

ЗАЯВА

Я, Зейничий Дмитро Віталійович
(ПІБ повністю)

Студенті групи КІ 2021
(шифр групи)

Спеціальності 273 Загальний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Загальні студії, кейс-методика
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки Магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:
Роль робітничих класів у збільшенні земельної площі при переході до соціалізму

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 ознайоmlена 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.

Дата 29.12.2021 Підпис Діт

Керівник Підпис _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра "Транспортна інфраструктура "

"ДО ЗАХИСТУ"

Завідувач кафедри

О.Л. Тютькін

2021 рр. "6" грудня

ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти "магістр "

Спеціальність 273 – «Залізничний транспорт»

Спеціалізація - «Залізничні споруди та колійне господарство»

Тема Розробка заходів збільшення жорсткості земляного полотна
при переході до мостів

Theme Development of measures to increase the rigidity of the ground
during the transition to bridges

Керівник дипломного проекту доцент

Андрєєв В.С.

Нормоконтроль

доцент
(посада)

Арбузов М.А.
(ПІБ)

Студент групи КГ2021

Student

(підпис)

Зелінський Д.В.
(ПІБ)

Zelinskyi Dmytro

(Family name)

Дніпро
2021

				0053.170291.ДР.2021.001	
Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра “Транспортна інфраструктура ”

“ДО ЗАХИСТУ”

Завідувач кафедри

_____ О.Л. Тютькін

2021 р. “__” грудня

ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти “магістр”

Спеціальність 273 – «Залізничний транспорт»

Спеціалізація - «Залізничні споруди та колійне господарство»

**Тема Розробка заходів збільшення жорсткості земляного полотна
при переході до мостів**

**Theme Development of measures to increase the rigidity of the ground
during the transition to bridges**

Керівник дипломного проекту доцент _____ Андрєєв В.С.

Нормоконтроль _____ доцент _____ Арбузов М.А.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студентка групи КГ2021 _____ Зелінський Д.В.
Student (підпис) (ПІБ)
Zelinskyi Dmytro
(Family name)

Дніпро
2021

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

стр

ВСТУП

1 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

1.1 ПЕРЕХІДНА ЖОРСТКІСТЬ У СВІТОВОМУ ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

1.2 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

1.3 ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕДМОСТОВИХ ЯМ НА ДІЛЯНКАХ З ПЕРЕХІДНИМ ПОКАЗНИКОМ ЖОРСТКОСТІ

1.4 ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЖОРСТКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1.5 РОЗРОБКА ПІДСИЛЕННЯ ДІЛЯНОК З ПЕРЕХІДНОЮ ЖОРСТКІСТЮ

2 ГАБІОННІ КОНСТРУКЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ. ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1 ЗАСТОСУВАННЯ ГАБІОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.2 ПЕРЕВАГИ ГАБІОНІВ

2.3 ВИДИ УКРІПЛЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.4 КЛАСИФІКАЦІЯ ГАБІОНІВ

3 ІН'ЄКТУВАННЯ У ТІЛО НАСИПУ ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ З ПЛАСТИФІЦІРУЮЧИМИ ДОДАННЯМИ

4 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДІЛЯНОК, ПОСИЛЕНИХ ГАБІОННИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

На залізницях України експлуатується 21 879 км земляного полотна, на якому знаходиться 19407 штучних споруд загальною довжиною понад 625 км. Досить велика група вчених у різний час займалася механікою горизонтальних переміщень і коливань колії на прогонових спорудах залізничних мостів. В першу чергу це професори, доктора технічних наук В.М. Авраменко, М.Ф. Веріго, А.Я. Коган; кандидат технічних наук Б.Ф. Афанасьєв[10]. В своїх працях вищезгадані вчені зазначили, що для більш достовірного розуміння механізму формування напружень у рейках, треба виконати дослідження зсуву точок підшви рейки щодо основи з урахуванням реальних умов їхньої взаємодії. Проведені розрахунки показали, що поздовжні сили виникають в тому випадку, коли в межах ділянки контакту рейки не мають проковзування по основі. У результаті теоретичних досліджень зроблено висновок, що зі зростанням швидкості і зменшенням прольоту мосту, відбувається збільшення горизонтальної сили впливу рухомого складу на прогоновій споруді, за винятком випадків резонансу, коли має місце деяке зростання амплітуд коливань і горизонтальних навантажень. Навантаження від подовжніх сил при проходженні по мосту рухомого складу прикладається безпосередньо до мостового полотна, що у залізничних мостів являє собою самостійну конструкцію. Зовнішнє поздовжнє навантаження викликається інерційними силами від ваги одиниць рухомого складу. Як розрахунковий модуль повздовжньої пружності колії на мосту, було запропоновано приймати модуль, що відповідає найбільшій величині вертикального погонного навантаження на колію. Отже, до середини 60-х років ХХ століття проблемою роботи колії перехідних ділянок на підходах до мостів та шляхопроводів, мало хто займався. Але, починаючи з середини 60-х років ХХ століття, в Європі починається масове будівництво швидкісних

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залізничних магістралей. В той же час виявились місця, які в подальшому стали називатися «бар'єрними», вони сприяли примусовому зменшенню швидкості руху поїзду. Бар'єрні місця надавали можливість для пропуску рухомого складу з дозволеними на перегонах швидкостями тільки після проведення ряду технічних заходів. Одним з таких «бар'єрних» місць є колія на підходах до мостів та тунелів. В зв'язку з різким підвищенням жорсткості колії при переході з конструкції колії на земляному полотні на безбаластне мостове полотно, в процесі експлуатації на поверхні рейки виникає геометрична нерівність типу просадки, яка в технічній літературі має назву – «передмостова яма». Як відомо, утримування залізничної колії на штучних спорудах і підходах до них, становить досить серйозну проблему. Значні розлади колії спостерігаються на ділянках колії перед штучними спорудами, зустрічаються випадки деформації безбаластної підрейкової основи на мостах, і навіть її руйнування. З практики експлуатації мостів відомо, що на рейковій колії перед стояном моста дуже часто можна спостерігати досить значну локальну нерівність, так звану «передмостову яму». Як показують дослідження, на підходах до мостів з рухом на баласті також досить часто мають місце специфічні нерівності в вертикальній площині, які мають значний вплив на роботу ходової частини рухомого складу. Так, при швидкості 115 км/год одразу після виходу з передмостової нерівності на сталезалізобетону прогонову споруду довжиною 33,6 м з рухом на баласті, вертикальні сили від обресореної частини на вісь збільшувались в 1,6 разів, деформації пружинних комплектів – в 3,6 разів за порівнянням з аналогічними величинами, зафіксованими при переміщенню вагону по ділянці без «ям». При тій самій швидкості руху по аналогічному мосту, який не мав передмостових нерівностей, перераховані вище величини складають відповідно менше в 1,3 і 2,8 разів. При цьому відзначається, що при швидкості вище 80 км/год, значення коефіцієнта стійкості проти накату

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

гребню колеса на рейку могли приймати небезпечні значення. Таким чином, навіть на підходах до малих мостів зберігається проблема стикування земляного полотна і штучної споруди. Проте, вона стає значно серйознішою в місцях примикання до невеликих мостів, де застосовано безбаластне мостове полотно. На сьогоднішній день ця конструкція має все більші масштаби уживаності на багатьох прогонових спорудах[10]. В даний час на підходах до мостів і тунелів, які мають безбаластну основу, типовою є звичайна конструкція верхньої будови колії. У цих зонах відбувається підвищене накопичення розладів геометрії колії, збільшення обсягу операцій по її поточному утриманню і зниження терміну служби елементів її верхньої будови. Це пов'язано з різкою зміною жорсткості колії при переході з підходів на штучну споруду і навпаки. Введення швидкісного і високошвидкісного руху на таких ділянках може викликати прискорення зношення ходової частини рухомого складу у вертикальній площині, що призводять до збільшення динамічного впливу на колію. При підході до штучних споруд через часті виправлення колії можливі обмеження швидкостей руху. На сьогоднішній день ділянки з перехідною жорсткістю на автодорогах, категорія котрих нижче 3-ї, майже не обладнуються. Як результат, з часом в даних зонах виникають суттєві місцеві деформації ґрунту насипу, що ускладнюють заїзд та з'їзд з мосту. Влаштування перехідних ділянок усунуло б цю проблему, проте їх облаштування на зазначених автошляхах, вважається недоцільним через значні трудовитрати. На тих автодорогах, де ділянки з перехідною жорсткістю все ж влаштовуються, застосовують 3 основних типи їх конструювання: перехідні плити, що вкладаються на щобеневу подушку: одним кінцем спираються на поглиблення в шкафній стінці стояна, іншими – на залізобетонний лежень;

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сильно ущільнений ґрунт в проміжок між стояном та відкосом насипу, на який вкладається залізобетонна плита (заглиблена чи поверхнева); укладання дерев'яного щита під кутом 4° , засипаного піском з подальшим улаштуванням проїжджої частини на нього. Ці інженерні рішення є найчастіше застосовуваними, але не найбільш ефективними. Більш прогресивним та дієвим є застосування набивних паль замість щебеневої подушки. Вони влаштовуються як вздовж мосту, поступово зменшуючись в довжину в напрямку від мостового переходу, так і впоперек, що дозволяє досягти плавний перехід від більшої до меншої жорсткості, тим самим зменшуючи або навіть цілком ліквідуючи проблему передмостової ями. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду свідчить, що використання спеціальних перехідних конструкцій колії на підходах до штучних споруд – мостів з безбаластним мостовим полотном (БМП) і тунелів, які мають плавну зміну жорсткості, – зменшує динамічні дії рухомого складу на колію, розлади елементів її верхньої будови і мостових або тунельних конструкцій, а також знижує витрати на утримання колії чи дорожнього полотна. Цілком зрозуміло, що насипи та опори мостів принципово різняться не лише матеріалом, з якого складаються, а ще й способом дії на їх основу. У той же час, тимчасові навантаження, що сприймаються ними, є однаковими, що призводить до суттєвої різниці у характері експлуатації насипів та мостів. При спорудженні мостів на залізницях та автодорогах сполучення моста з насипом зазвичай не влаштовується. Загальні просідання мостів, як правило, є набагато меншими за просідання насипів, що сполучуються з ним, і як результат, згодом в місці сполучення утворюється просадка насипу, що погіршує в'їзд і з'їзд з моста. Наслідком появи передмостових ям може бути поява так званих «висячих» шпал, під якими утворюються проміжки, що призводять до поштовхів при проході рухомого складу.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подібні явища є неприпустимими, особливо при улаштуванні ліній прискореного чи швидкісного руху.

1.1.ПЕРЕХІДНА ЖОРСТКІСТЬ У СВІТОВОМУ ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Головним наслідком проблем перехідної жорсткості є «передмостова яма» – явище, що класифікується як проблема деградації геометрії колії. Вона спостерігається в зоні переходу колії, розташованій на межі між насипом на під-ході та мостовою конструкцією. Термін «передмостова яма» може бути визначений як різниця просідань на межі мосту та насипу. У відповідності до вітчизняних чинних норм чіткого обмеження величини передмостової ями не наводиться. Це є недопустимим, оскільки їх наявність може викликати небезпеку аварійної ситуації та руйнування як насипу. Щодо насипів, ситуація принципово інша, їх осідання під тимчасовим навантаженням безумовно може бути в рази більше у порівнянні з мостами. Виходячи з результатів опитування, проблема передмостових ям стосується в середньому 51% залізничних мостів. Це вдвічі більше ніж кількість мостів на автомобільних дорогах, що мають аналогічні проблеми. Більшість респондентів не змогла відповісти, який тип ґрунту зазвичай використовується в якості ущільненого заповнювача або ґрунту основи. У залізничній галузі слід чітко визначити допустимий показник розмірів передмостових ям. Більшість компаній покладаються на візуальні огляди, а не на вимірювання, вирішуючи, коли виправити проблему. Визначення точного місця розташування та характеру ями вимагає огляду колії на мосту та біля нього. Існує багато сучасних методів виявлення, які використовуються для пошуку проблеми (табл. 1.1).

