приймається просторова (3D) постановка, як така, що дозволяє найбільш повно відобразити систему, що досліджується. Це підтверджується багатьма дослідженнями інших авторів [10-13, 19]. Об'ємні моделі створені на основі плоского прототипу, що побудований на основі автоматичної тріангуляції (автоматичної розбивки на скінченні елементи). Цей крок є правильним, оскільки об'єкт, що досліджується (рейка, шпала, баласт, земляне полотно, основа), має складне окреслення.

Для магістерської роботи, окрім розмірів та форми рейки, всі інші розміри та форми елементів верхньої будови колії та земляного полотна збережені для максимально повного відтворення об'єкта дослідження.

Перед тим, як виконати тріангуляцію, необхідно завантажити в схему вузли, через які проходить контур, що обмежує область тріангуляції. Для завантаження схеми вузлів та контурів моделі застосуємо імпортування з програми AutoCAD for Windows (рис. 3.1), в якій по точкам побудований поперечний переріз земляного полотна висотою 6 м. Його конструкція відповідає розроблений для «ЦП-0204 Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії» [21] конструкції земляного полотна, наведених на рис. 2.1.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

а)



б)

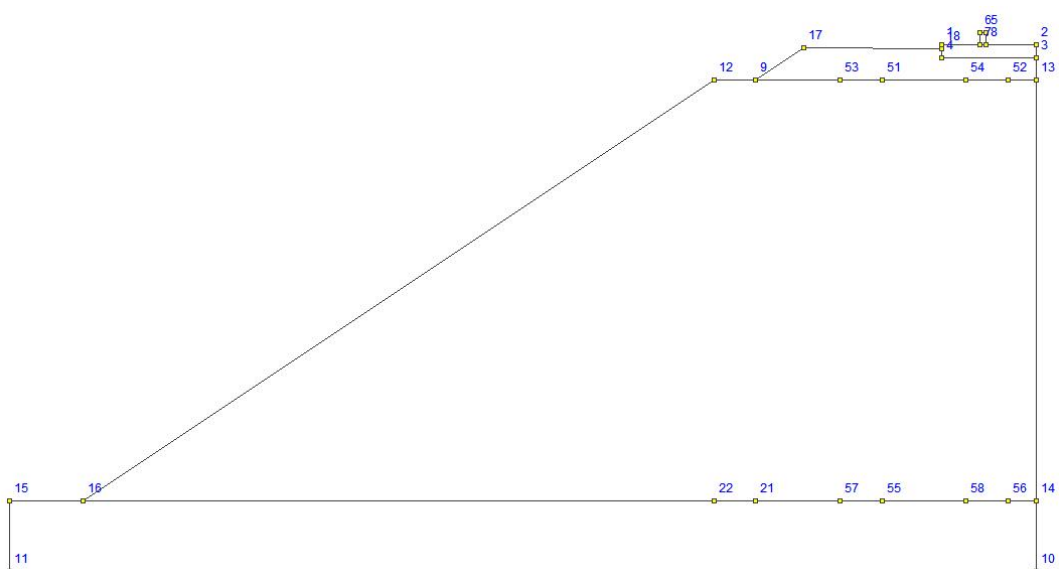


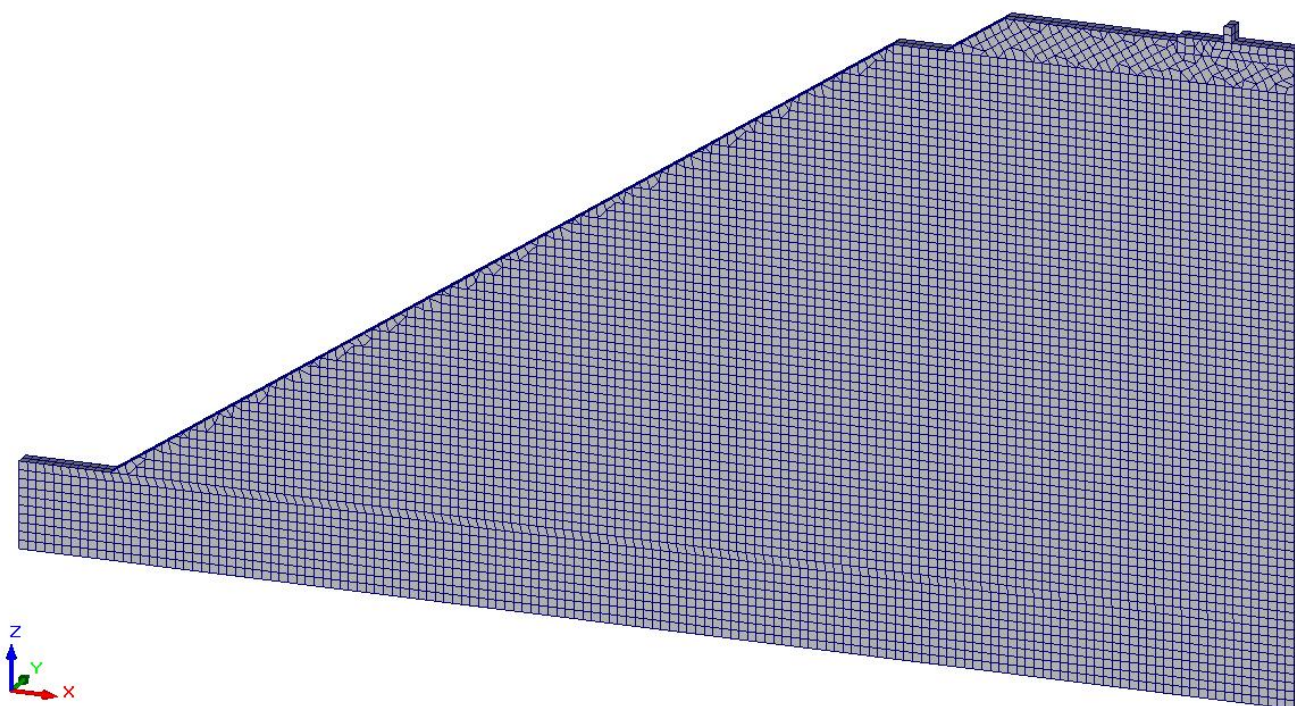
Рисунок 3.1 – Контур майбутньої моделі земельного полотна:

а) українська концепція підсилення; б) європейська концепція підсилення

На рис. 3.2 наведена модель земельного полотна, яка створена у комплексі SCAD за допомогою автоматичної тріангуляції (крок тріангуляції – 0,1 м). Розміри СЕ коливаються у межах $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ до $0,15 \times 0,1 \times 0,1$ м, тобто дискретизація схеми достатньо детальна. У схемі застосовані як тетраедричні СЕ (у моделюванні укусу), так і паралелепіпеди (у моделюванні земельного полотна та основи). Загальна кількість вузлів схеми – 21957 шт. (біля 69 тисяч ступенів волі, задача вважається великорозмірною), кількість скінченних елементів – 14374

(українські концепції) / 14507 (європейські концепції) шт. Розміри моделі: довжина – 14,65 м, висота – 7,5 м (з яких висота земляного полотна – 6 м, основа – 1 м, баластний шар щебеню – 0,5 м).

а)



б)

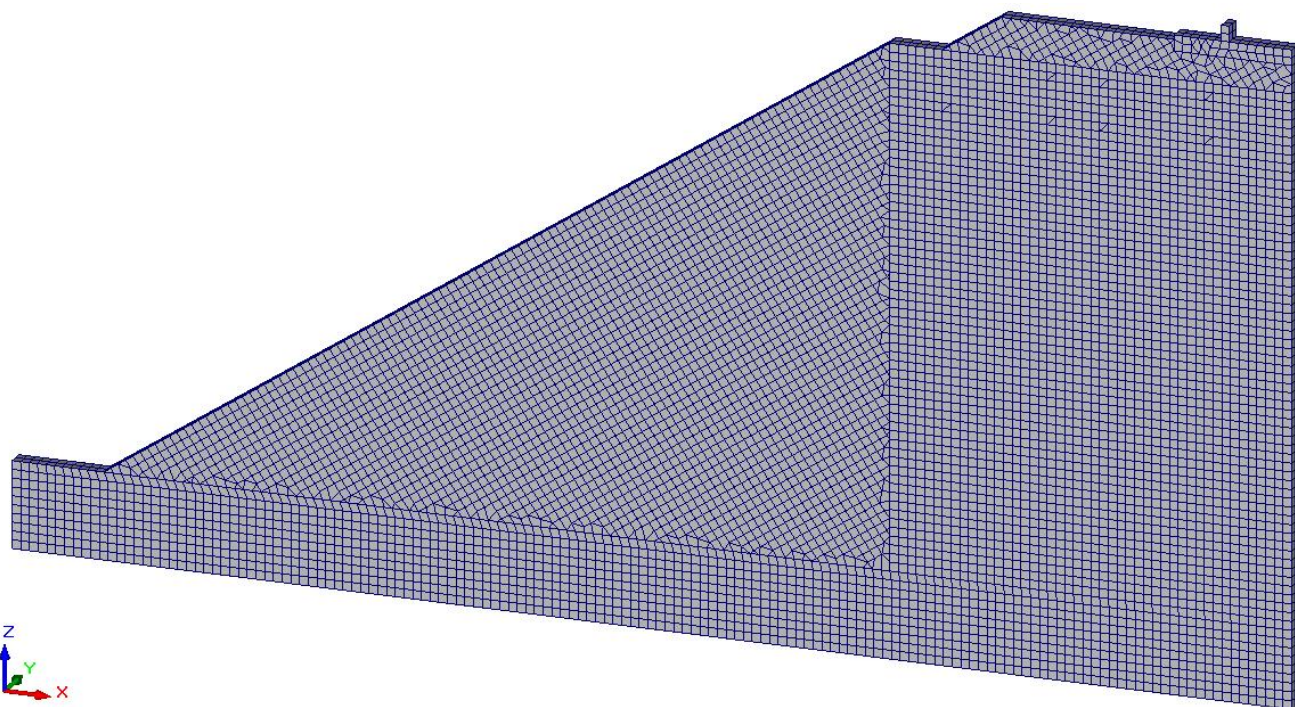


Рисунок 3.2 – Просторова модель непідсиленого земляного полотна:

а) Варіант 0у; б) Варіант 0е

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		36

На рис. 3.3. показані карти деформаційних характеристик, які надані скінченно-елементним моделям українських концепцій:

Жорсткість 1: основа земляного полотна і земляне полотно – суглинок, питома вага $\gamma=1,9 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=25\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$;

Жорсткість 2: баластна призма – щебінь, питома вага $\gamma=2,2 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=100\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

Жорсткість 3: шпала – залізобетон, питома вага $\gamma=2,5 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=35\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

Жорсткість 4: рейка – сталь, питома вага $\gamma=7,7 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=21\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

Жорсткість 5 (пластина): матеріал елемента армування – геосинтетичне полотнище, питома вага $\gamma=0,5 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=1\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$.

Жорсткість 5 (об'ємна): матеріал елемента армування – шар щебенево-піщаної суміші товщиною 0,4 м або шар мінеральної суміші товщиною 0,8 м, питома вага $\gamma=2,0 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=80\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$.