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпоширеніший - візуальний огляд. Однак багато ям досить неглибокі, тому візуально їх можна не помітити, поки проблема не стане більш серйозною. Вагон з системою оцінки геометрії колії – ще один широко використовуваний метод вимірювання та зображення профілю рейки. Оскільки вагон імітує навантаження фактичного вагона на колію, результати є більш точними. Скарги користувачів та суб'єктивні спостереження подібні до візуальних перевірок. Ці типи методів надають компаніям інформацію про те, що яма існує інформацію про те, наскільки серйозною є проблема. Однак розмір і ухил ями таким чином не визначається кількісно

Таблиця 1.1 - Сучасні методи виявлення передмостових ям

Рейтинг	Метод
1	Візуальний огляд
2	Вагон для вимірювання геометрії колії
3	Відгуки від користувачів
4	Задоволення поїздкою (суб'єктивне)
5	Задоволення поїздкою (загальне)
6	Акселерометри якості їзди
7	Неруйнівні методи контролю
Інший	Вимірювання жорсткості колії або опитування спеціалістів

Щоб допомогти кількісно оцінити наслідки ям, акселерометри якості їзди, як правило, розміщуються на локомотиві для вимірювання навантаження ва-гону на колію. Місця з деградацією колії у перехідних зонах можуть бути вияв-лені саме за допомогою цих інструментів. Для виявлення проблеми рідше застосовуються методи неруйнівного контролю.

1.2 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Як відомо, утримування залізничної колії на штучних спорудах і підходах до них, становить досить серйозну проблему. Значні розлади колії спостерігаються на ділянках колії перед штучними спорудами, зустрічаються випадки де-формації безбаластної підрейкової основи на мостах, навіть її руйнування.

З практики експлуатації мостів відомо, що на рейковій колії перед стояном моста дуже часто можна спостерігати досить значну локальну нерівність, так звану «передмостову яму». В результаті аналізу результатів обстежень 62 мостів, проведених в різний час лабораторією динаміки мостів ДНУЗТу, встановлена ймовірність появи „передмостової ями”, яка дорівнює 80% [10].

Як показують дослідження, проведені ДНУЗТу, на підходах до мостів з рухом на баласті також досить часто мають місце специфічні нерівності в верти-кальній площині, які мають значний вплив на роботу ходової частини рухомого складу. Так, при швидкості 115 км/год одразу після виходу з передмостової не-рівності на сталезалізобетону прогонову споруду довжиною 33,6 м з рухом на баласті, вертикальні сили від обресореної частини на вісь збільшувались в 1,6 разів, деформації пружинних комплектів – в 3,6 разів за порівнянням з аналогіч-ними величинами, зафіксованими при переміщенню вагону по ділянці без “ями”. При тій самій швидкості руху по аналогічному мосту, який не мав передмосто-вих нерівностей, перераховані вище величини складають відповідно менше в 1,3 та 2,8 разів. При цьому відзначається, що при швидкості вище 80 км/год, значення коефіцієнта стійкості проти накату гребню колеса на рейку могли приймати небезпечні значення.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, навіть на підходах до малих мостів зберігається проблема стикування земляного полотна і штучної споруди. Проте, вона стає значно серйозніша в місцях примикання до невеликих мостів, де застосовано безбаластне мостове полотно. На сьогоднішній день ця конструкція має все більші масштаби на багатьох прогонових спорудах.

В даний час на підходах до мостів і тунелів, які мають безбаластну основу, типовою є звичайна конструкція верхньої будови колії.

цях зонах відбувається підвищене накопичення розладів геометрії колії, збільшення обсягу операцій по її поточному утриманню і зниження терміну служби елементів її верхньої будови. Це пов'язано з різкою зміною жорсткості колії при переході з підходів на штучну споруду і навпаки. Введення швидкісного і високошвидкісного руху на таких ділянках може викликати прискорення зношення ходової частини рухомого складу у вертикальній площині, що призводять до збільшення динамічного впливу на колію. При підході до штучних споруд через часті виправлення колії можливі обмеження швидкостей руху [10].

На сьогоднішній день ділянки з перехідною жорсткістю на автодорогах, категорія котрих нижче 3-ї, майже не обладнуються. Як результат, з часом в даних зонах виникають суттєві місцеві деформації ґрунту насипу, що ускладнюють заїзд та з'їзд з мосту. Влаштування перехідних ділянок усунуло б цю проблему, проте їх облаштування на зазначених автошляхах, вважається недоцільним через значні трудовитрати.

На тих автодорогах, де ділянки з перехідною жорсткістю все ж влаштовуються, застосовують 3 основних типи їх конструювання:

перехідні плити, що вкладаються на щебеневу подушку: одним кінцем спираються на поглиблення в шкафній стінці стояна, іншими – на залізобетонний лежень;

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сильно ущільнений ґрунт в проміжок між стояном та відкосом насипу, на який вкладається залізобетонна плита (заглиблена чи поверхнева);

укладання дерев'яного щита під кутом 4° , який засипається піском та на нього вкладається проїзна частина.

Ці інженерні рішення є найчастіше застосовуваними, але не найбільш ефективними.

Більш прогресивним та дієвим є застосування набивних паль замість щебеневої подушки. Вони влаштовуються як вздовж мосту, поступово зменшуючись в довжину в напрямку від мостового переходу, так і впоперек, що дозволяє досягти плавний перехід від більшої до меншої жорсткості, тим самим зменшуючи або навіть цілком ліквідуючи проблему передмостової ями.

Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду свідчить, що використання спеціальних перехідних конструкцій колії на підходах до штучних споруд - мостів з безбаластним мостовим полотном (БМП) і тунелях, які мають плавну зміну жорсткості, - зменшує динамічні дії рухомого складу на колію, розлади елементів її верхньої будови і мостових або тунельних конструкцій, а також знижує ви-трати на утримання колії.

Цілком зрозуміло, що насипи та опори мостів принципово різняться не лише матеріалом, з якого складаються, а ще й способом дії на їх основу. У той же час, тимчасові навантаження, що сприймаються ними, є однаковими, що при-зводить до суттєвої різниці у характері експлуатації насипів та мостів.

При спорудженні мостів на залізницях та автодорогах сполучення моста з насипом зазвичай не влаштовується. Загальні просідання мостів, як правило, є набагато меншими за просідання насипів, що сполучуються з

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ним, і як результат, згодом в місці сполучення утворюється просадка насипу, що погіршує в'їзд і з'їзд з моста.

Наслідком появи передмостових ям може бути поява так званих «висячих» шпал, під якими утворюються проміжки, що призводять до поштовхів при проході рухомого складу. Подібні явища є неприпустимими, особливо при улаштуванні ліній прискореного чи швидкісного руху [11].

1.3 ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕДМОСТОВИХ ЯМ НА ДІЛЯНКАХ З ПЕРЕХІДНИМ ПОКАЗНИКОМ ЖОРСТКОСТІ

Осідання колії відбувається в основному з трьох різних причин:

Осідання насипів та підземних ґрунтів внаслідок процесу консолідації,

включаючи явища вторинного стиснення.

Осідання через транспортне навантаження.

Осідання внаслідок структурної взаємодії.

Загальні причини виникнення проблеми були оцінені та зведені в таблицю 1.2.

Виходячи з цих результатів, найпоширенішими факторами, що призводять до виникнення передмостових ям, є осідання ґрунту наповнення насипу, зміна модулю пружності колії, деградація покриття, неправильне трамбування та поганий рівень технічного обслуговування залізниці. Найменш поширеними проблемами були на-звані: бічний рух стояна, осідання природного ґрунту під стояном та погані будівельні умови.

Проблема перехідних ділянок найчастіше спостерігається на мостах з жорстким мостовим полотном типу плит БМП, залізобетонних мостах з залізо-бетонними стяжками, мостах, в яких використовуються залізобетонні стояни та мостах, що працюють в умовах підвищеної вологості.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

І навпаки, проблема зводиться до мінімуму на мостах з рухом по баласту, в яких ділянка міст/підхід підтримується в нормальних умовах і є хороший дренаж.

Осідання баластової подушки відбувається в основному у дві фази за Дальбергом:

За короткий термін після трамбування ґрунту його осідання, як правило, відбувається швидко, поки проміжки між баластними частинками не зменшаться і баласт не закріпиться.

У довгостроковій перспективі відбувається повільніша фаза з майже лінійною залежністю між осіданням і часом.

Ця фаза обумовлена декількома основними механізмами поведінки баласту та ґрунтової основи. Ці механізми можна розділити на дві основні групи, залежно від механічної поведінки шарів. Перший – через ущільнення баласту та підземного ґрунту, а другий через нееластичну поведінку двох згаданих шарів: баласту та підземного ґрунту.

Таблиця 1.2 - Причини виникнення передмостових ям

Осідання ґрунту наповнення насипу
Інше: зміна модулю пружності в перехідній ділянці, деградація
Погане виконання дренажу
Динамічне навантаження вагонів
Погане трамбування баласту
Різниця осідання мосту і насипу
Погане виконання перехідної ділянки
Тип мосту
Погано підібрані матеріали заповнення
Вимивання матеріалів наповнення за рахунок ерозії
Тип стояна
Осідання природніх ґрунтів під матеріалом заповнення насипу
Занадто висока жорсткість фундаменту мосту
Помилки при зведенні конструкції
Температурні цикли
Помилки при проектуванні

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз проведених спостережень на підходах до мостів дозволив дати певні оцінки роботі ділянок з перехідною жорсткістю з геосіток і бездонних залізобетонних коробів.

Поздовжній мікропрофіль шляху на ділянках характеризується значною нерівномірністю, сусідні елементи мікропрофілю мають великі різниці ухилів. Результати вимірювання вертикальних переміщень елементів верхньої будови колії показали, що пружні переміщення баласту (пружні осідання земля-ного полотна) лежать в межах 0,08-0,26 мм для ділянок з перехідною жорсткістю 0,07-0,53 мм - на підхідному насипу. Найбільші залишкові деформації розміром до 1,5 мм (по точковим вимірами) збігаються з місцями найбільших статичних ухилів мікропрофілю, що досягають 5,6 ‰ (крок 2,5 м), і місцями найбільших ухилів керівного профілю, що досягають 3,5 ‰ (крок 1,1 м).

Найважчі умови для баластного шару виникають на стоянах в зв'язку з різкою зміною жорсткості підбаластної основи. Керівні ухили досягають 5,6 ‰. Середнє значення керівного ухилу на ділянках перехідної жорсткості лежить в межах від 0,52 до 0,98 ‰.

Перехідні ділянки можна розглядати тільки у взаємодії з мостами та на-сипами, які створюють цілий комплекс впливів на ці елементи, що розглянуто на рис. 1.1.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

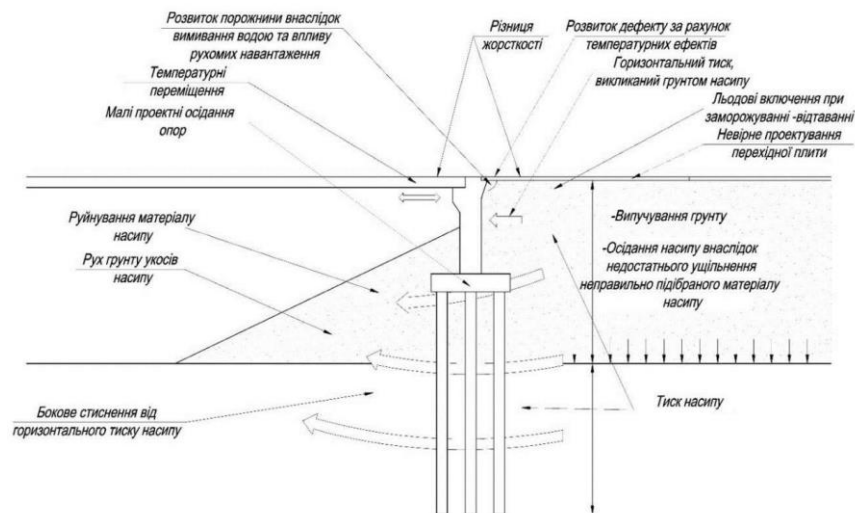


Рисунок 1.1 – Фактори, що впливають на насип в перехідній зоні

Різка зміна вертикальної жорсткості колії приводить до різкої зміни переміщення колеса на рухомому складі, що спричиняє нерівномірний прогин колії [8]. Як наслідок: поява вертикальних прискорень приєднаної маси рухомого складу. В подальшому це призводить, у свою чергу, до прикладення додаткової вертикальної сили. Цей механізм самовідтворюється як динамічне навантаження, що кожного разу збільшує величину прогину і, як наслідок, силу впливу на конструкцію.

Жорсткість колії – це основний параметр її конструкції, який впливає на несучу здатність, динамічну поведінку транспортних засобів, зокрема, на якість геометрії та термін служби компонентів колій. Взагалі, відносно висока жорсткість залізниці є вигідною, оскільки забезпечує достатню її стійкість до прикладених навантажень, і призводить до зниження прогину колії, що зменшує погіршення колії.

Однак дуже висока жорсткість колії призводить до збільшення динамічних навантажень в комбінації колесо-рейка, а також на шпалах і баласті. Це, в свою чергу, може спричинити ненормативне зношення та втому компонентів колії. Також, особливою проблемою є зміни жорсткості колії по довжині, що спричиняє зміни сил взаємодії

навантаження на колію і призводить до диференціального врегулювання, а отже, погіршення її геометрії та потенційних проблем з вібрацією.

Практика експлуатації земляного полотна на підходах до штучних споруд показує, що його деформації в міру наближення до стоянів збільшуються. Наростання деформацій багато в чому пов'язано з різким збільшенням жорсткості шляху при переході з насипу на безбаластне мостове полотно. Різкий стрибок у жорсткості має суттєвий вплив на збільшення коливань в баластному шарі і в ґрунтах земляного полотна. Підвищений рівень вібродинамічного впливу досить інтенсивно знижує міцності ґрунтів, що складають земляне полотно, що може стати причиною втрати їх несучої здатності.

Під час руху навантаження досягає показників з нижчої до вищої жорсткості колії, наприклад, потяг заїжджає на міст. Збільшення навантаження виникає на конструкції з високою жорсткістю, характерне короткою довжиною впливу, що може бути охарактеризоване, як ударне навантаження. У цьому випадку типовими дефектами є передчасне зношення рейки та загальне погіршення стану колії.

Оскільки проблема ділянок з перехідною жорсткістю є комплексною, то і розглядати її необхідно як сукупність всіх факторів, приведених у таблиці 1.2. Однак, для розуміння їх загального впливу необхідно проаналізувати вплив кожного з них:

Різниця модулів пружності колії

Модуль пружності колії визначається як опорна сила на одиницю довжини колії на одиницю осідання колії. Вперше в літературі він згадується як "модуль пружності опори рейки". Модуль пружності вважається показником якості та продуктивності колії. Він безпосередньо пов'язаний з прогином колії під рухомим вантажем вагона.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Різниця між модулем пружності та вертикальною жорсткістю в тому, що остання включає жорсткість поперечного перерізу колії на вигин EI, в той час як модуль пружності ϵ пов'язаний лише з верхньою будовою колії (наприклад, кріплення і шпали) та нижньою будовою колії (баласт, підбаласт та ґрунтова основа).

Найпоширеніша думка полягає в тому, що передмостова яма є результатом різкої зміни модуля пружності колії або жорсткості між підходом та мостом [10].

Зазвичай насип на під'їзді має нижчий модуль пружності колії у порівнянні з більш жорстким мостом. Типові значення модуля пружності колії на підходах можуть становити від 14 МПа до 41 МПа.

Сама по собі різниця жорсткості не сприяє значним динамічним ударним навантаженням [10]. Вона може сприяти виникненню дефектів поверхні колії, що врешті-решт призведе до збільшення різного осідання та нерівномірного зносу баласту, що ще більше посилить ударні навантаження в місці підходу до мосту. Динамічні навантаження, викликані цим, приблизно в 1,5-3 рази перевищують статичне навантаження. Щоб уникнути деградації колії, по можливості слід підтримувати рівномірну жорсткість по довжині колії. Найчастіше, це важко реалізувати, оскільки зміни в модулі пружності колій можуть бути наслідком різних умов обпирання конструкцій та нерівномірного зносу колії.

Якість матеріалів заповнення підходу

Якість матеріалу засипки та насипу значно впливає на деградацію геометрії підходу. Крім того, матеріал заповнення має найбільший вплив на модуль пружності колії. Матеріал низької якості може спричинити різні осідання та ерозію.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У деяких випадках природний ґрунт, знайдений на ділянці, використовується для заповнення підходу, однак частіше використовувати ґрунт із бажаними характеристиками більш вигідно.

Використання кам'яних матеріалів, гравію та піску зменшить довготривалі наслідки осідання, що спостерігаються на підході до мосту. Це відбувається тому, що ці щільні ґрунти зазвичай повністю стискаються відразу після прикладання навантаження. Високо стисливі глини або мули, органічні глини, які можуть загнивати та на поверхні яких може вирости надмірна рослинність, вважаються несприятливими для заповнення та матеріалу насипу. За можливості використання, глин слід уникати, тому що вони демонструють характеристики довготривалого осідання, повзучості та усадки. Однак, часто важко і фінансово невигідно замінити ґрунт на ділянці. Якщо потрібно використовувати глину, слід забезпечити належний дренаж.

Ударні навантаження

Ударні навантаження як сприяють, так і виникають внаслідок передмостової ями. Вони є наслідком дефектів коліс та/або колії. На ідеально рівній колії з хорошими, рівномірними баластними умовами вірогідність виникнення підвищених динамічних навантажень мінімальна. На жаль, такі умови майже не зустрічаються на залізницях. Наприклад, у місці передмостової ями ударні навантаження виникають в основному внаслідок зміни геометрії та жорсткості профілю колії. Зауважимо, що лише вертикальне навантаження є важливим в рамках цього дослідження. Колія піддається іншим формам навантаження, включаючи бічні та поздовжні, але вони не входять в план дослідження через мінімальний вплив на його об'єкт.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Баластний матеріал

Баласт діє як амортизатор для динамічного навантаження. Якість та глибина баластного матеріалу важливі для того, щоб адекватно поглинати навантаження та обмежувати осідання колії. Через низьку якість може виникнути ряд проблем, як пов'язаних, так і не пов'язаних із проблемою передмостових ям.

Якщо баласт поглинає занадто багато енергії, він має схильність до міг-рації. Якщо навантаження на баласт є значно високим, його пам'ять стає проблемою.

Це означає, що технічне обслуговування, таке як трамбування та вирівнювання, не усунуть проблему, оскільки баласт повернеться у своє зміщене місце. Баластна пам'ять викликає збільшені ударні навантаження і, таким чином, збільшує різницю осідання насипу і мосту. Саме це може спричинити утворення передмостової ями в перехідній зоні.

Дренаж

Дренаж – важливий компонент, який необхідно враховувати при проектуванні будь-якої споруди. Застосовувана система дренажу повинна виконувати декілька функцій, включаючи перехоплення/відведення ґрунтових та поверхневих вод з будови колії, відведення води з баластного матеріалу та утримання/перехоплення стоків [10].

Навіть найкращу конструкцію наповнення можна зіпсувати поганим дренажем. Для підходів мостів поганий дренаж може призвести до ерозії та нестабільності наповнення насипу. Як тільки вода потрапляє і накопичується в матеріалах підходів, відбувається вимивання та ерозія. Це впливає на міцність і консолідацію матеріалу заповнення, а також може збільшити проблеми утворення рослинності на поверхні насипу. Крім впливу на нижню будову колії, поганий дренаж може також відігравати роль у погіршенні баласту, підмороженні та ожеледі.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Слід створити належні конструкції, щоб забезпечити належний дренаж навколо колії.

Амортизація

На колійних переходах амортизація відрізняється між під'їзними та мостовими конструкціями. Це пов'язано з матеріалами, на які спирається колія. Підхід, заповнений ґрунтовим матеріалом, зменшує прискорення швидше, ніж конструкція моста, що, як правило, виготовлена з більш жорсткого матеріалу, такого як бетон чи метал. Амортизація колій також служить для розсіювання енергії від ударних навантажень на колію. Високочастотні навантаження, як правило, розсіюють енергію в конструкції колій сильніше за низькочастотні. Це означає, що погіршення баласту та ґрунтової основи частково пов'язане з низькочастотними навантаженнями, які менш розсіюються в структурі колій.

Контроль якості повинен бути наявним у будь-якому будівельному проекті. Низька кваліфікація будівельників може призвести до значних проблем, серед яких однією з найбільш вагомих є неправильне ущільнення заповнення. Саме воно може сприяти збільшенню осіданню матеріалу насипу відносно конструкції мосту. Слід уникати позапланових скорочень будівельних робіт, щоб забезпечити зведення нормального підходу до мосту.

Узагальнюючи наведені вище причини, дослідники схиляються до думки, що при розробці конструкцій ділянок перехідної жорсткості у них мають поступово змінюватись три параметри основи:

- осідання;
- жорсткість;
- демпфування.

При неврахуванні хоча б одного з вищенаведених факторів ефективність конструкції буде низькою.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЖОРСТКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Основний принцип влаштування перехідної ділянки зі змінною жорсткістю – поступове в напрямку від земляного полотна до штучної споруди збільшення жорсткості з ціллю зменшення інтенсивності накопичення залишкових деформацій.

Конструкція перехідної ділянки колії повинна забезпечувати плавне від-ведення пружних осідань колії під колесами і залишкових осідань, що виникають в процесі тривалої експлуатації, від значень закладених для мосту (з БМП або рухом на баласті), до звичайних для рейкошпальної решітки на баласті і насипу.

Зміна жорсткості колії на ділянці примикання насипу до мосту має здійснюватися за рахунок сумарної зміни жорсткості верхньої будови колії та ґрунтів насипу.

Найбільш раціональним у такому випадку є підсилення частини перехідної ділянки з меншою жорсткістю для зниження напружень та деформацій, що виникають в місці контакту стояну і насипу.

Основними трьома критеріями при виборі методу підсилення ділянок з перехідним показником жорсткості є:

Конструктивна ефективність;

Фінансова доцільність;

Складність влаштування.

Не зважаючи на те, що два останні пункти пов'язані та взаємозалежні, найчастіше при виборі методу підсилення ці два критерія розглядаються окремо.

Проектування ділянок змінної жорсткості зводиться до пошуків способів поступового збільшення жорсткості шляху при наближенні до штучної споруди.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує значна кількість унікальних рішень щодо проблемних ділянок з перехідним показником жорсткості. Всі відомі методи підсилення насипу в перехідних ділянках можна умовно розділити на три підгрупи:

Поверхнєве підсилення

Такий тип підсилень зазвичай передбачає розташування конструкцій підсилення у верхній частині насипу і дозволяє виконувати значно менший об'єм земляних робіт порівняно з іншими варіантами.

Одним з найбільш характерних типів підсилення при такому методі є заміщення верхнього шару ґрунту підхідного насипу пошарово армованим геосіткою щебенем. При цьому способом плавна зміна жорсткості досягається поступовим нарощуванням протягом 25 метрів перед мостом товщини щебеневої засипки від нуля до 1 метра і збільшенням фракції щебню. Між геосіткою укладаються шари щебню товщиною 20 см. Геосітки використовуються для створення мембрани між шарами щебню, що не дозволяє дрібним часткам проникати в шар з більш великими. Крім того, застосування геосинтетичних матеріалів знижує вібрацію колії. Геосітки виготовляють з хімічно стійкого поліпропілену, поліетилену або поліефіру, вони повинні не втрачати міцність під впливом прямих сонячних променів протягом місяця і в обох напрямках мати однакову міцність.