На рис. 3.4. показані карти для моделей європейських концепцій:

Жорсткість 1: основа земляного полотна і земляне полотно – суглинок, питома вага $\gamma=1,9 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=25\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$;

Жорсткість 2: баластна призма – щебінь, питома вага $\gamma=2,2 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=100\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

Жорсткість 3: шпала – залізобетон, питома вага $\gamma=2,5 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=35\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

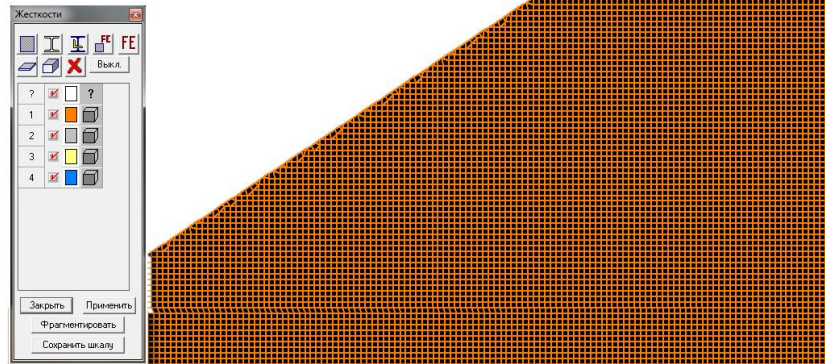
Жорсткість 4: рейка – сталь, питома вага $\gamma=7,7 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=21\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$;

Жорсткість 5 (об'ємна): матеріал елемента армування – паля діаметром 0,6 м (відстань між палями – 1,8 м у вісях), питома вага $\gamma=2,1 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=200\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$.

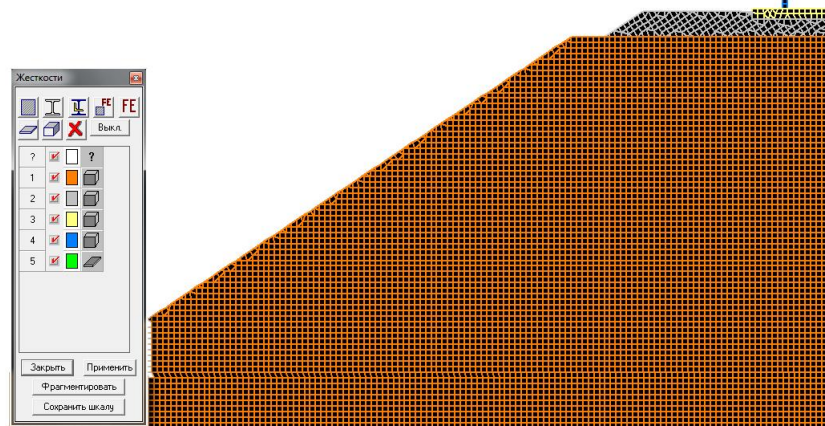
Жорсткість 6 (пластина): матеріал елемента армування – геосинтетичне полотнище, питома вага $\gamma=0,5 \text{ т/м}^3$, модуль пружності $E=1\,000\,000 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,2$.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

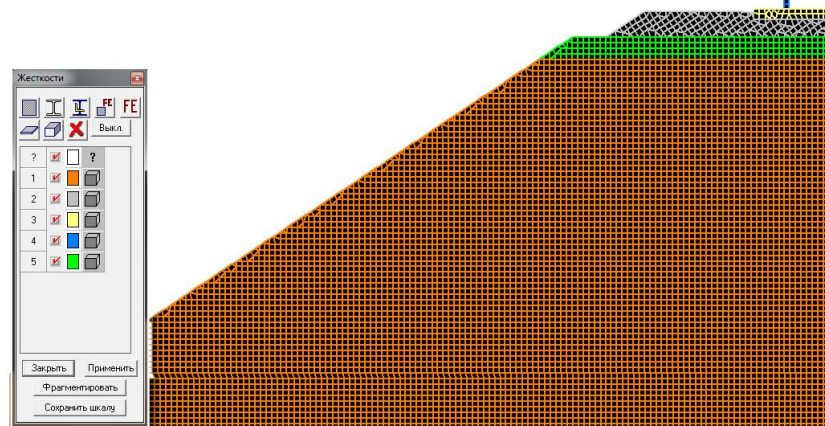
а)



б)



в)



г)

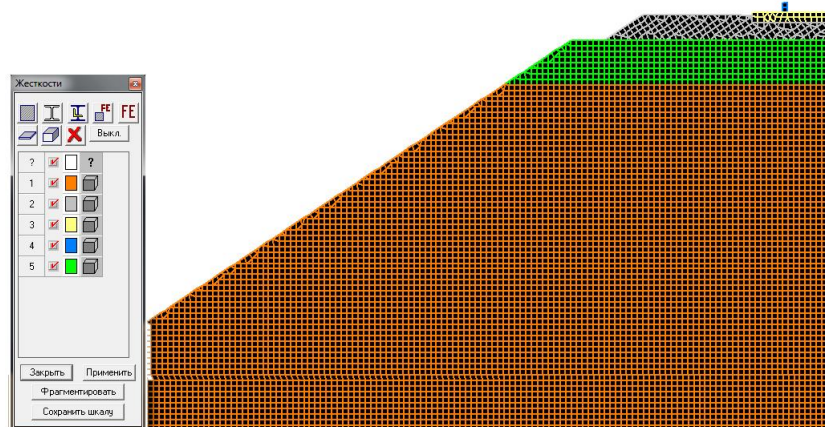
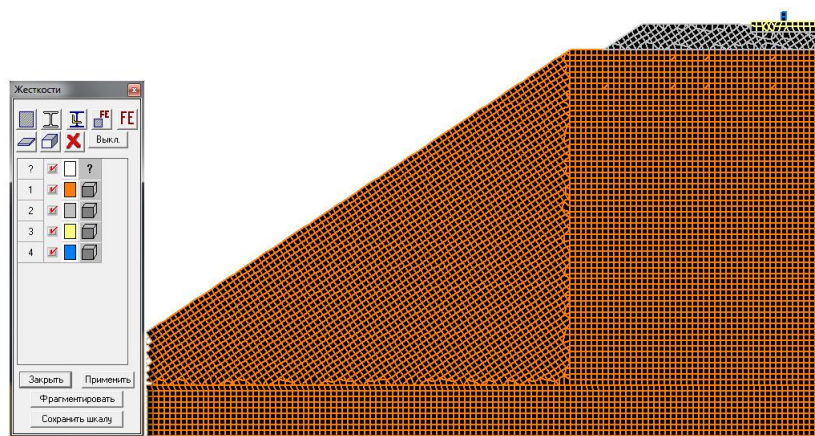


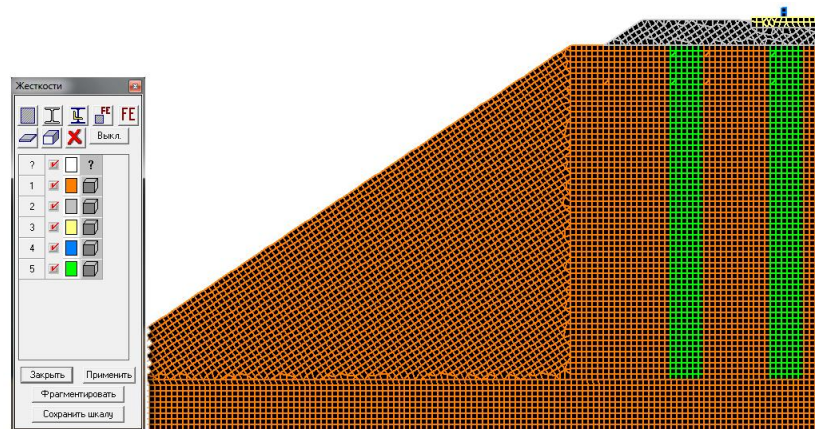
Рисунок 3.3 – Карты розподілення деформаційних характеристик:

а) Варіант 0у; б) Варіант 1у; в) Варіант 2у; г) Варіант 3у

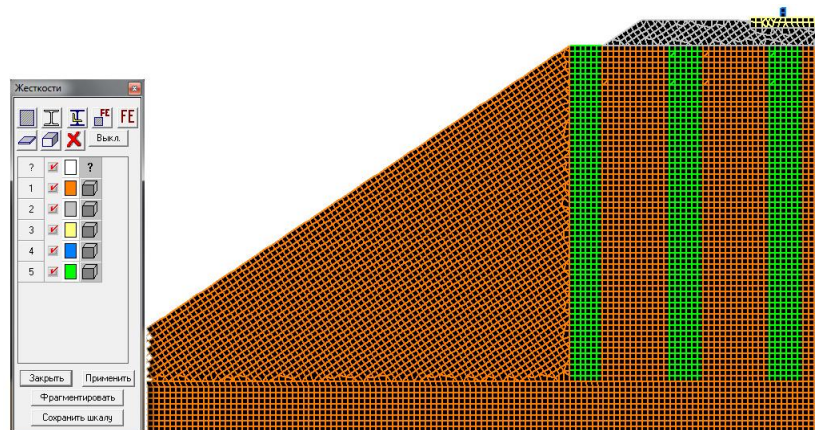
а)



б)



в)



г)

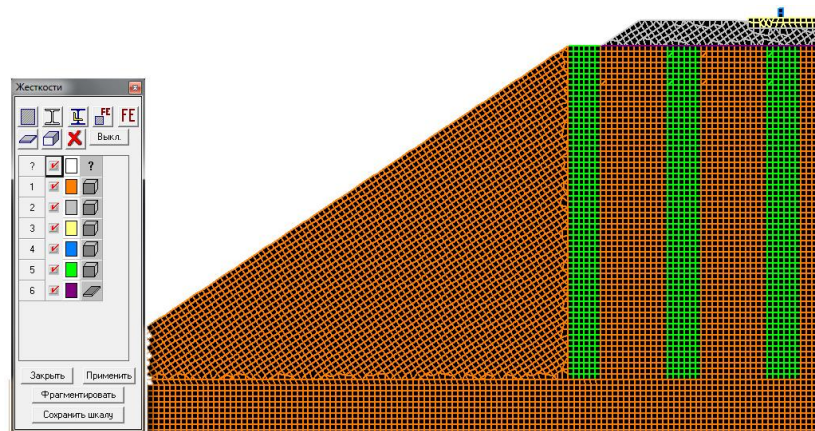


Рисунок 3.4 – Карты розподілення деформаційних характеристик:

а) Варіант 0є; б) Варіант 1є; в) Варіант 2є; г) Варіант 3є

На схему накладені граничні умови: понизу моделі – заборона переміщення по всім трьом осям, по боках основи – заборона по горизонтальним осям, по поперечних сторонах моделі – заборона по поздовжній осі. Верх та відкоси моделі вільні від граничних умов. В моделі було прийнято поїзне навантаження, тиск на вісь прийнято рівним нормативному тиску від поїзду $P=230,5$ кН на вісь, тобто 115,25 кН на одну рейку (рис. 3.5).

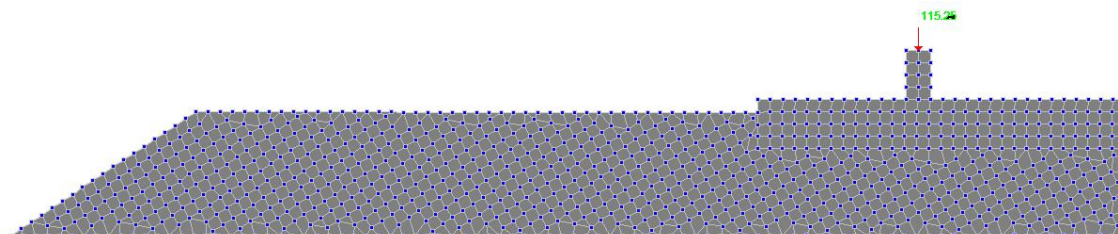


Рисунок 3.5 – Розташування поїзного навантаження на рейці

Під час чисельного аналізу SCAD застосовувався мультифронтальний метод розкладення матриці жорсткості із автоматичною оптимізацією ширини стрічки, як найбільш прогресивний метод роботи із матрицями, який застосовано у комплексі SCAD. Результатами розрахунку являються загальні переміщення та напруження моделі по осям X та Z, причому нижченаведені результати показують характерну картину їх розподілення у земляному полотні.