Для правильного вибору геосинтетичного матеріалу необхідно розуміти принцип його роботи в конструкції. Прийнято вважати, що важливим параметром, що визначає можливість застосування того чи іншого геоматеріала є його міцність, проте це не так.

Якщо взяти, наприклад, нетканий геотекстиль (типу Дорніт) з міцністю 20 кН/м і поліефірну геосітку з такою ж міцністю, то при розтягуванні цих двох матеріалів буде очевидно суттєва різниця в

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деформаціях: геотекстиль при 50% навантаженні може подовжитися на 50-60%, а геосітка – на 6-7%.

Для вибору геосинтетичного матеріалу необхідно мати дані про зусилля, що викликають 2%-у і 5%-у деформації, за якими можна визначити осьову жорсткість при відповідному подовженні.

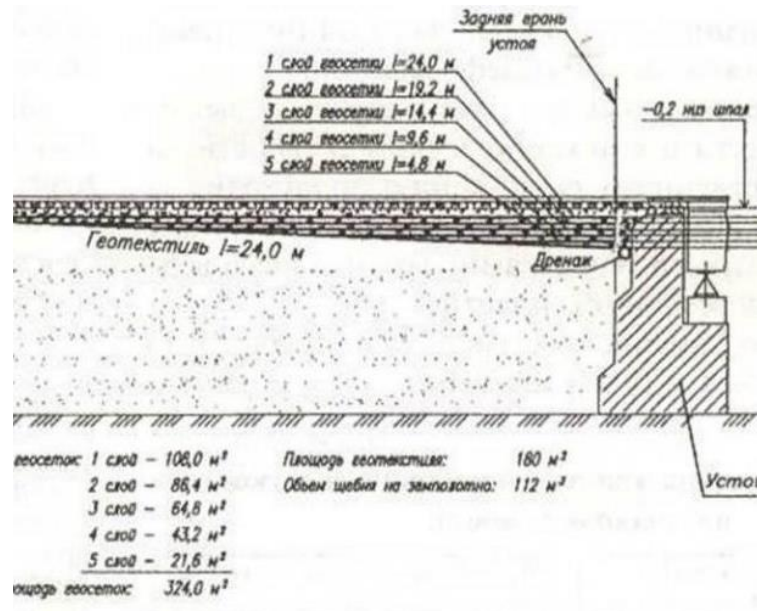


Рисунок 1.2 – Підсилення перехідної ділянки геосітками та щебенем

Для правильного вибору геосинтетичного матеріалу необхідно розуміти принцип його роботи в конструкції. Прийнято вважати, що важливим параметром, який визначає можливість застосування того чи іншого геоматеріала, є його міцність, проте це не так.

Критерієм забезпечення стійкості ґрунту насипу є можливість геосинтетичного матеріалу мінімально подовжуватися при дії розрахункового навантаження.

З огляду на те, що критерієм руйнування армованого укосу може бути три випадки: розрив геосітки, її висмикування при недостатній довжині і надто велике подовження, при розрахунку підсилення геосітками необхідно виконувати перевірку всіх трьох умов.

Іншим характерним поверхневим методом підсилення є заміщення верхньої частини ґрунту залізобетонними коробами без дна, заповненими щебенем.

В цьому випадку стінки коробів перешкоджають осіданню баласту, обмежуючи його зміщення в горизонтальній площині. За рахунок збільшення висоти коробів по мірі наближення до місця сполучення з мостом досягається плавна зміна жорсткості шляху і зменшення осідання баластного шару.

Відомо, що вертикальна жорсткість сипучого матеріалу різко підвищується, якщо його розмістити в жорсткій обоймі, яка не дозволяє матеріалу деформуватися в поперечному напрямку. У розглянутому прототипі в якості обойми використані залізобетонні бездонні ящики. Ця конструкція є кроком вперед у порівнянні з застосовуваними раніше конструкціями. Однак вона має деякі недоліки. По-перше, створюється деяка нерівномірність по вертикальній жорсткості в напрямку від стінок до середини ящика. Найбільша жорсткість має місце в місці розташування самих стінок, тому в поздовжньому напрямку (тобто по поздовжній осі моста) може утворитися «хвиля» або «гофр» в розподілі жорсткості. По-друге, є труднощі в формуванні плавності зміни вертикальної жорсткості від моста до насипу.

На перехідній ділянці під кожен шлях укладаються шість коробів трьох типів: КБ2-1,5/3,0 (1 шт.), КБ2-1,2/3,0 (2 шт.) і КБ2-1,0/3,0 (3 шт.). Типи коробів перераховані по мірі їх укладання, починаючи від задньої грані стояна. Таким чином, перехідна ділянка становитиме 18 м.

Для відведення води з встановлених коробів передбачено влаштування дренажу поперечним перерізом 20х20 см із щебеню.

Короби перевозяться на залізничному рухомому складі з навантаженням або розвантаженням кранами відповідної

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вантажопідйомності. Встановлення коробів в проектне положення може проводитися залізничним краном.

Котлован під короб розробляється механізовано, наприклад, екскаватором, з його ж допомогою виконують засипку короба щебенем і відсипання баластної призми. Крім того, можливе застосування для цих же цілей залізничного крана, обладнаного грейфером.

Весь комплекс перелічених робіт по встановленню коробів здійснюється при закритому перегоні в "вікно". При роботі кранів під час встановлення коробів на двоколіїній ділянці, рух по сусідній колії закривається.

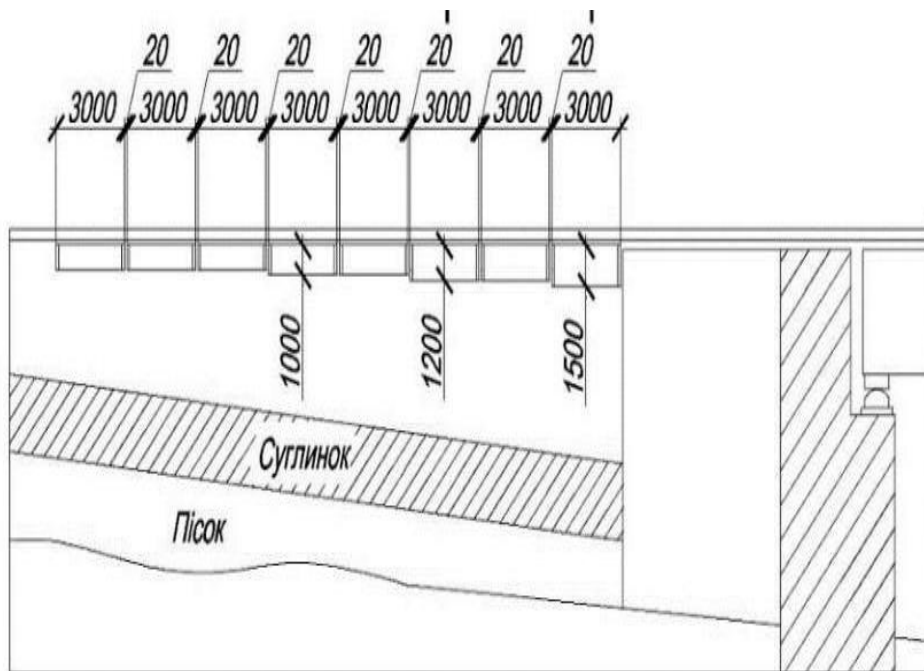


Рисунок 1.3 – Підсилення перехідної ділянки коробами з щебенем

Досвід спорудження та експлуатації подібних конструкцій показав, що улаштування перехідної ділянки за другим варіантом зажадало значних підготовчих операцій по влаштуванню майданчиків для складування коробів і спорудження під'їзних доріг для підходу техніки до місця робіт, що не завжди здійснимо.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Використання ж конструкцій з геосіткою має перевагу щодо технологічності процесу споруди, і ці конструкції економічніші. Спостереження в ході експлуатації також показали, що у варіанті з геосітками рейкова колія є більш стабільною.

Підсилення шляхом ін'єктування в'язучих матеріалів або впровадження твердих конструкцій в тіло насипу

Першим видом такого методу є омоноличування баластної призми на ділянці перед безбаластною колією в'язучими матеріалами (цементом або бітумом) і укладання всередині колії додаткових рейок. Завдяки склеюванню частинок і застосуванню контррейок верхня будова колії підсилюється. Глибина і площа просочення баластного матеріалу поступово зростає в міру наближення до безбаластної конструкції, модуль пружності і жорсткість верхньої будови колії збільшується (рисунок 1.4). Контррейки використовуються для зниження де-формації ділянки звичайної колії.

Застосовуючи це технічне рішення, слід враховувати, що виключається можливість подальших ремонтів колії, а при підбитті колії склеєний моноліт баласту руйнується.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

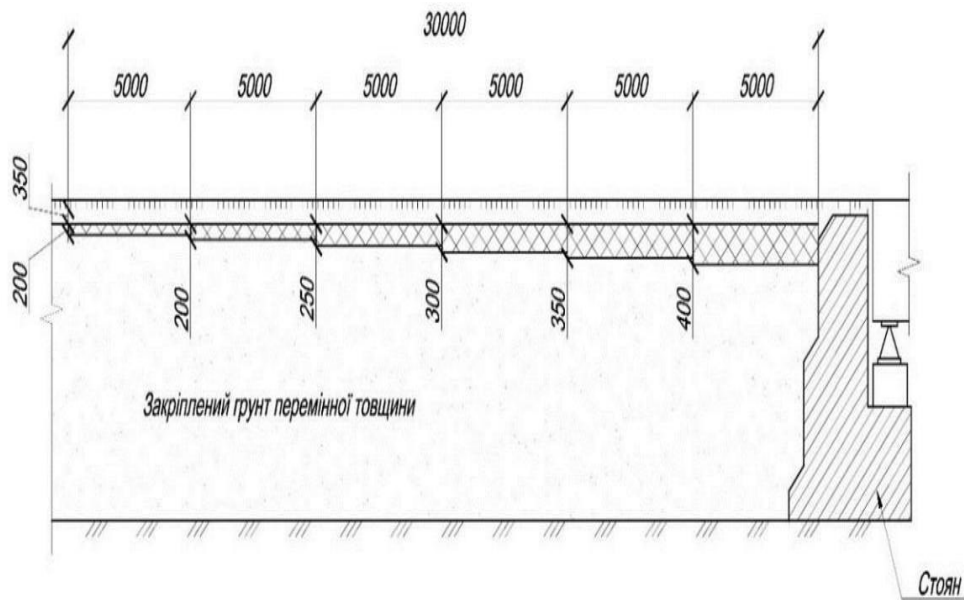


Рисунок 1.4 – Підсилення перехідної ділянки за рахунок омонолічування верхньої частини насипу

Другим характерним представником приведенного методу є улаштування плаваючої плити. Таким чином можна зменшити чи розподілити на більшу довжину осідання насипу перехідної ділянки (рисунок 1.5). Довжина плаваючої плити завжди визначається у залежності від висоти насипу.

При такому рішенні підняття колії, що виникає від прогину прогонової будови моста, зменшується за допомогою пружинних анкерних болтів, а прогин колії зменшується улаштуванням плаваючої плити з ребордами. Для створення оптимального модуля пружності колії під сталевими підкладками укладаються гумові прокладки з мінливою по довжині шляху товщиною.



Особливістю таких методів підсилення є повна заміна штучного заповнення насипу на сортовані матеріали, частково чи повністю оброблені цементом забезпеченням дренажних шарів як складових частин заповнення. Такі рішення забезпечують найбільш рівномірне розподілення навантаження та розсіювання зусиль в тілі конструкції.

Об'єднане співтовариство залізниць у своїх рекомендаціях щодо улаштування перехідних ділянок рекомендує використовувати декілька схожих за механізмом підсилень:

Використовуються великоуламкові ґрунти з групи А (кращі) і групи В (хороші) відсипаються за схемою показаної на Рисунку 1.6. Георешітки ($\geq 25 \text{ Кн/м}$) прокладаються пошарово через 0,3-0,5м, в місцях стикування з мостом повертається.