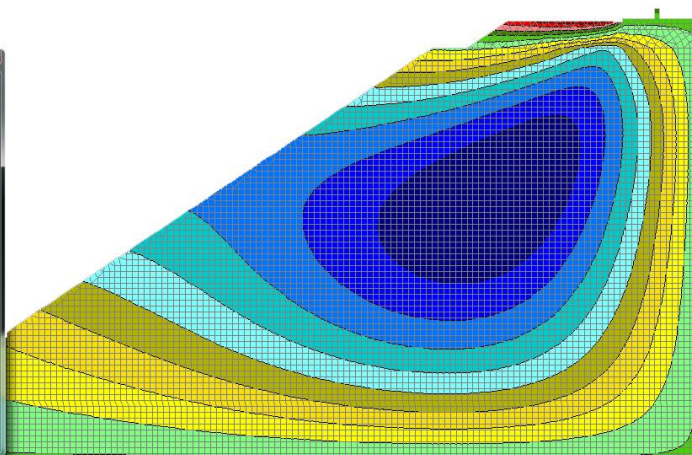
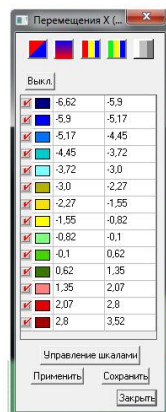
3.2 Напружено-деформований стан підсиленого згідно українських концепцій земляного полотна

Для подальшого аналізу конструкцій, що відповідають і українським, і європейським концепціям, розглядаються найбільш характерні параметри напружено-деформованого стану, а саме:

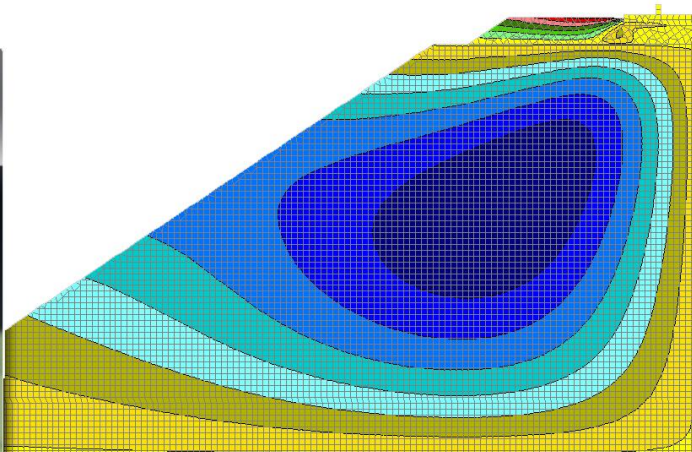
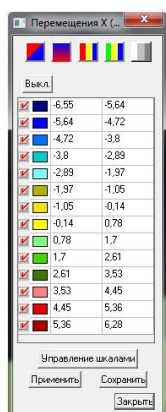
- 1) горизонтальні переміщення в головці рейки;
- 2) вертикальні переміщення в головці рейки;
- 3) горизонтальні нормальні напруження на основній площадці;
- 4) вертикальні нормальні напруження на основній площадці.

На рис. 3.6-3.9 наведені результати розрахунку МСЕ земляного полотна, підсиленого згідно українських концепцій.

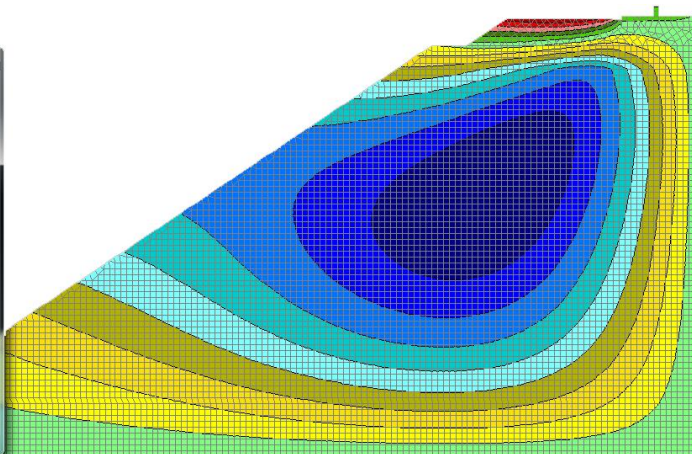
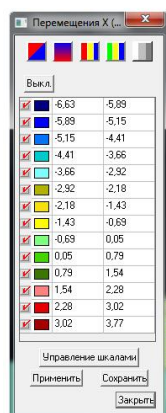
Варіант 0y



Варіант 1y



Варіант 2y



Варіант 3y

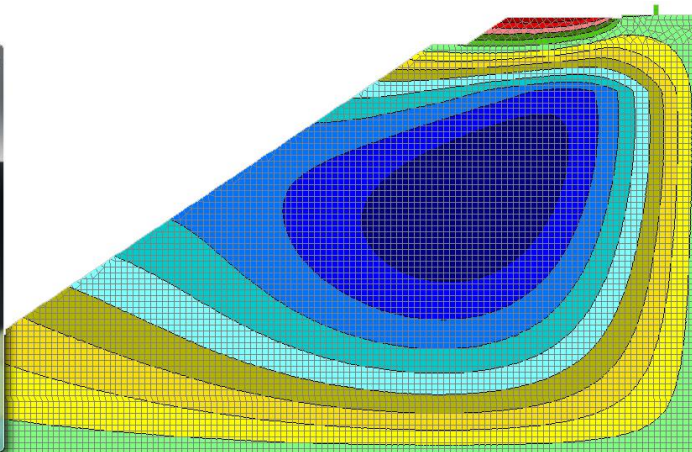
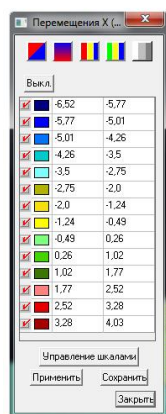


Рисунок 3.6 – Ізолінії та ізополя переміщень по горизонтальній осі

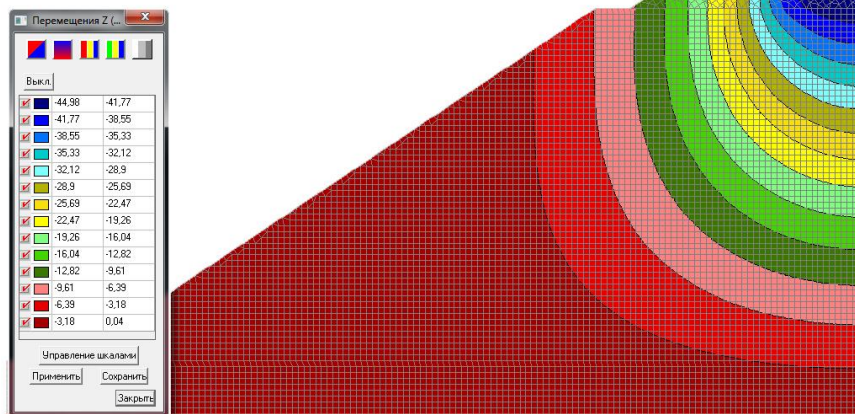
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

053.216518.ДП.2022.000

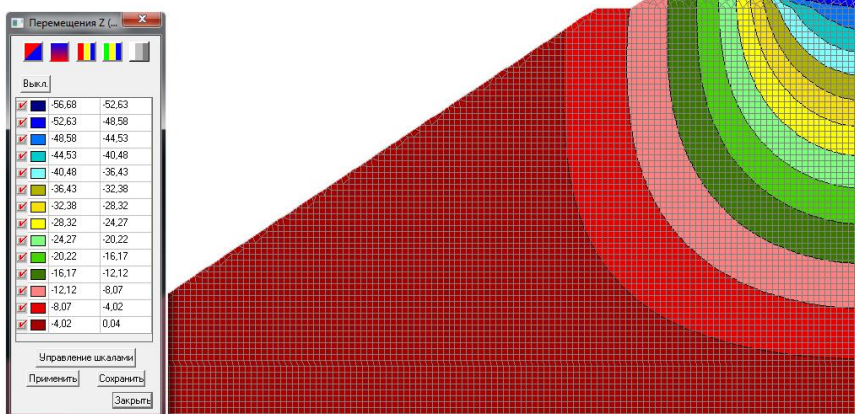
Лист

41

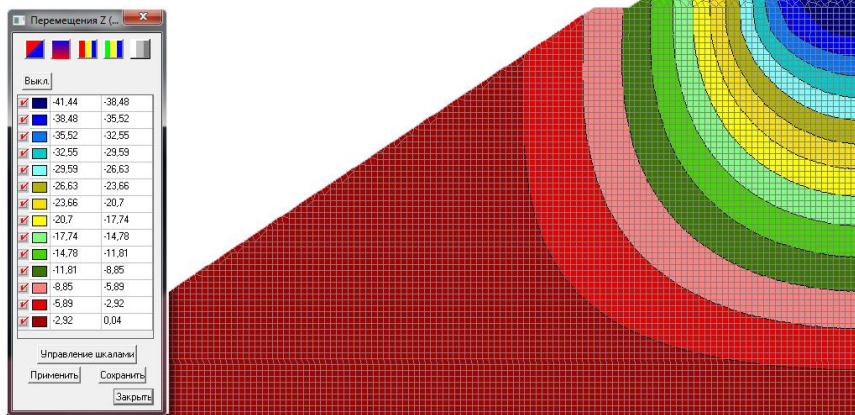
Варіант 0y



Варіант 1y



Варіант 2y



Варіант 3y

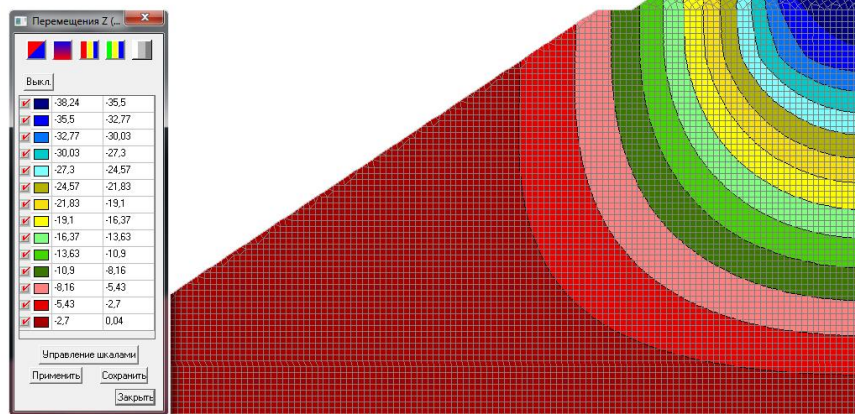
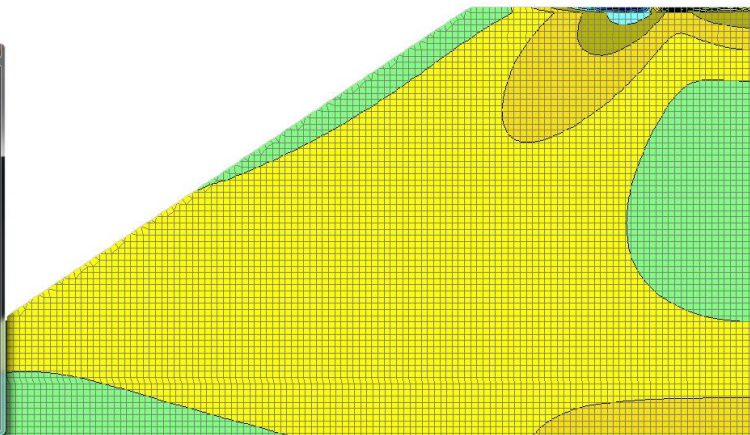
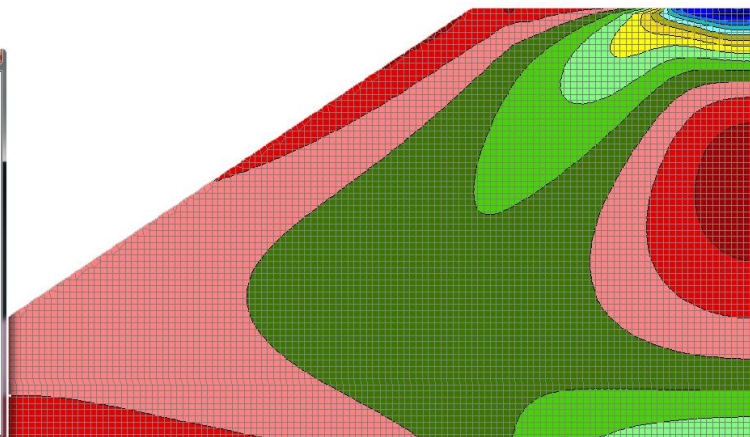


Рисунок 3.7 – Ізолінії та ізополя переміщень по вертикальній осі

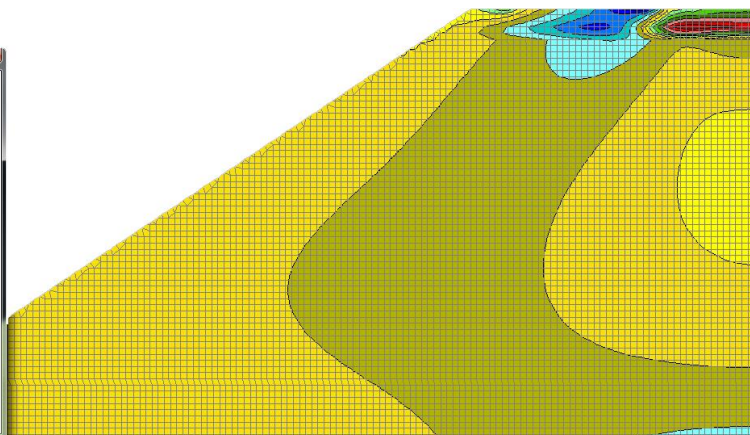
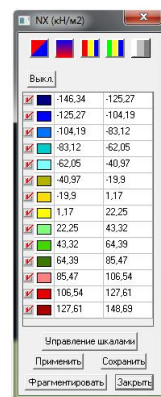
Варіант 0у



Варіант 1у



Варіант 2у



Варіант 3у

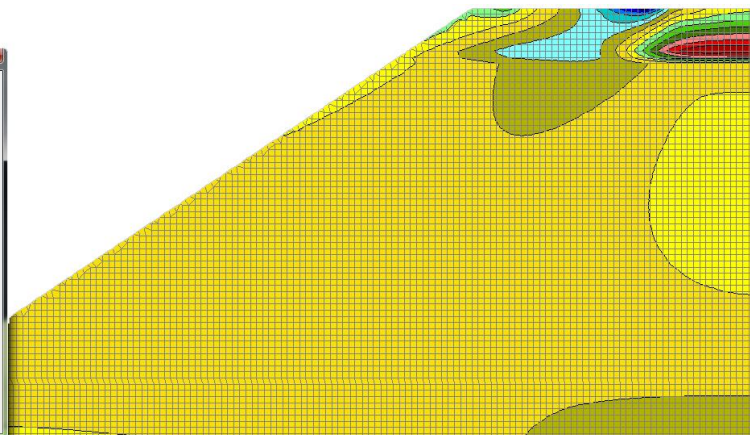
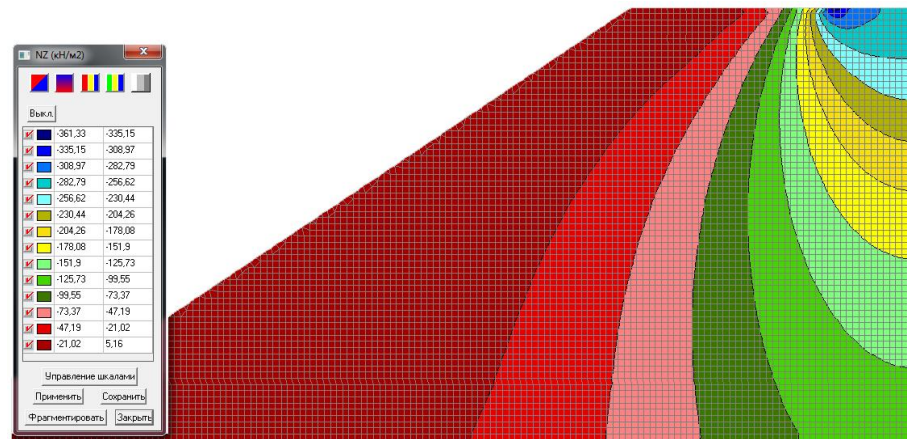
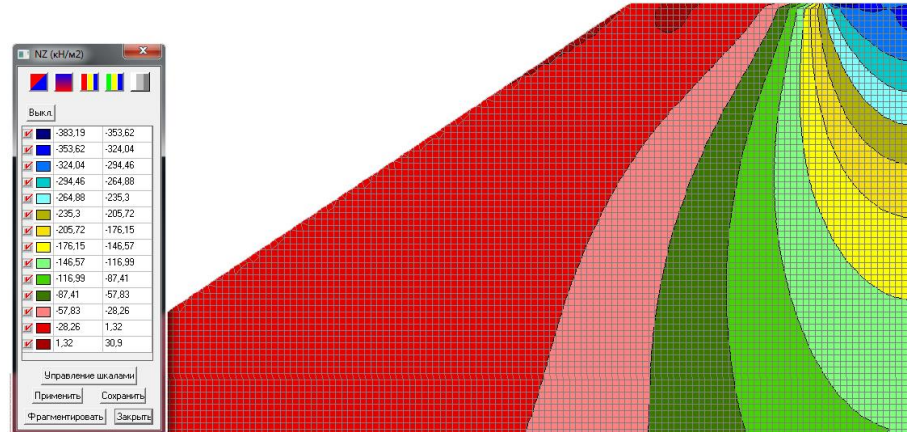


Рисунок 3.8 – Ізолінії та ізополя нормальних напружень по горизонтальній осі в земляному полотні

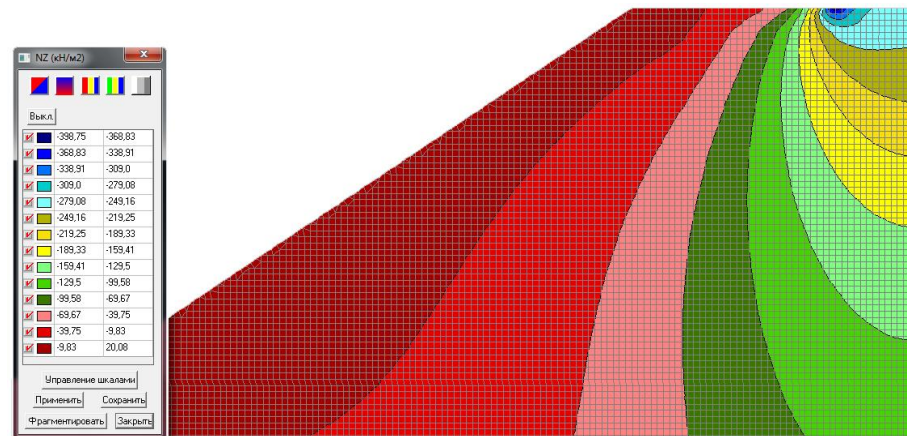
Варіант 0у



Варіант 1у



Варіант 2у



Варіант 3у

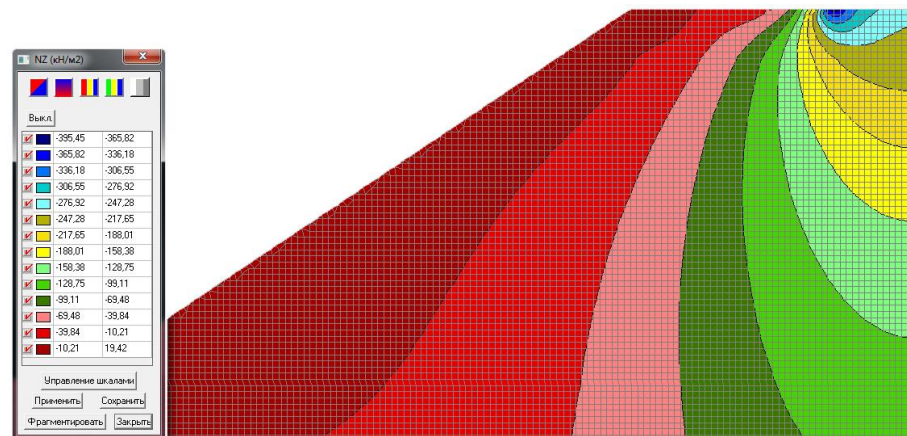


Рисунок 3.9 – Ізолії та ізополя нормальних напружень по вертикальній осі в земляному полотні

Аналіз ізоліній та ізополів переміщень по горизонтальній осі (рис. 3.6) свідчить про те, що всі види підсилення, що відносяться до українських концепцій, суттєво впливають на цю компоненту як кількісно, так і меншою мірою якісно. Не викликає сумнівів, що, хоча Варіант 1у та Варіанти 2у та 3у порівнювати не зовсім коректно тому, що їх сутність різна, але слід відмітити, що всі вони однозначно змінюють значення горизонтальних переміщень головки рейки.

Розподіл горизонтальних переміщень Варіанту 0у (рис. 3.6) непідсилене земляне полотно) є класичним, ізолінії та ізополя гладкі та не мають згинів та зламів. Це доводить достатньо високий рівень створеної моделі та проведеної автоматичної тріангуляції. В однорідному земляному полотні наявність викривлених ізоліній свідчить про те, що розмір скінченного елемента та їх сітка не відповідають реальному деформуванню.

Наявність геосинтетичного полотнища у Варіанті 1у якісно змінює розподіл горизонтальних переміщень незначно, хоча ядро від'ємних переміщень змінює свою площу та дещо повертається навколо своєї осі. Це свідчить про те, що наявність геосинтетика перерозподіляє саме горизонтальні переміщення, причому, якщо у Варіанті 0у вони в головці рейки дорівнювали +0,62 мм, то у Варіанті 1у вони становлять -0,14 мм. Це показує кардинальний вплив горизонтального елемента підсилення.

Шари, що мало деформуються, тобто Варіанти 2у й 3у, якісно майже не відрізняються від Варіанту 0у, але в кількісному плані зменшують горизонтальні переміщення незакріпленого земляного полотна в 12,4 та 2,38 рази відповідно. Варіант 3у, що характеризується товщиною шару в 2 рази більшою, ніж Варіант 2у, працює на зменшення горизонтальних переміщень менш ефективно, оскільки деформування в ньому перерозподіляється по висоті. Підбір оптимальної товщини є задачею майбутніх досліджень.