При відсіпанні дотримуються наступні нормативні значення: $K_{30} \geq 150 \text{ Па/м}$, пористості $n \leq 28\%$ (великоуламкові ґрунти), або $K_{30} \geq 110 \text{ Па/м}$, коефіцієнт ущільнення $K \geq 0,95$ (дрібні ґрунти).

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схожим на попереднє є улаштування насипу підходу з більшою жорсткістю. Підхідна ділянка насипу формується з піщано-гравійних сумішей з додаванням цементу. За цією ділянкою відсипається ділянка з ґрунту з відносною щільністю 95%, потім ділянка з відносною щільністю 90% для забезпечення поступової зміни щільності.

Відсипка з сортованого каменю.

Застосовуються добре відсортовані, досить жорсткі великоуламкові ка-мені, гравій або інші матеріали (цементостабілізовані або низькокласові бетони).

Відсипання проводиться так, як показано на рисунку 1.7. При відсипанні дотримуються наступні контрольовані значення: $K_{30} \geq 150 \text{ Па/м}$, пористості $n \leq 28\%$.

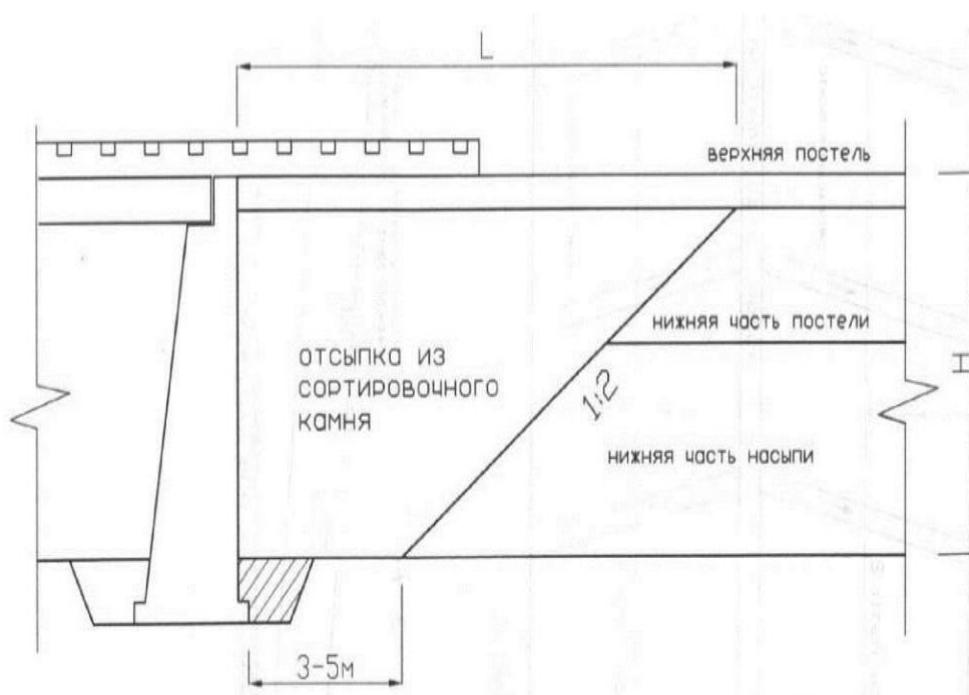


Рисунок 1.6 Армування насипу на перехідній ділянці

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

1.5 РОЗРОБКА ПІДСИЛЕННЯ ДІЛЯНОК З ПЕРЕХІДНОЮ ЖОРСТКІСТЮ

За основу була взята модель підсилення, в якій використовуються металеві короби, заповнені щебенем. Для зменшення маси і кошторисної вартості металеві короби були замінені габіонними сітками.

Габіони зарекомендували себе як універсальний матеріал, що використовується для берегоукріплювальних робіт та дозволяє збільшити жорсткість колії там, де це необхідно.

По-перше, дане рішення дозволяє зменшити кошторисну вартість підсилення. По-друге, габіони набагато простіше адаптувати у разі невідповідності чи зміні умов будівельного майданчику.

якості підсилення планується використання трьох типів габіонних коробів змінної висоти, що вкладаються чотирма рядами починаючи від найбільшої висоти біля мосту, і зменшуючи її віддаляючись від мосту.

Для підсилення використовуються габіони Г-1, Г-2 та Г-3 з відповідними характеристиками (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 - Характеристики габіонів підсилення

Найменування	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм
Г-1	3000	2500	1500
Г-2	3000	2500	1200
Г-3	3000	2500	900

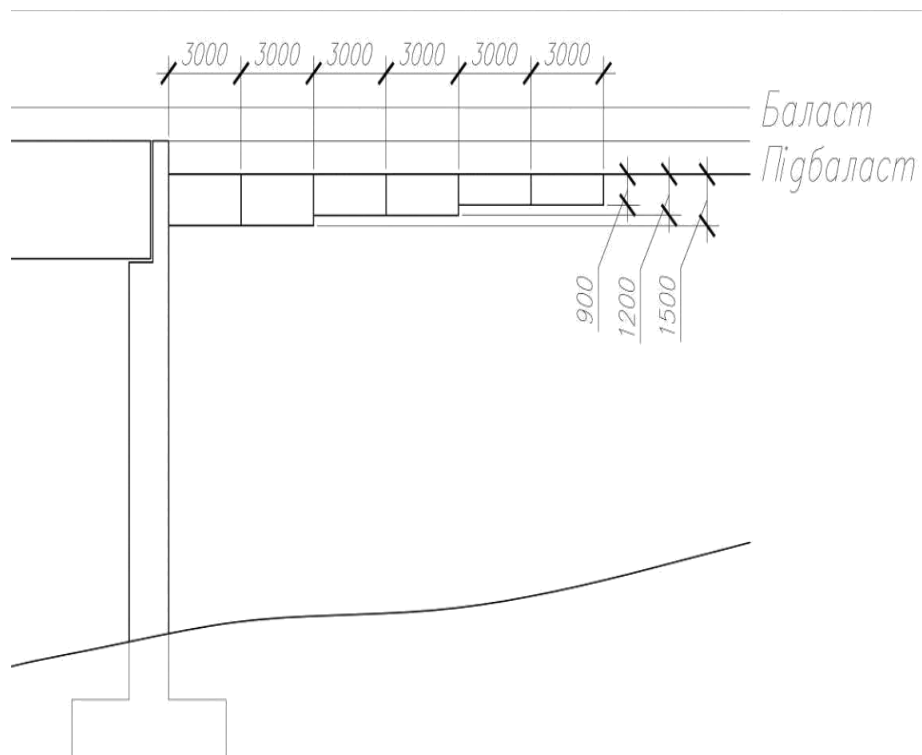


Рисунок 1.7 Схема підсилення перехідної ділянки габіонними коробами

Висновки за розділом 1:

Проблема перехідної жорсткості у залізничному транспортному будівництві не є новою, але є важливою і актуальною.

Найбільшою проблемою ділянок перехідної жорсткості є виникнення порушень геометрії колії на підходах до залізничних мостів, що називаються передмостовими ямами. Наслідком появи передмостових ям може бути поява так званих «висячих» шпал, а головною їх особливістю є самовідтворення – чим більшим є осідання колії, тим сильніше воно буде відбуватися під дією навантаження рухомого складу.

Проблема передмостової ями є комплексною і залежить від багатьох факторів, основними серед яких є жорсткість колії, різниця осідання конструкцій насипу.

Для вирішення проблеми жорсткості у перехідних ділянках існує низка рішень, що відрізняються за типом та складністю виконання.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Основними напрямками вирішення проблеми передмостових ям є поверхневе підсилення конструкції насипу, підсилення шляхом ін'єктування в'язучих матеріалів або впровадження твердих конструкцій в тіло насипу та підсилення шляхом використання сортованих та/чи зцементованих ґрунтів в якості основного матеріалу заповнення насипу.

На основі світових рішень, що приймаються для ліквідації та попередження виникнення передмостових ям в перехідних зонах необхідною є розробка та підтвердження моделей, які повинні задовольняти трьом основним критеріям: конструктивна ефективність, фінансова доцільність та складність влаштування.

В результаті аналізу причин виникнення передмостових ям та шляхів їх вирішення розроблено три типи підсилення, кожен з яких відрізняється за методом улаштування, кошторисною вартістю та середнім часом експлуатації.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ГАБІОННІ КОНСТРУКЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1 ЗАСТОСУВАННЯ ГАБІОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Габіони — це конструкції різної форми з металевої сітки, що заповнюються бутовим каменем. Заводи, що виготовляють, поставляють плоскі розгортки, які на місці збираються в об'ємну конструкцію — коробчаті або циліндрові габіони, матраци. По краях такі елементи посилюються дротом. Впровадження будівництва габіонів не є універсальним, але може бути використаний там, де це доцільно і економічно ефективно.

Габіонні споруди відповідають екологічним вимогам. Вони не заважають росту рослинності і з часом стають частиною природного ландшафту і набирають міцності

Потреба у вживанні технології конструкцій габіонів виникає постійно: багатьом дорогам вже 130–140 років, земляне полотно в роки їх будівництва було розраховано на інші навантаження. Якщо у той час вагони були двухвісними, то сьогодні — до восьми осей.

Сьогодні при зростанні навантаження на земляне полотно в багатьох місцях воно деформується («пливе»), виникають ті, що просіли, спливи високих насипів. Наслідок цього — обмеження швидкості руху на ділянках, що ускладнює експлуатаційну роботу залізничників, знижує пропускну спроможність.

Земполотно уміли лікувати і раніше, на кожній дорозі для цього є КМС із спеціалізованою технікою. Традиційний метод лікування полотна — відсипання контрабанкетів з дренажних ґрунтів під час так званих «вікон» (зупинок руху поїздів). Головний недолік такої технології полягає в тому, що для роботи потрібні перерви в русі. Перевага ж вживаного нами способу — виконання робіт по зміцненню земляного полотна за допомогою габіонів без припинення руху, якщо є можливість наблизитись до місця робіт.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Габіони заповнюються будь-яким природним кам'яним матеріалом. Це може бути булижник, галька, кар'єрний камінь. Камінь-заповнювач може бути окатаним (річковий камінь) або рваним (кар'єрний камінь або щебінь), розміром, декілька більшим, ніж розмір вічка сітки габіону.

Технологія будівництва габіонів дозволяє в середньому на 20% скоротити у витрати по зміцненню земполотна в порівнянні з традиційними методами. Але треба враховувати і той факт, що терміни проведення робіт при цьому скорочуються в 2–3 рази, оскільки рух по дорозі не уривається технологічними «вікнами». Навіть швидкість складу можуть не знижувати, що спрощує експлуатаційну і диспетчерську роботу. Крім того, інші способи зміцнення земполотна вимагають використання дорогої важкої техніки, а при спорудженні габіонів матеріали доставляються на об'єкти і укладаються за допомогою звичайної будівельної техніки

Габіонні конструкції (габіони) застосовують:

- при будівництві морських і річкових берегоукріплень;
- при будівництві інженерних споруд різного призначення;
- при будівництві каналів;
- при будівництві штучних споруд на дорогах;
- при роботах по ландшафтному дизайну;
- для армування нестійких масивів ґрунту;
- для зміцнення схилів і насипів виключаючи зведення гравітаційних стін;
- при ліквідації проривів берегоукріплень на річках у паводковий період (циліндричні габіони);
- при наявності високої хвильової і льодової навантаження для влаштування фундаменту дамб (циліндричні габіони).

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 ПЕРЕВАГИ ГАБІОНІВ

Ефективність габіонних конструкцій з віком не зменшується, а зростає. Тільки завдяки наноси ґрунту в порожноти габіонів та росту в них рослинності.

При виборі конструкції габіону слід виходити із щорічної ймовірності перевищення витрат, що встановлено в залежності від класу споруди.