Деформування по вертикальній компоненті (рис. 3.7) також демонструє особливий вплив геосинтетичного полотнища у Варіанті 1у. Якісно Варіанти 0у, 2у та 3у майже не відрізняються, можна лише відмітити незначний згин ізоліній на межі шару, що мало деформується, та ґрунту земляного полотна.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		45

Такий ефект пояснюється достатньо високим (в 3,2 рази) відношенням модулів деформації (25 МПа у суглинку земляного полотна та 80 МПа у шару, що мало деформується). Саме це відношення і характеризує зменшення вертикальних переміщень, які поглинаються шаром, що мало деформується, і лише певна доля навантажень від поїзду проникає в саме земляне полотно.

Кількісно значення вертикальних переміщень зменшується у Варіантах 2у та 3у та збільшується у Варіанті 1у (в 1,26 рази). Для Варіанту 0у, тобто непідсиленого земляного полотна, вертикальне переміщення головки рейки складає 44,9 мм. Таке значення, хоча і характеризує роботу верхньої будови колії як пружну, але за значенням все ж більше нормальних значень в 20...25 мм. Звичайно, що ослаблене земляне полотно з суглинку з модулем деформації в 25 МПа (при нормативних 30...35 МПа), розвиватиме значні деформації, які саме і слід зменшувати, влаштовуючи підсилення. Так, вертикальні переміщення у Варіантах 2у та 3у зменшуються відповідно в 1,1 та 1,18 разів. Збільшення вертикальних переміщень у Варіанті 1у локальне, що пояснюється «зажимом» переміщень в області постановки геосинтетику.

Зміна горизонтальних напружень на основній площадці кардинальна в якісному та кількісному плані, про що свідчать ізолінії та ізополя на рис. 3.8. У всіх трьох варіантах розміщення горизонтального елемента підсилення відмічається зменшення значень горизонтальних напружень: в 1,36, 1,23 та 1,01 рази відповідно з Варіантами 1у, 2у та 3у. Нормативним значенням напруження на основній площадці є 160 кПа, Варіанти 0у та 3у із значеннями в -180,4 та -177,4 кПа не відповідають нормативу, найкращім варіантом, що зменшує горизонтальні переміщення є постановка геосинтетичного полотнища. Значення вертикальних напружень (рис. 3.9) кардинально відмінні лише у Варіанті 1у, а їх значення в діапазоні -38,2...-56,7 кПа свідчать про значний запас.

Основним висновком після аналізу напружено-деформованого стану варіантів, що характерні для українських концепцій, є те, що вони активно впливають на горизонтальні компоненти переміщень та напружень, хоча деякий позитивний вплив спостерігається і для вертикальних переміщень.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

3.3 Напружено-деформований стан підсиленого згідно європейських концепцій земляного полотна

На рис. 3.10-3.13 наведені результати напружено-деформованого стану.

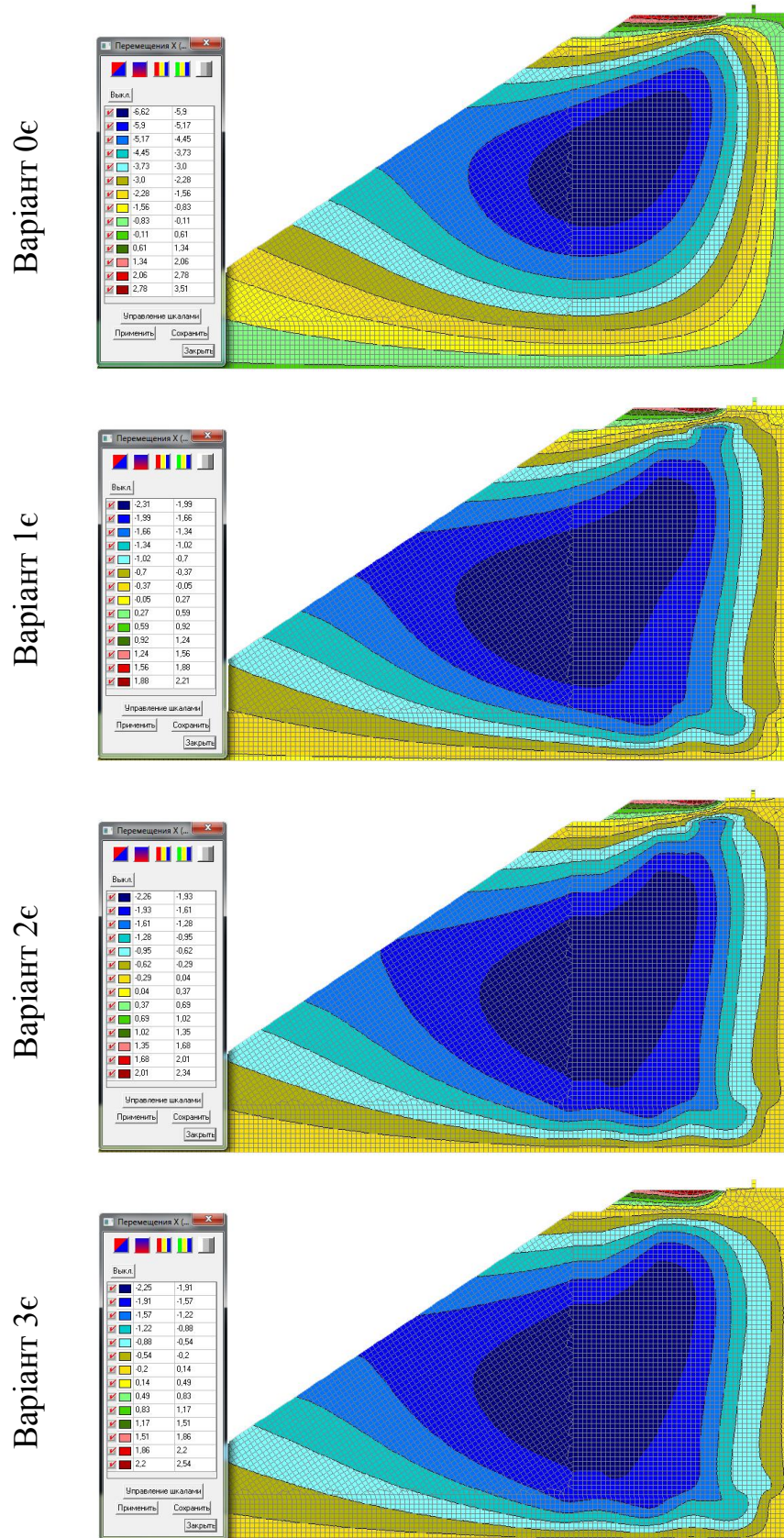
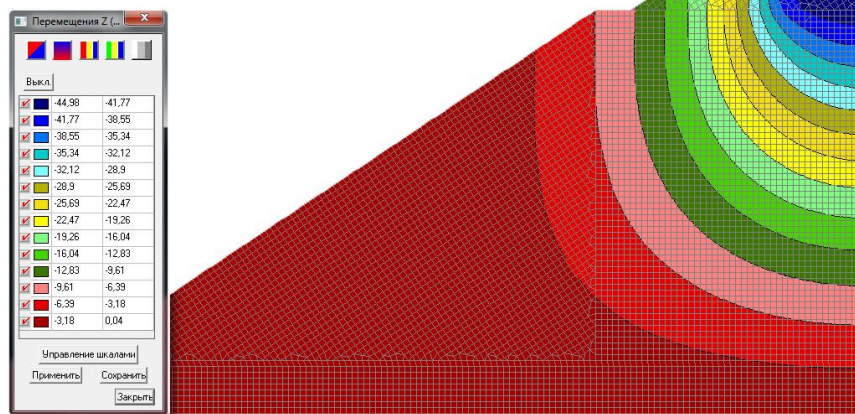
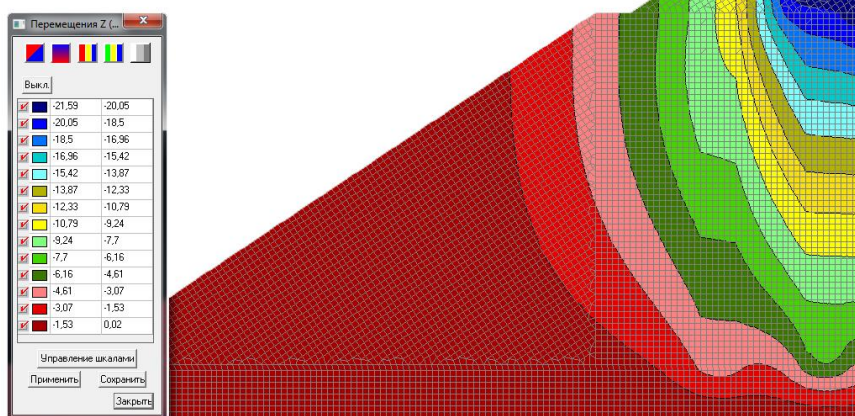