Габіонні споруди слід застосовувати в комплексі з методами біоінженерного протиерозійного захисту земель. Допускається сполучувати габіонні споруди різного призначення.

Основними перевагами габіонних конструкцій є (властивості габіонів):

Гнучкість. Конструкції здатні протистояти зовнішнім навантаженням без розриву. Габіонні структури поглинають можливі осідання ґрунту без руйнування самої споруди. В умовах нестабільних ґрунтів, а також в зонах їх розмиву ця якість є особливо важливою.

Міцність. Сітка, з якої виготовлені конструкції, має змінну розривне навантаження від 3500 до 5000 кг на пог. метр. Завдяки цьому конструкції з габіонів можуть протистояти будь-якого типу навантажень.

Проникність. Висока проникність габіонних конструкцій виключає виникнення гідростатичних навантажень. Дренажної та стійкості роблять їх ідеальними для захисту схилів від ерозії.

Довговічність. Ефективність габіонних конструкцій не зменшується, а зростає з роками, оскільки з часом відбувається ущільнення наносів ґрунту в порожнинах габіонів і починається зростання рослинності на їх поверхні. Таким чином габіони перетворюються на дружні природі будівельні блоки.

Економічність. Габіонні конструкції є більш економічними, ніж жорсткі або напівтверді конструкції, так як мають наступні переваги: малі витрати на експлуатацію; мінімальні обсяги робіт з підготовки підстави

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споруди; простота конструкцій не вимагає кваліфікованої робочої сили при монтажі; не потрібні витрати на пристрій дренажних систем, так як габійні конструкції є проникними.

Екологічність. Завдяки тому, що габійні конструкції не перешкоджають зростанню рослинності і зливаються з навколишнім середовищем, вони є природними будівельні блоки для прикраси ландшафту.

2.3 ВИДИ УКРІПЛЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Габійні стіни

- а) гравітаційні;
- б) напівгравітаційні;
- в) ступенева;
- г) тонка стінка з анкеровкою.

Габійні стіни належать до затримувальних, підпірно-захисних і берегоукріплювальних гідротехнічних споруд, призначених для зміцнення укосів річок, водойм, природних схилів і укосів штучних насипів та інших ГТС.

До рекомендованих типів стін з коробчастих габійнів слід відносити:

- масивно-об'ємні (гравітаційні);
- стіни з армувальною панеллю.

Висота стін має забезпечувати стійкість верхньої частини укосу, який потрібно захистити. Ширина габійнів, з яких складаються стіни, і форма стін встановлюється з умов забезпечення зовнішньої і внутрішньої стійкості стін.

2.4 КЛАСИФІКАЦІЯ ГАБІОНІВ

Габіони - об'ємні сітчасті контейнери, наповнені камінням, зі щільних гірських порід.

За конструктивним виконанням, залежно від форми сітчастих контейнерів і одиничних будівельних блоків, які з них формують, габіони підрозділяють на:

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коробчасті

Габіони коробчасті (рис. 2.1) — об'ємні сітчасті конструкції, що виготовляються з оцинкованої металевої сітки подвійного кручення, заповнювані, в процесі виконання будівельних робіт, каменем. Мають шестигранні вічка з цинковим або гальфановим покриттям. У агресивних середовищах додатково використовується полімерне (ПВХ) або ПНД (поліетилен низького тиску) покриття. Виготовляються коробчасті габіони у формі паралелепіпеда або циліндра. Так само виробляються габіони коробчасті із зварної сітки.



Рисунок 2.1. Коробчасті габіони

-матрацні;

Матраци Рено (рис. 2.2) — плоскі сітчасті конструкції, що виготовляються з оцинкованої металевої сітки подвійного кручення, заповнювані, в процесі виконання будівельних робіт, каменем. Мають шестигранні вічка з цинковим або гальфановим покриттям. У агресивних середовищах додатково використовується полімерне (ПВХ) покриття. Виготовляються матраци Рено у формі паралелепіпеда невеликої висоти і з великою площею поверхні основи.



Рисунок 2.2 Укріплення ґрунту Матрацями Рено
-циліндричні

Циліндричні габіони (рис. 2.3) - це габіонні конструкції у вигляді циліндра. Вони виготовляються з сітки подвійного кручення і мають діаметр 0,65 або 0,95 метра і довжиною від 2 до 4 метрів по ГОСТ Р 52132-2003.

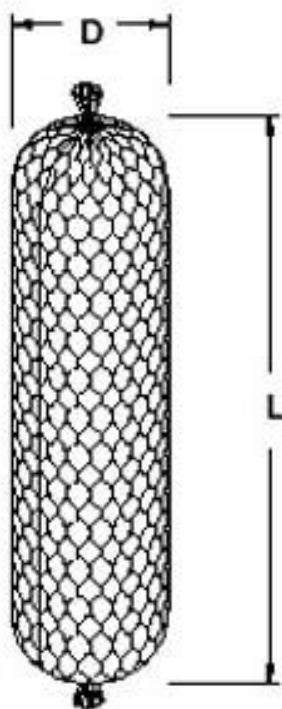


Рисунок 2.3 Циліндричні габіони
(L – довжина; D – діаметр)

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Циліндричні габіони заповнюються каменем і використовуються для термінових робіт при ліквідації аварій на річках, в основі берегоукріплень при наявності високої води або великої глибини необхідного зміцнення. Вони використовуються також для зведення фундаментів дамб, при наявності високої хвильової і льодової навантаження. Для посилення циліндричних габіонів, дріт кромek панелей має більший діаметр, чим основний дріт сітки.

Дротяна сітка, використовувана для габіонів, виготовляється із сталевого дроту щільного оцинкування або дроту з покриттям GALFANR по ГОСТ Р 51285-99. У тому випадку, коли циліндричні габіони застосовуються в агресивному середовищі, дріт для їх виготовлення проходить процес оцинкування (або покриття GALMACR), а потім додатково покривається оболонкою з ПВХ (полівінілхлорид). Покриття ПВХ захищає дріт і забезпечує велику стійкість до хімічних, механічних і корозійних пошкоджень.

Система Террамеш

Система Террамеш (рис. 2.4) - це габіонні конструкції, що складаються з лицьовій частині і армуючої панелі з сітки. Вони виготовляються з сітки подвійного кручення з шестикутними осередками. Лицьова грань ділиться на секції за допомогою діафрагм з кроком 1 м. Армуюча панель вкладається в тіло відсипається насипу.

Системи Террамеш використовують для армування та укріплення схилів. Під впливом навантаження велика частина ґрунтів піддається зміцнення і порушення внутрішньої структури, а застосування Террамеш дозволяє надійно армувати і зміцнити такі ґрунти, тим самим підвищуючи міцність і стійкість схилів і масивів. При формуванні конструкції модулі Системи Террамеш розташовуються шарами по горизонталі. Крок армування повинен відповідати проекту.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Системи Террамеш виключають потреба зведення гравітаційних стін, значно зменшують обсяг земляних робіт при зміцненні насипів і схилів.

Система Террамеш - це екологічна модульна система армування ґрунту, використовувана для кріплення нестійких масивів ґрунту замість гравітаційних стін, для кріплення схилів і укосів насипів. При формуванні конструкцій модулі Системи Террамеш розташовуються горизонтальними шарами. Крок армування визначається відповідно до проекту для забезпечення стійкості масиву ґрунту.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 - Приклад укріплення берегів системою Террамеш.

За функціональним призначенням габіони, залежно від їх розміщення і умов експлуатації в споруді, поділяються на:

- надводні;
- змінного рівня води;
- підводні.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типові розміри габіонів наведено в таблиці 2.1, характеристики комірки сітки, варіанти діаметра дроту і характеристики дроту - відповідно у таблицях 2.2, 2.3, 2.4

Таблиця 2.1 - Типові розміри габіонів

Довжина (м)	Ширина (м)	Висота (м)	Допуски
2	1	0,5; 1	довжина $\pm 5\%$ ширина $\pm 5\%$ висота $\pm 5\%$
3	1	0,5; 1	
4	1	0,5; 1	
1,5	1	1	

Таблиця 2.2 - Характеристики комірки сітки

Тип	В (мм)	Доп. відхилення	Діаметр дроту (мм)
8×10	80	+ 16% - 4%	2,70; 3,00 2,7/3,7 (ПВХ)

Таблиця 2.3 - Варіанти діаметра дроту

Діаметр дроту		
Сітка	2,70	3,00
Кромка	3,40	3,90
Зв'язка	2,20	2,40

Таблиця 2.4 - Характеристики дроту сітки

Діаметр дроту (мм)	2,20	2,40	2,70	3,00	3,40	3,90
Додаткові відхилення (\pm)(мм)	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Маса цинкового покриття (г/м ²)	230	230	245	255	265	275

Дротяна сітка, яка використовується для габіонів, виготовляється зі сталевого дроту щільного оцинковування. У тому випадку, коли циліндричні габіони застосовуються в агресивній середі, дріт для їх виготовлення проходить процес оцинковування, а потім додатково покривається оболонкою з ПВХ (полівінілхлорид).

Покриття ПВХ захищає дріт і забезпечує велику стійкість до хімічних, механічних і корозійних пошкоджень. Утримує ґрунт і забезпечує умови для швидкої появи рослинності.

Висновки по розділу

Впродовж багатьох років більшість країн із розвиненою транспортною системою займаються проблемами захисту інженерних споруд від руйнівної дії води, яка являється першопричиною деформацій земляного полотна. Для цього вдосконалюються дренажні системи, системи водовідводу і різноманітні захисні конструкції проти розмиву земляного полотна.

В даному розділі було проведено аналіз видів і типів габіонних конструкцій за технічними характеристиками. При виборі таких конструкцій також враховуються і економічні показники. В даному випадку економічні розрахунки габіонних конструкцій не враховуються.

До основних переваг використання габіонів можна віднести – екологічність, тривалий термін служби, міцність, корозійну стійкість. Але незважаючи на значну кількість переваг, у даних конструкцій також є суттєві недоліки – спорудження габіонів це дуже трудомістка робота, яка потребує великих витрат праці та часу. Через це вартість улаштування габіонних конструкцій виявляється достатньо дорогою.

Розглянувши доцільність спорудження конструкцій при підвищенні жорсткості земляного полотна, можна визначити найбільш оптимальні для кожного окремого випадку.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З ІН'ЄКТУВАННЯ У ТІЛО НАСИПУ ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ З ПЛАСТИФІЦІРУЮЧИМИ ДОДАННЯМИ

Ін'єктування. Загальні відомості

Земляне полотно є одним з основних елементів залізничної колії - його фундаментом, тому рішення поставлених до нього завдань багато в чому залежать від його експлуатаційного стану. Однієї з головних проблем, що викликають при експлуатації насипу, є необхідність посилення земляного полотна при рості інтенсивності впливу, оскільки присутня недостатність його несучої спроможності, що у першу чергу викликана дефектами й деформаціями основної площадки й стійкістю укісних частин насипу.

За даними статистики на основну площадку доводиться більше 40% всіх деформацій земляного полотна. Основними з них є баластові поглиблення, пов'язані з недостатньою міцністю ґрунтів верхньої частини земляного полотна, у якій відбувається найбільше сприйняття навантаження від рухомого состава. Крім того, наявність баластових поглиблень на високих насипах є частою причиною сповзання їхніх укосів.

Аналіз робіт показує, що гарантоване відновлення експлуатаційної надійності деформуємих насипів можливо шляхом заміни верхніх обводнених і розуцільнених шарів ґрунту, що реалізується при повному припиненні руху на тривалий період. Вихід з ситуації бачиться в активному впровадженні сучасних методів зміцнення й армування ґрунтів. Деякі із цих методів, зокрема пристрій буроін'єкційних паль, анкерних конструкцій, використання розрядно-імпульсної технології знайшли відбиття у вказівках МПС ще в 90-ті роки минулого століття.

У цей час для підвищення несучої спроможності й стійкості земляного полотна широко використовуються різні способи. Однак багато хто з них є дорогими й у силу різних причин з урахуванням місцевих умов об'єктів і, особливо, через технологічні складності не завжди застосовні,

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що стримує темпи посилення земляного полотна. Тому існує необхідність у розробці нових способів посилення земляного полотна, серед яких можуть знайти використання відомі й апробовані у фундаментобудуванні методи, що дозволяють ефективно укріпляти ґрунти. Дані методи укріплення ґрунтів повинні бути адаптовані до посилення експлуатованого земляного полотна з урахуванням його особливостей. Серед таких методів варто виділити спосіб ін'єктування в масив ґрунту під високим тиском в'язких розчинів спеціально підібраного состава (метод напірної ін'єкції).

Методи для посилення основної площадки земляного полотна вимагають високотехнологічного устаткування, ускладнюють, а в окремих випадках унеможливають проведення ремонтних робіт без надання технологічних вікон. Зазначених недоліків позбавлені ін'єкційні методи.

Використовувані в цивільному будівництві технології й устаткування, що дозволяють ін'єктувати розчини, що твердіють, з розривом структури ґрунту, через особливості ґрунтів і геометрії не завжди застосовні у випадку посилення земляного полотна залізниць. Для розробки способу посилення земляного полотна напірною ін'єкцією необхідне рішення наступних питань:

1. Обґрунтування технологічних параметрів (оптимальна схема розміщення ін'єкторів, тиску ін'єктування, конструкції ін'єкторів), що дозволяють контролювати поширення розчину.

2. Визначення обсягу ін'єктуємого розчину й тиску ін'єктування, перевищення яких може привести до виходу розчину із зони посилення.

3. Прогноз зміни властивостей ґрунтового масиву після посилення, залежно від обсягу й составу розчину з визначенням розрахункових параметрів зміцненого ґрунту.

4. Розробка методів діагностики й контролю якості посилення.

Склад досліджень необхідних для посилення земляного полотна представлений на рис. 3.1.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 Склад експериментальних досліджень

За допомогою практичних досліджень була вибрана оптимальна конструкція ін'єктора. Застосовувалися типові щелевидний ін'єктор і ін'єктор із втрачаємих наконечником. При використанні щелевидного ін'єктору був потрібен первісний тиск не менш 1,2-1,6 МПа, при використанні ін'єктора з втрачаємих наконечником, відповідно 0,4-0,5 МПа. Застосування щелевидних ін'єкторів для напірного ін'єктування не ефективно через складність застосування високих тисків, що перевищують граничне значення (0,5 МПа). У випадку використання ін'єкторів із втрачаємих наконечником була висока ймовірність неконтрольованого поширення, тому що необхідний тиск ін'єктування близький до граничного значення.

З урахуванням виявлених недоліків розроблений принцип ін'єктування, заснований на попередньому спрямованому руйнуванні структури ґрунту. Принцип реалізований при розробці конструкції ін'єкторів з різцями, призначеними для спрямованого ослаблення структури ґрунту. Середнє значення первісного тиску склало 0,1 МПа. Виявлено, що при дотриманні технологічних параметрів висока ймовірність утворення включень розчину заданої форми.

Для посилення земляного полотна при необхідності осушення баластових поглиблень запропонований наступний спосіб. Примусове видалення води з баластових поглиблень за межі земляного полотна здійснюється через дренажні шпари, розташовані в нижній частині поглиблення, шляхом спрямованого нагнітання ін'єкторами розчину, що твердіє. По мірі витиснення води з поглиблення її місце займає ін'єктуємий матеріал. При використанні розчинів, що твердіють, згодом відбувається їхнє схоплювання (затвердіння), при цьому одночасно відбувається зчеплення ін'єктуемого розчину з ґрунтом земляного полотна. На рис. 3.2 розглянутий варіант із використанням однієї дренажної шпари. Аналогічна схема розроблена при двосторонньому видаленні вологи. У випадку відсутності необхідності в осушенні ґрунтів земляного полотна нагнітання розчину здійснюється після розміщення ін'єкторів і всі роботи виконуються в послідовності відповідно до запропонованого алгоритму.

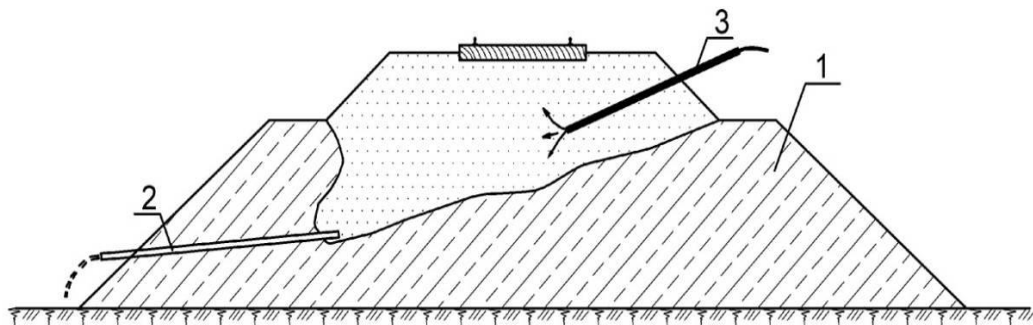


Рисунок 3.2 Спосіб посилення земляного полотна з використанням однієї дренажної шпари (1 – земляне полотно; 2 – дренажна шпара; 3 – ін'єктор).

Цементація

Уперше ін'єктування цементних розчинів у ґрунти земляного полотна було застосовано в США в 1938 р. Спроби використання цементації для посилення земляного полотна початі в Англії, Румунії, Чехословаччині, ФРН і інших країнах.

Дослідження з використання цементациї для посилення баластових поглиблень виконувалися під керівництвом Д.В. Волоцкого (КИСНИ, ВЗИИТ) і Л.А. Смоляницьким (ДИИТ). Відзначено, що цементация є одним із прогресивних методів посилення земляного полотна, а основне її достоїнство складається в можливості виконання робіт без закриття перегону й обмеження швидкості руху. Дотепер ін'єкція цементних розчинів на залізниці використовувалася тільки в режимі просочення, тобто строго обмежувалася дренавальними ґрунтами. Напірна ін'єкція припускає величину тиску вище величини розриву структури ґрунту, тому через можливе неконтрольоване поширення розчину й відсутності методів діагностики й контролю виконуваних робіт для зміцнення ґрунтів земляного полотна вона раніше не використовувалася.

Область використання цементациї визначається фільтраційною можливістю порід, але діаметр пор повинен бути у 6-8 разів більше найбільшого діаметру частинок цементу. При глибинній цементациї підвищуються міцність та водонепроникність породи внаслідок заповнення тріщин і порожнин та наступного твердіння розчину, який нагнітають через пробурені шпарини під тиском від 3 до 50 кгс/см². Вагові співвідношення цементного розчину залежать від поглинання ґрунту і коливаються від 8:1 (В:Ц). Використовують також цементні розчини з пластифікуючими добавками, які підвищують проникну можливість розчину, знижують витрати цементу та збільшують міцність розчину.

Цементация застосовується при закріпленні гірських порід, які мають високу проникливість, але можливо робити цементацию і глиняних ґрунтів.

Принцип цього заходу - це утворення бетонного моноліту, який виникає, коли ґрунт поглинає цементний розчин.

Проникаючи у шпарини цементний розчин утворює не тільки монолітний бетон, але і утворює протифільтраційну заслону, перешкоджаючи проникненню води в ґрунт.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей захід закріплення ґрунтів широко використовується при прохідках стовбурів шахт, а також у гідротехнічному будівництві. У результаті використання цього заходу був практично припинений приток води до стовбура шахти, а при будівництві греблі досягнута повна гідроізоляція.

Досвід застосування цього заходу показує не тільки на стабілізацію земляного полотна, але і повну його гідроізоляцію, а також широке його поширення за кордоном. Так само цей захід у більшості випадків вживається для оздоровлення земляного полотна, складеного з глинистих ґрунтів.

Надійність цього заходу можливо пояснити ще тим, що цементний розчин вступає в реакцію з глинистими частинками і тому створює цілковито новий за своєю якістю матеріал.

Міцність ґрунту, обробленого цементним розчином у середньому склала 4,8 МПа у віці 28 діб, що дає можливість говорити про достатність цього заходу для закріплення як укосів, так і насипу у цілому. У цьому випадку була досягнута повна стабілізація та гідроізоляція земляного полотна.

При укріпленні ґрунтів цементацією виділяють три схеми нагнітання: зажимну, циркуляційну і напівциркуляційну.

На практиці ін'єкційного упрочнення порід частіше застосовується найбільш проста - зажимна схема нагнітання.

При зажимній схемі розчин нагнітається у шпарину у кількості, відповідній продуктивності насоса. Розчин, який подається при постійному розході, рухається у шпарині від гирла до забою. При цьому тиск зростає по мірі заповнення тріщин цементуючим матеріалом. Ін'єкція ведеться до різного зросту тиску, тобто до відмови. При нагнітанні густого скріплюючого розчину можливе передчасне осідання твердих частинок та швидка закупорка шпарини. Якість ін'єкції у цьому випадку знижується, тому що відбувається заповнення тільки гирла шпарини. Для більш

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірного заповнення шпарини по всій її довжині при зажимній схемі нагнітання використовуються ін'єктори з перфорацією корпусу.

Найбільш універсальна схема нагнітання циркуляційна. При цій схемі розчин надається по нагнітальній трубі до забою шпарини при постійному тиску і витраті більш, ніж може поглинути масив. Надлишок розчину рухається уздовж стінок шпарини та повертається назад у ємкість.

Тому забезпечується постійна циркуляція розчину у шпарині та у всій нагнітальній системі. Рухомий у затрубному просторі шпарини та відведених трубопроводах розчин не дає осідати великим частинкам та підтримує їх у зваженому стані. Таке ущільнення розчину можливе лише при швидкості його руху - 0,5-0,7 м/с.

Перевагою циркуляційної схеми є те, що вона забезпечує високу якість ін'єкції тріщин і пустот при нагнітанні розчину різної концентрації. Ця схема найбільш добра для дрібнотріщинуватих порід, так як постійна циркуляція розчину виключає закупорку тонких тріщин.

При напівциркуляційній схемі нагнітання розчин у шпарині пересувається від гирла до забою, а циркуляція його відбувається поза шпариною, тобто між насосом та цементаційною головкою по трубопроводах. Ця схема відрізняється простотою обладнання шпарин. Висока якість ін'єкції порід досягається включенням у розчин добавок для зменшення осадження твердої фрази з розчину у шпарині та для підвищення його проникної здібності.

Для одержання щільного заповнення тріщин цементуючим матеріалом при циркуляційній та напівциркуляційній схемах нагнітання, ін'єктування проводиться при постійному тиску та змінному розході розчину, який доводиться до нуля в кінці нагнітання.

В даному випадку використовується зажимна схема нагнітання розчину, оскільки вона найбільш проста, а для покращення якості цементації - ін'єктори з перфорацією корпусу.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Буріння та цементация виконуються таким засобом цементации, при якому буріння здійснюється відразу на усю глибину шпарини, а цементация йде по зонам знизу уверх. При цьому засобі процеси буріння, промивання та цементации повністю поділяються у часі.

Межи ін'єкційних зон установлюють з урахуванням ступеня тріщинуватості залягаючих порід, міцності водоносних відкладень, горизонтів водоупорів і т.д. Практично висота зон установлюється в залежності від водопоглинання порід та призначається від 2-3 м до 10-12 м.

Цементацийні шпарини буряться діаметром від 42 до 91 мм та в окремих випадках, коли заповнюються великі порожнини з подачею в'язких розчинів, діаметр шпарини може бути збільшений до 110 мм. Це є одним з факторів, впливаючих на вибір бурового обладнання. Крім того, на вибір впливає можливість буріння похилих шпарин, міцність порід, які буряться, можливість швидкого монтажу та демонтажу при переходах для буріння наступних шпарин, можливість маневрувати у межах невеликої площадки, а також продуктивність бурової установки.