Рисунок 3.10 – Ізолінії та ізополя переміщень по горизонтальній осі

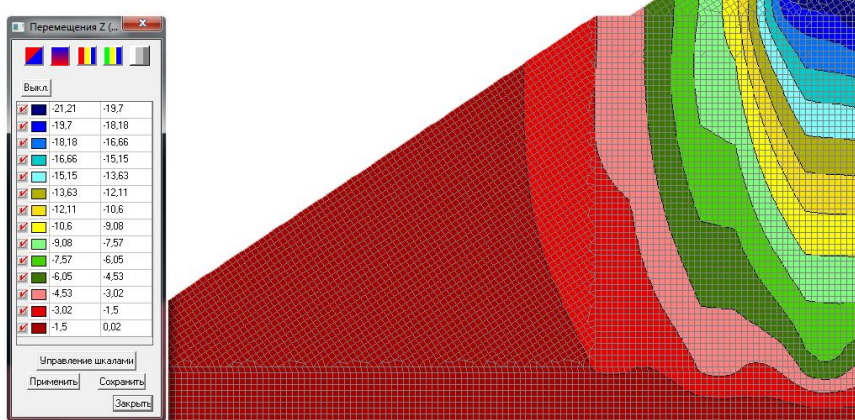
Варіант 0ε



Варіант 1ε



Варіант 2ε



Варіант 3ε

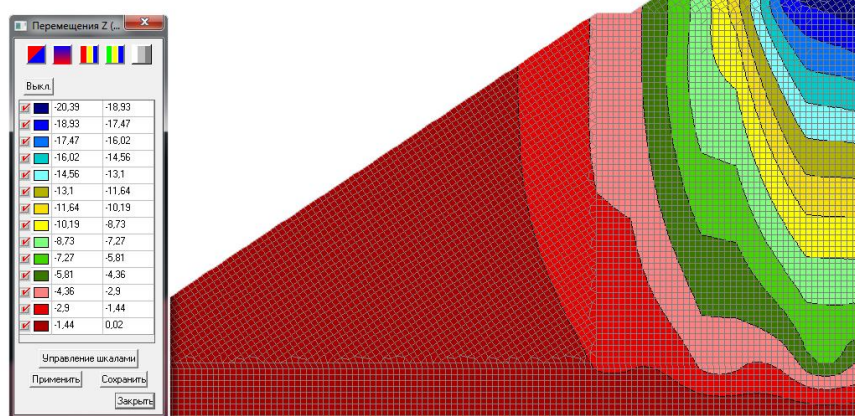
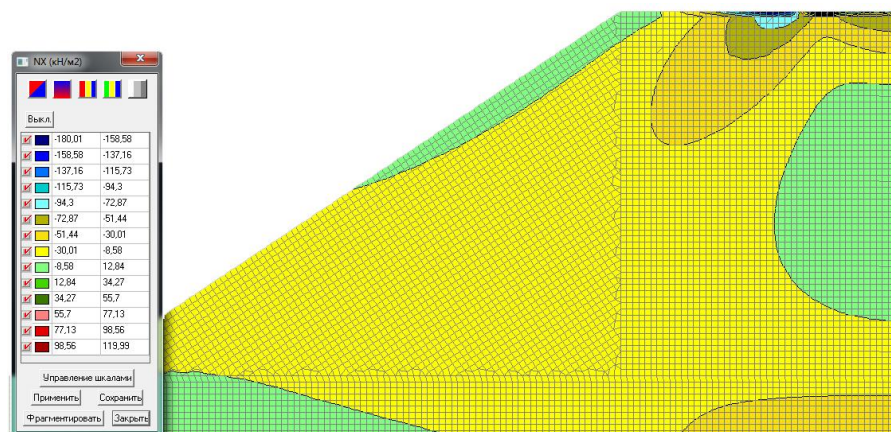
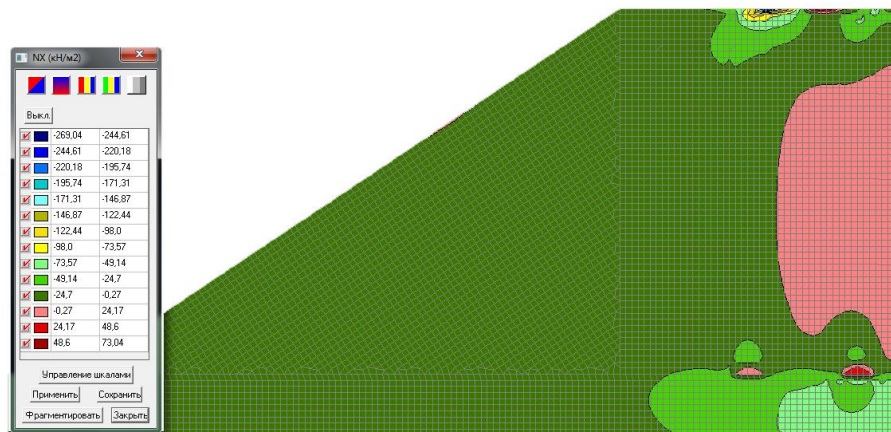


Рисунок 3.11 – Ізолінії та ізополя переміщень по вертикальній осі Z

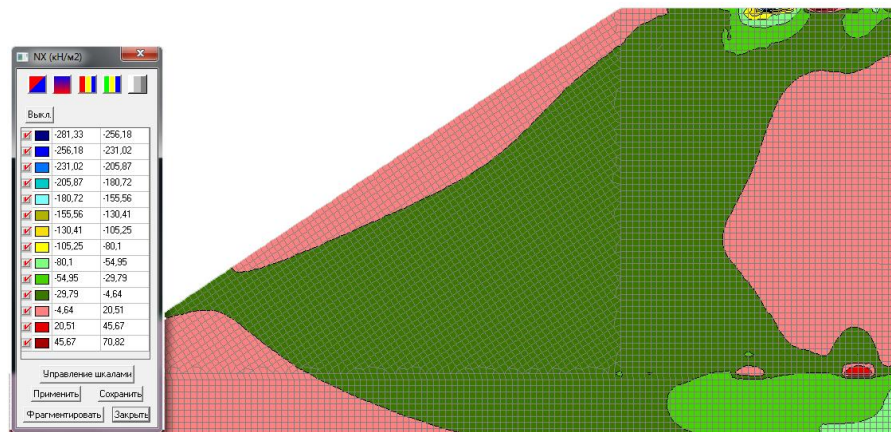
Варіант 0с



Варіант 1с



Варіант 2с

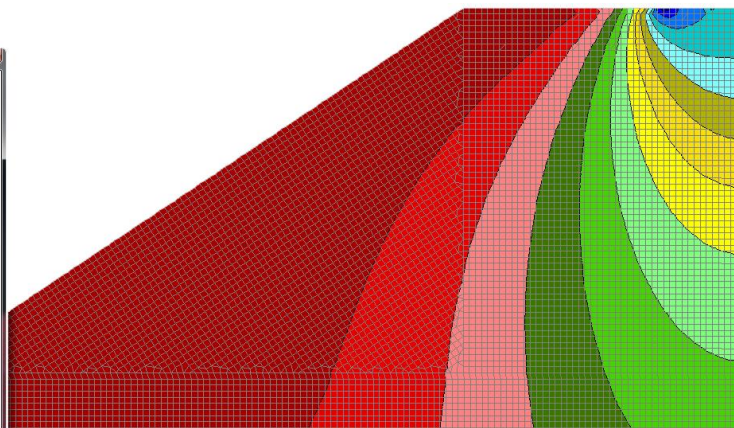
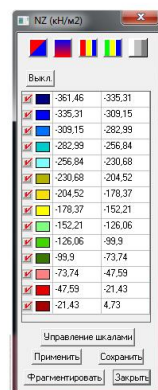


Варіант 3с

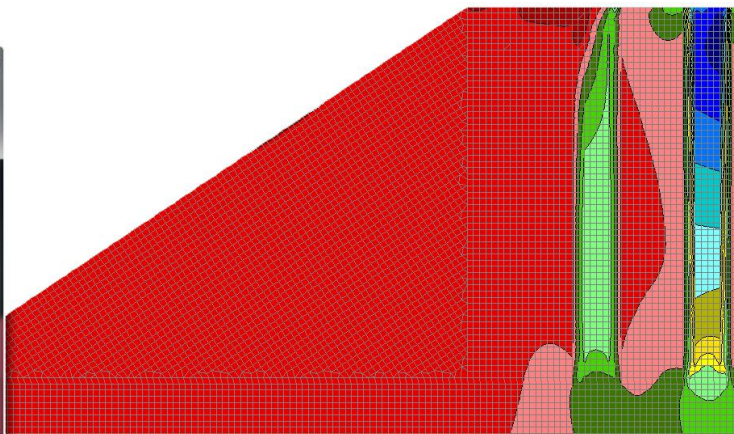
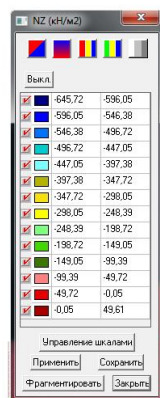


Рисунок 3.12 – Ізолінії та ізополя нормальних напружень
по горизонтальній осі в земляному полотні

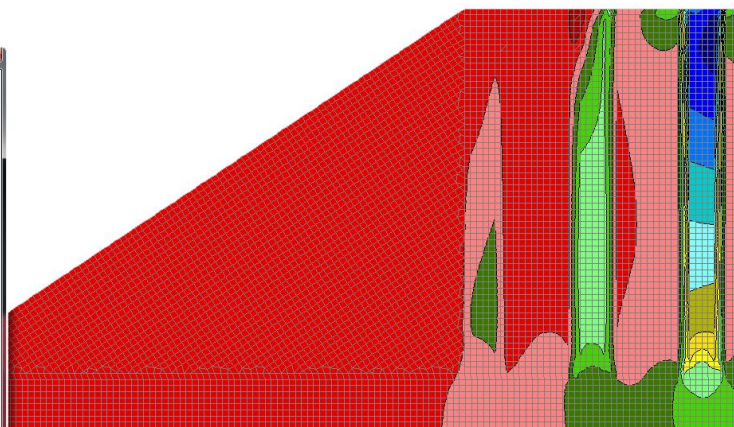
Варіант 0с



Варіант 1с



Варіант 2с



Варіант 3с

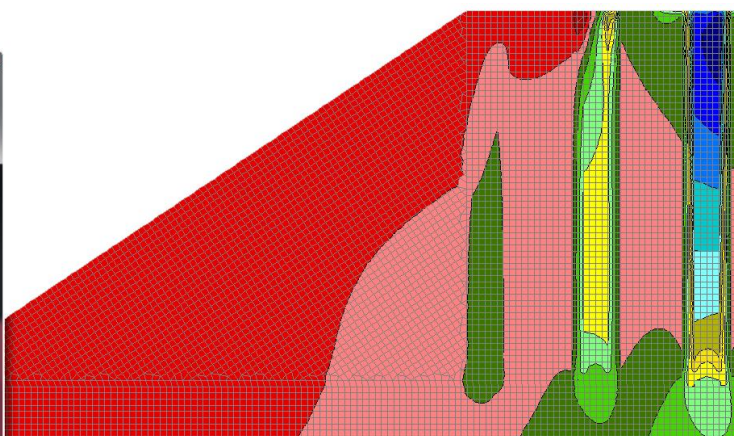
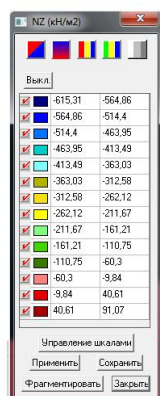


Рисунок 3.13 – Ізолінії та ізополя нормальних напружень по вертикальній осі в земляному полотні

Аналіз горизонтальних переміщень (рис. 3.10) свідчить про те, що підсилення палями, а також комбінування паль та георешітки в GRPS, кардинальним чином змінює і якісну, і кількісну картину деформованого стану. Слід відмітити, що наявність паль, що відрізняються від ґрунту земляного полотна за модулем деформації у 8 разів (200 000 кПа на відміну від 25 000 кПа у суглинка) змінює характер ізоліній, що мають суттєві вигини та злами, що очікуємо. Така ситуація в принципі з'являється тоді, коли в середовище із більшою деформаційною властивістю занурюють елементи підсилення, що деформуються менше.

Кількісні зміни також суттєві. Ядро від'ємних переміщень всередині земляного полотна збільшується за площею, але значення горизонтальної компоненти у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є зменшується в 3 рази, що є дуже явним. Переміщення голівки рейки також значно знижені на відміну від непідсиленого варіанту: в 12,4, 15,5 та 4,42 рази відповідно у Варіантах 1є, 2є та 3є. Відмічається, що Варіант 3є (комбінування паль та георешітки в GRPS) за наявності геосинтетичного полотнища, що розділює баласт та земляне полотно, дещо зменшує ефективність зниження горизонтальних переміщень.

Ще більш суттєво, на відміну від горизонтальних переміщень, наявність паль впливає на вертикальну компоненту, що очікуємо. Ефект відношення модулів деформації проявляється для цих деформацій максимально повно. Ізолінії та ізополя вертикальних переміщень (рис. 3.11) у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є мають значні злами, перетворюючи досить однорідну картину розподілу в неоднорідну. Порівняння якісної картини між варіантами доводить те, що вони досить схожі по формі, але площа та положення деяких ізополів незначно змінюється.

В кількісному плані у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є можна засвідчити виразну картину зменшення вертикальних переміщень – в 2,1, 2,12 та 2,2 рази відповідно. Такі значення свідчать про значну ефективність варіантів підсилення, що відповідають європейським концепціям. Для сукупного порівняння українських та європейських концепцій побудовано діаграми для параметрів деформованого стану (рис. 3.14-3.15).

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		51

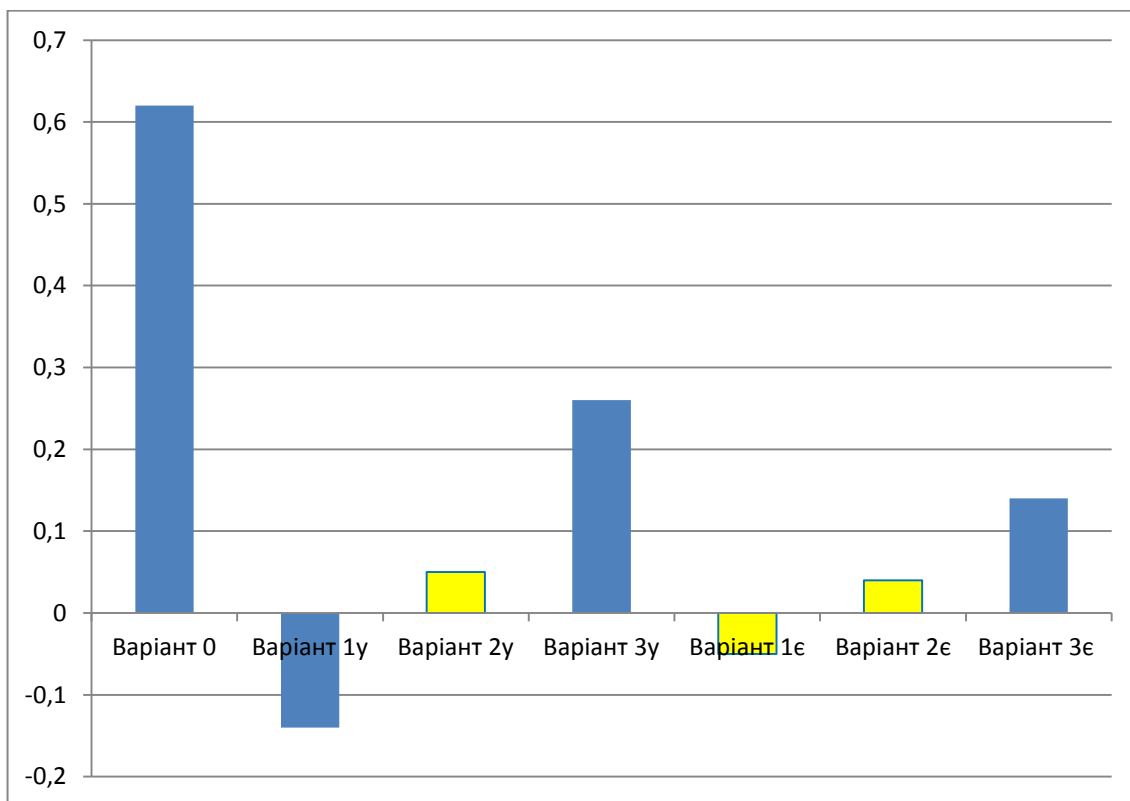


Рисунок 3.14 – Діаграма розподілу горизонтальних переміщень (мм) між варіантами підсилення

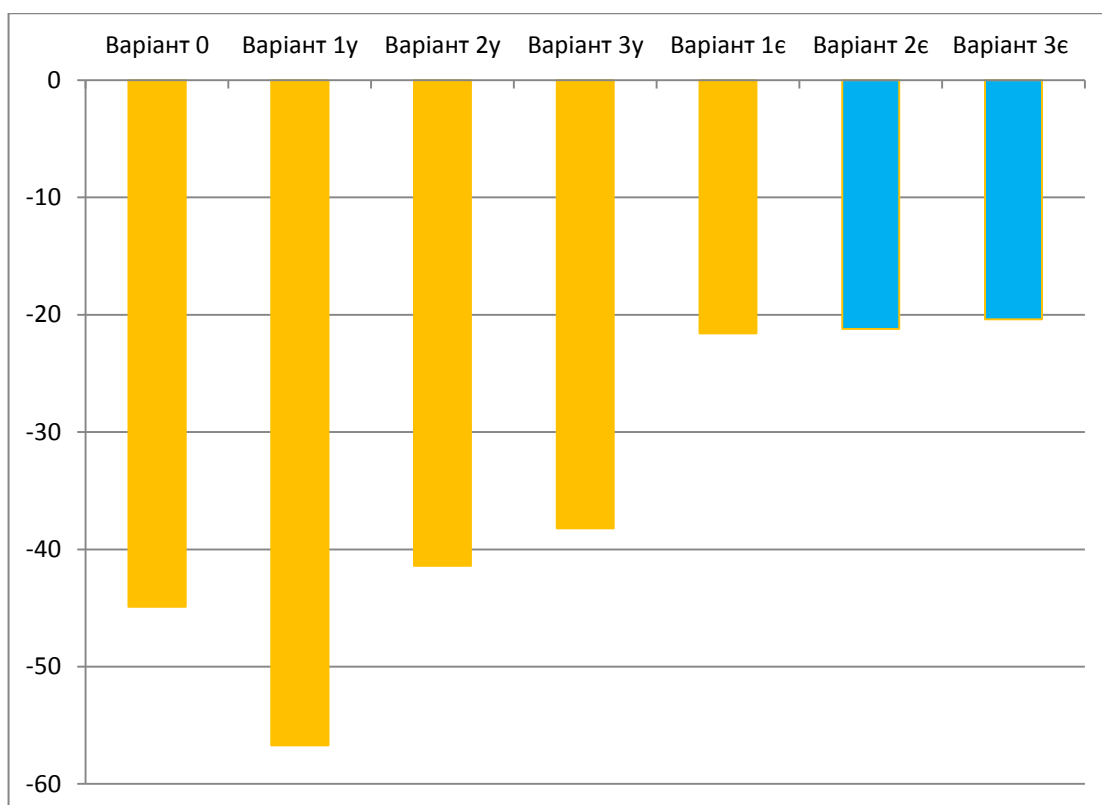


Рисунок 3.15 – Діаграма розподілу вертикальних переміщень (мм) між варіантами підсилення

Аналіз напруженого стану варіантів підсилення, що відповідають європейським концепціям, також доводить те, що підсилення палями, а також комбінування паль та георешітки в GRPS, кардинальним чином змінює і якісну, і кількісну картину. Перед тим, як проаналізувати характерні значення (рис. 3.12), слід відмітити, що у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є можна спостерігати значення нормальних напружень, що вищі за нормативний показник в 160 кПа. Однак, це не так, оскільки концентрації напружень та місця їх розташування прив'язані не к ґрунту основної площадки, а головам паль, які мають міцність більшу, ніж у ґрунту (міцність ґрунтоцементу паль при різних значеннях маси цементу наближується до міцності бетону класу В7,5). Тому слід розрізняти максимальні напруження в палі та ті ж самі показники в ґрунті, які і є більш характерними.

Якісна зміна картини напружень, як і у випадку з переміщеннями пов'язана із модулів деформації. Більш міцні та менш деформовані елементи підсилення сприймають на себе як переміщення, так і напруження. В кількісному плані у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є можна засвідчити явну картину зменшення горизонтальних напружень – в 1,84, 1,71 та 2,85 рази відповідно.

Під час аналізу вертикальних напружень також відшукуються концентрації напружень та місця їх розташування із значеннями (рис. 3.13) в діапазоні 61,5...64,5 кПа. Однак, як і у випадку горизонтальних напружень, вони розташовуються в тілі паль, які мають вищу, на відміну від ґрунту, міцність. В кількісному плані у Варіантах 1є, 2є та 3є на відміну від Варіанту 0є можна засвідчити явну картину зменшення вертикальних напружень – в 2,1, 2,12 та 2,2 рази відповідно. Ефект відношення модулів деформації для вертикальної компоненти деформованого стану проявляється максимально повно, причому значення, на які відрізняються переміщення демонструють достатню однорідність. Це свідчить про те, що в цій області слід провести низку досліджень, в яких буде розглянуто варіація цих властивостей.

Для сукупного порівняння українських та європейських концепцій побудовано діаграми для параметрів деформованого стану (рис. 3.16-3.17), які дозволяють оцінити вплив підсилення.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

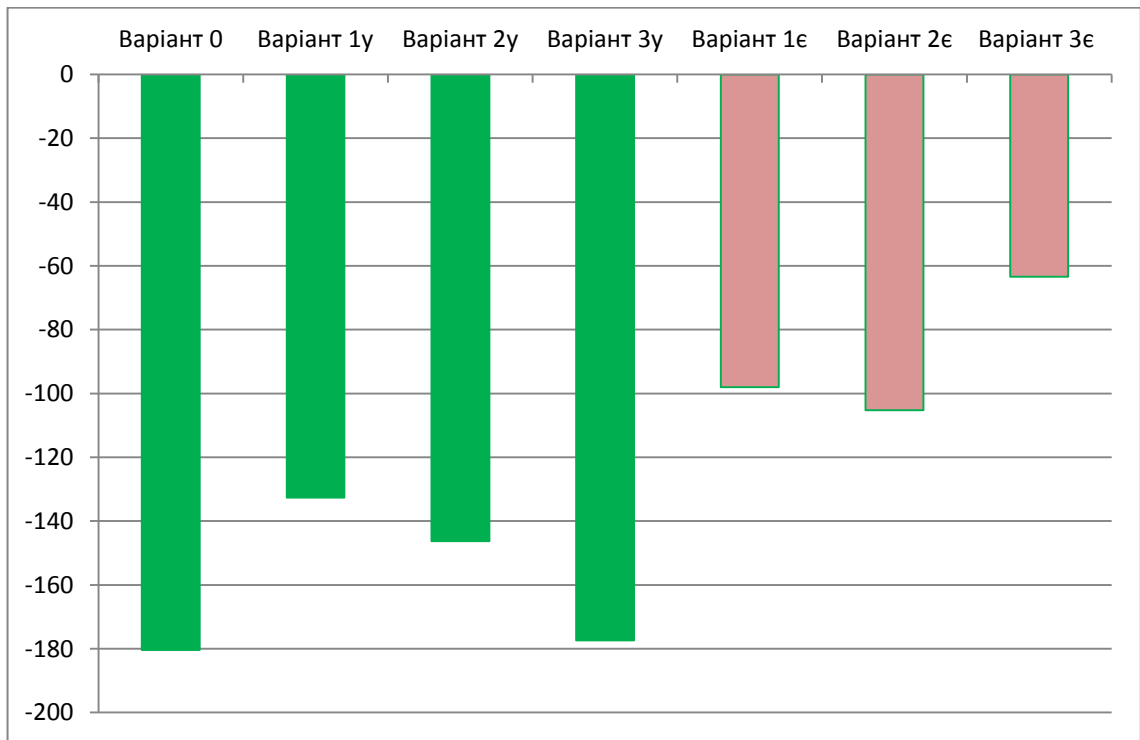


Рисунок 3.16 – Діаграма розподілу горизонтальних нормальних напружень (кПа) між варіантами підсилення

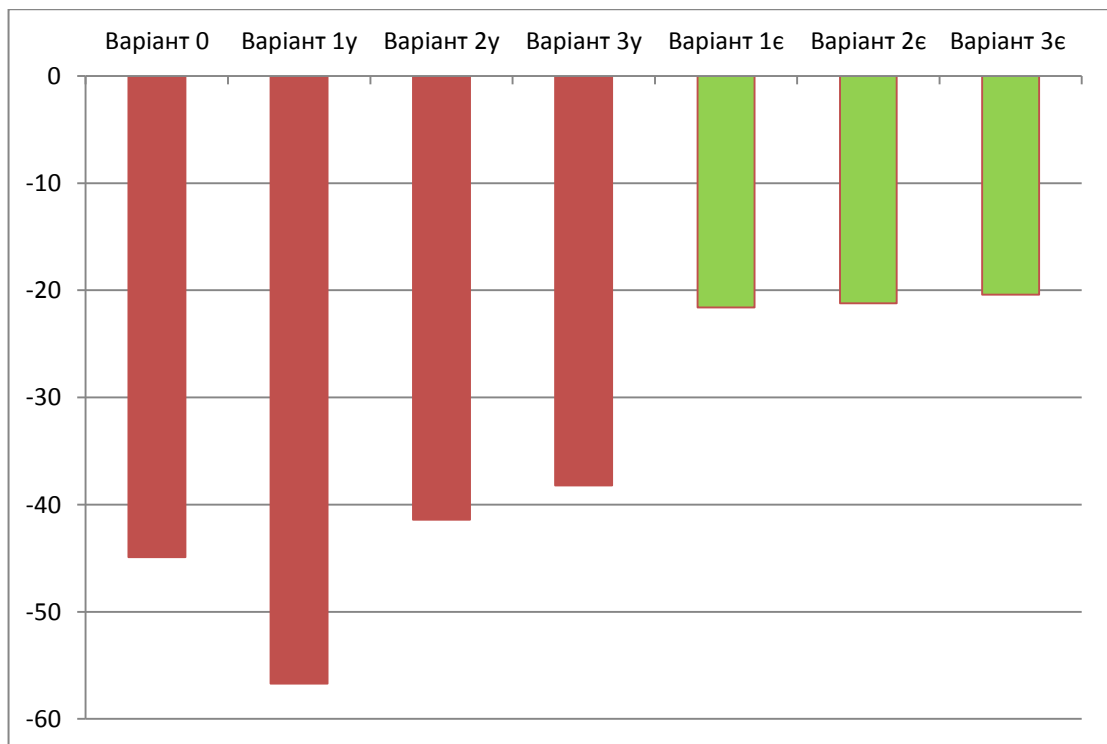


Рисунок 3.17 – Діаграма розподілу вертикальних нормальних напружень (кПа) між варіантами підсилення

На побудованих діаграмах (рис. 3.14-3.17) виділено варіанти, які максимально ефективно зменшують параметри напружено-деформованого стану:

- 1) горизонтальні переміщення в головці рейки – Варіант 2у, Варіант 1є, Варіант 2є;
- 2) вертикальні переміщення в головці рейки – Варіант 2є, Варіант 3є;
- 3) горизонтальні нормальні напруження на основній площадці – Варіант 1є, Варіант 2є, Варіант 3є;
- 4) вертикальні нормальні напруження на основній площадці – Варіант 1є, Варіант 2є, Варіант 3є.

Аналіз цих діаграм дає можливість зробити дуже простий висновок, а саме, що приведення європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць є плідним та ефективним. Це доводиться тим, що всі чотири компоненти напружено-деформованого стану зменшуються для непідсиленого земляного полотна під час застосування варіантів, що відносяться до європейських концепцій підсилення. Подальший розвиток досліджень в цій області може бути направлений на пошук оптимальних рішень підсилення та обґрунтування технології їх спорудження в умовах української залізниці, оскільки питання технологічності також внесе свої корективи в імплементацію європейських концепцій підсилення земляного полотна.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Оскільки метою магістерської роботи є приведення європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць, для її досягнення проаналізовано загальний стан земляного полотна на залізницях України, а також вимоги до проєктних рішень щодо усунення деформацій земляного полотна, які свідчать про необхідність та можливість впровадження нових конструкцій підсилення.

2. Для складання плану досліджень були розглянуті регламентовані «Правилами улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії» варіанти підсилення із застосуванням геосинтетичних матеріалів та захисних ґрунтових шарів, а також основні концепції підсилення земляного полотна в Європейському Союзі.

3. Розроблені скінченно-елементної моделі підсиленого земляного полотна, за допомогою яких досліджено напружено-деформований стан підсиленого згідно українських та європейських концепцій земляного полотна. Фактором ефективності варіантів підсилення визначено рівень напружено-деформованого стану, а саме його зменшення під час підсилення.

4. Після аналізу основних чотирьох компонент напружено-деформованого стану (горизонтальні переміщення в головці рейки; вертикальні переміщення в головці рейки; горизонтальні нормальні напруження на основній площадці; вертикальні нормальні напруження на основній площадці) можна свідчити, що приведення європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць є плідним та ефективним. Це доводиться тим, що всі вони значно зменшуються під час застосування варіантів, що відносяться до європейських концепцій підсилення.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Abusharar, S. A simplified method for analysis of a piled embankment reinforced with geosynthetics [Text] / S. Abusharar, J. Zheng, B. Chen, J. Yin // Geotextiles and Geomembranes, 2008. – Vol. 27. – No. 1. – pp. 39-52.
2. Alsirawan, R. Review of Geosynthetic-Reinforced Pile-Supported (GRPS) embankments – parametric study and design methods [Text] / R. Alsirawan // Acta Technica Jaurinensis, 2021. – Vol. 14(1). – pp. 36-59.
3. Andrieiev, V. Comparative Analysis of the Results of Calculating the Stability of a Reinforced Subgrade with Geosynthetic Materials [Text] / V. Andrieiev, O. Tiutkin, O. Hubar, R. Markul // TRANSPORT MEANS 2021. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 25th International Scientific Conference (October 06-08, 2021). – Part I. – pp. 531-535.
4. Briançon, L. Pile-supported embankment over soft soil for a high-speed line [Text] / L. Briançon, B. Simon // Geosynthetics International, 2017. – Vol. 24. – No. 3. – pp. 293-305.
5. BS8006, Code of Practice for Strengthened Reinforced Soils and Other Fills, London, UK, 2010.
6. Krysan, V. Improving the safety of railway subgrade when it is strengthened using soil-cement elements [Internet source] / Vit. Krysan, Vol. Krysan, V. Petrenko, O. Tiutkin, V. Andrieiev // MATEC Web of Conferences 294, 03006 (2019).
7. EBGeo, Recommendations for design and analysis of earth structures using Geosynthetic Reinforcements, German geotechnical society, 2011.
8. Fischer, S. Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast [Text] / S. Fischer // Acta Polytechnica Hungarica, 2022. – Vol. 19. – No. 3. – pp. 89-101.
9. Gailer, G. E. Geogrids working on the railroad [Text] / G. E. Gailer // Railway Track and Structures, 1987. – Vol. 3. – № 6. – pp. 32-34.
10. Hwang, T.-H. Effective installation of micropiles to enhance bearing capacity of micropiled raft [Text] / T.-H. Hwang, K.-H. Kim, J.-H. Shin // Soils and Foundations, 2017. – Vol. 57. – pp. 36-49.
11. Meena, N. K. Effects of soil arching on behavior of pile-supported railway

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

embankment: 2D FEM approach [Text] / N. K. Meena, S. Nimbalkar, B. Fatahi, G. Yang // Computers and Geotechnics, 2020. – Vol. 123. – pp. 66-78.

12. Pham, H. V. 3D modeling of geosynthetic-reinforced pile-supported embankment under cyclic loading [Text] / H. V. Pham, D. Dias, A. Dudchenko // Geosynthetics International, 2018. – Vol. 27. – No. 2. – pp. 8-21.

13. Pham, T. Analysis of geosynthetic-reinforced pile-supported embankment with soil-structure interaction models [Text] / T. Pham // Computers and Geotechnics, 2020. – Vol. 121. – pp. 1-17.

14. Pshinko, O. Comparative analysis of calculation results of supporting structure of soil-cement piles [Text] / O. Pshinko, V. Petrenko, A. Tiutkin, V. Andrieiev, A. Hubar, D. Ihnatenko, R. Markul // TRANSPORT MEANS 2019. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 23rd International Scientific Conference (2-4 October, 2019). – Part II. – pp. 820-828.

15. Šiukščius, A. Long term behaviour of an asphalt pavement structure constructed on a geogrid-reinforced subgrade over soft soils [Text] / A. Šiukščius, V. Vorobjovas, A. Vaitkus, Š. Mikaliūnas, A. Zarinš, // Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2019. – Vol. 14(3). – pp. 384-404.

16. Selig, E. T. Track geotechnology and substructure management [Text] / E. T. Selig, J. M. Waters. – Great Britain: Redwook Book, 1994. – 290 p.

17. Tiutkin, O. Research of the strained state in the «subgrade – base» system at the variation of deformation parameters [Text] / O. Tiutkin, R. Keršys, L. Neduzha // TRANSPORT MEANS 2020. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 24rd International Scientific Conference (September 30 – October 02, 2020). – Part I. – pp. 446-451.

18. Tiutkin, O. L. Finite-element Analysis of Strengthening the Subgrade on the Basis of Boring and Mixing Technology [Text] / O. L. Tiutkin, L. Neduzha, J. Kalivoda // Transport Problems, 2021. – 16(2). – pp. 1-10.

19. Xu, K. J. 3D elastic analysis of vertical piles subjected to passive loadings [Text] / K. J. Xu, H. G. Poulos // Computers and Geotechnics, 2001. – 28(5). – pp. 349-375.

20. Блажко, Л. С. Геоматериалы при высоких осевых нагрузках [Текст] / Л. С.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

Блажко // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – №10. – С. 36.

21. Петренко, В. Д. Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії (ЦЮ 25.12.2008 р., реєстраційний номер ЦП-0204) [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, В. П. Купрій, О. Л. Тютюкін. – Київ: Укрзалізниця. Головне управління колійного господарства, 2009. – 44 с.

22. Петренко, В. Д. Результати аналізу параметрів експериментальних досліджень армування геотекстилем земляного полотна [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тютюкін, А. М. М. Алхдур // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2010. – Вип. 34. – С. 131-135.

23. Петренко, В. Д. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований усиления земляного полотна малодеформируемым слоем [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тютюкин, А. М. М. Алхдур // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2011. – Вип. 35. – С. 139-144.

24. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз НДС земляного полотна при модернізації [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, А. М. М. Алхдур, В. В. Ковалевич // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 1. – С. 69-74.

25. Петренко, В. Д. Відновлення міцносних та деформативних характеристик земляного полотна та його основи армуванням ґрунтоцементними елементами [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, В. І. Крисан, В. В. Крисан // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2019. – № 16. – С. 65-74.

26. Петренко, В. Д. Математичне моделювання земляного полотна залізниць на основі методу скінченних елементів: навчальний посібник [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, Є. Ю. Кулаженко, О. М. Кулаженко; Дніпро: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2018. – 70 с.

27. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст]. ЦП/0138. – Київ: Транспорт, 2006. – 336 с.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

АННОТАЦІЯ

Метою магістерської роботи є приведення європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць. Для цього фактором ефективності варіантів підсилення визначено рівень напружено-деформованого стану.

Об'єктом дослідження є підсилене земляне полотно.

Для досягнення поставленої мети в роботі проаналізовано концепції підсилення земляного полотна в Україні та Європейському Союзі.

Обґрунтовано, що приведення європейських концепцій підсилення земляного полотна в умовах українських залізниць є плідним та ефективним. Це доведене тим, що всі чотири компоненти напружено-деформованого стану зменшуються під час застосування варіантів, що відносяться до європейських концепцій підсилення.

Ключові слова: приведення, земляне полотно, підсилення, напружено-деформований стан, порівняння варіантів.

ABSTRACT

The purpose of the master's work is implementation European concepts of embankment strengthening in the conditions of Ukrainian railways. For this, the level of the stress-strain state is determined as the factor of effectiveness of the strengthening options.

The object of the study is strengthening embankment.

In order to achieve the goal, the concept of embankment strengthening in Ukraine and the European Union was analyzed in the work.

It is substantiated that the introduction of European concepts of embankment strengthening in the conditions of Ukrainian railways is fruitful and effective. This is proven by the fact that all four components of the stress-strain state are reduced during the application of options related to the European concepts of strengthening.

Keywords: implementation, embankment, strengthening, stress-strain state, comparison of options.

					053.216518.ДП.2022.000	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		