Дальність перекачки розчинів, виготовлених турбулентними змішувачами, по трубопроводам без додаткового змішування, доходить до 200 м. Підвищення стабільності розчину, зниження його розшарування і збільшення дальності транспортування суміші по трубах можливе при використанні спеціальних пластифікаторів.

Нормальне протікання процесу нагнітання суміші, а також ефективність робіт по зміцненню породного масиву залежать від якості приготування цементних розчинів.

Обладнання для приготування розчинів при цементации гірських порід може бути як стаціонарним, так і пересувним.

Для приготування якісних розчинів застосовують високооборотні малогабаритні лопасні і турбулентні змішувачі. Лопасні розчинозмішувачі мають вертикальний чи горизонтальний вал, який при обертанні пересікає

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увесь об'єм завантажених у місткість матеріалів і змішує. У турбулентних розчинозмішувачах перемішування виконується ротором. Частота обертання ротору у 10-15 разів вище ніж у лопасного валу звичайних змішувачів. Утворені ротором інтенсивні відцентрові потоки приводять у рух увесь об'єм змішувальної маси, у результаті чого досягається швидке приготування високорухомих сумішей. Для інтенсифікації процесу приготування розчину турбулентним змішувачем можливе постадійне змішування.

Найбільш широке поширення одержали лопасні розчинозмішувачі СО-46А і турбулентні СБ-43.

Турбулентний змішувач значно перевершує лопасний по якості змішування розчину. Поряд з великим зкороченням часу приготування розчину досягається активізація цементу, яка приводить до істотного збільшення міцності цементного каменю. Розчини, оброблені у високошвидкісному змішувачі, відрізняються підвищеною дисперсністю, високою пластичністю та стабільністю, кращою проникною здібністю. При підвищеній частоті обертання істотно покращуються фізико-механічні властивості розчинів навіть при тривалості змішування 15-30 с. При цьому підвищується однорідність структури розчину і отриманого цементного каменю.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДІЛЯНОК, ПОСИЛЕНИХ ГАБІОННИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

Розрахунок напружено-деформованого стану (НДС) насипу проводиться із застосуванням методу скінченних елементів за допомогою розрахункового комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R.3 (SCAD).

Модель для розрахунку прийнята просторовою на основі об'ємних скінченних елементів (СЕ) для більшого врахування реальних характеристик об'єкту, що досліджується. Всі геометричні та деформаційні характеристики земляного полотна узяті із нормативної документації. Таким чином, розроблена просторова модель базується на реальних характеристиках земляного полотна двоколійної ділянки, які отримані при спорудженні існуючого насипу. Була розроблена розрахункова модель та карта жорсткості

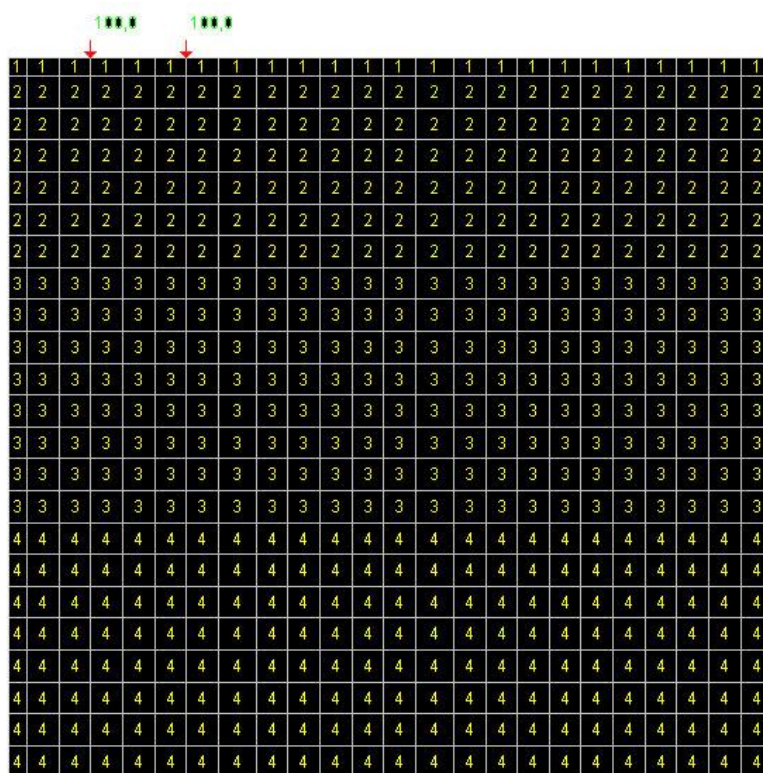


Рисунок 4.1 - Карта жорсткості моделі

Загальна кількість вузлів схеми – 23 928 шт. (біля 70 тисяч ступенів волі), кількість скінченних елементів – 20 867 шт. СЕ у схемі прийняті сумісними, тобто всі вузли сусідніх елементів співпадають, що позитивно впливає на точність рішення. Розміри моделі: довжина (основа) – 55,7 м, ширина – 5,5 м, висота – 12,0 м.

Розміри СЕ коливаються у межах $0,30 \times 0,5 \times 0,5$, $0,35 \times 0,5 \times 0,5$ до $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ м, тобто СЕ-сітка адекватна розмірам представленої моделі, так як вважається, що основний розмір СЕ не повинен перевищувати $1/20$ від характерного розміру моделі. У схемі застосовані як призматичні СЕ із трикутною основою (у моделюванні відкосу), так і паралелепіпеди (у моделюванні земполотна та основи). Призматичні СЕ із трикутною основою перевірені на умови вироджених та «голчастих» елементів, кути трикутника не менше 60° .

На схему накладені граничні умови: понизу моделі заборона переміщення по всіх трьох осях X, Y та Z, по боках основи – заборона по осях X та Y, по поперечних сторонах моделі – заборона по осі Y (умови пласкої деформації). Верх та відкоси моделі від граничних умов вільні.

На рис.4.2. показана карта деформаційних характеристик, які надані СЕ-моделі.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

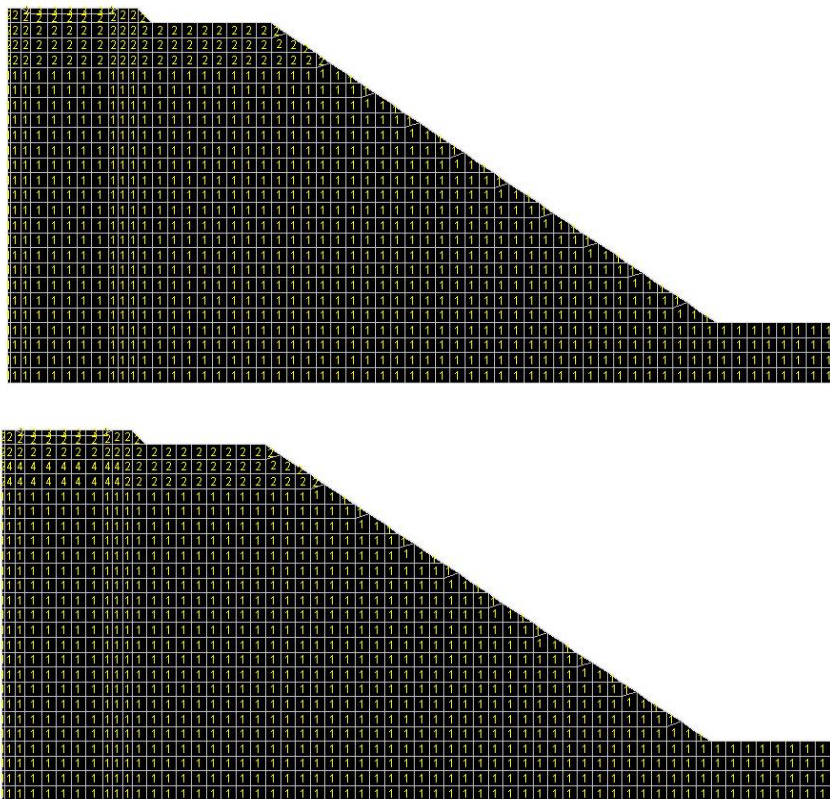


Рисунок 4.2 - Карта розподілення деформаційних характеристик в SE-моделі:

- а) однорідний матеріал земляного полотна;
- б) випадок з наявністю габіонних конструкцій

Деформаційні характеристики обрані із таблиць у відповідності із дослідженими ґрунтами земляного полотна:

Шар 1 – сланець, питома вага $\gamma=24,0 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності $E=100 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,25$;

Шар 2 – щебінь, питома вага $\gamma=23,0 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності $E=140 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$;

Шар 3 – габіони, питома вага $\gamma=23,0 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності $E=140 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$;

Шар 4 – габіони (щебінь), питома вага $\gamma=23,0 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності $E=140 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$.

Представлений шаруватий масив повторює з незначними відхиленнями реальне земляне полотно, але товщина шарів прийнята постійною, хоча в дійсності вона незначно змінюється.

У ролі навантаження моделі було прийнято локомотив (перша пара), розподілення ваги та відстань між осями якого надані на рис 4.3.

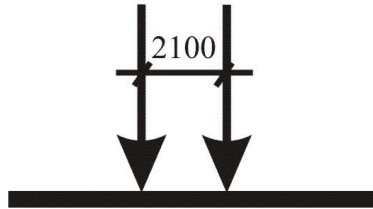


Рисунок 4.3 - Схема поїзного навантаження

Тиск на вісь прийнято рівним нормативному тиску від локомотиву ($P=25$ т) із урахуванням коефіцієнту динамічності $\mu=1,25$. Було прийнято три схеми завантаження СЕ-моделі:

1 схема – локомотив знаходиться на одній колії з додатком власної ваги земляного полотна;

2 схема – локомотив знаходиться на двох коліях з додатком власної ваги земляного полотна;

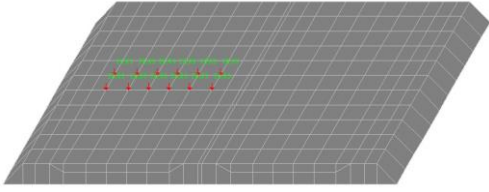
3 схема – навантаження схеми лише власною вагою.

4-та схема навантаження надається для контролю переміщень та напружень в моделі, які викликані власною вагою земполотна, та тих же факторів від поїздного навантаження.

На рис. 4.4. показано розташування навантажень 1-ї та 2-ї схем на основній площадці насипу. Навантаження на ось вагону розподілене по ширині шпали, на яку воно приходить, причому воно розподілене по 12-ти вузлах СЕ, які входять до геометричного місця розміщення шпали і складає 20,83 кН.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а)



б)

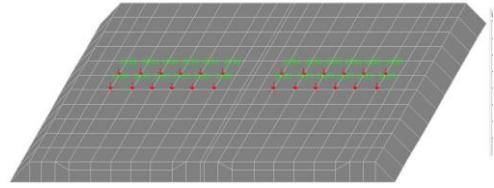


Рисунок 4.4 - Розташування навантажень на верхню будову колії (ВБК):

а) у випадку 1-ї схеми навантаження; б) у випадку 2-ї схеми навантаження

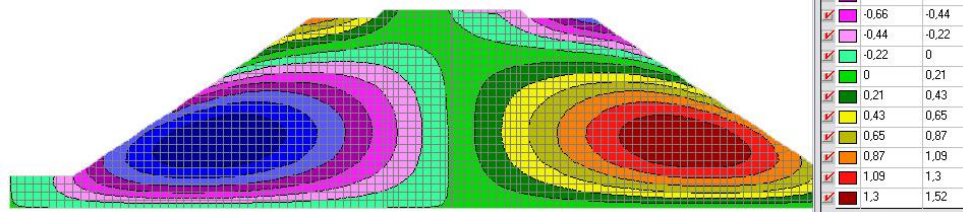
Усі геометричні розміри та загальні навантаження на модель зберігаються та контролюються у ході виконання розрахунку, що можливе у застосованому розрахунковому комплексі.

При розрахунку МСЕ 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.

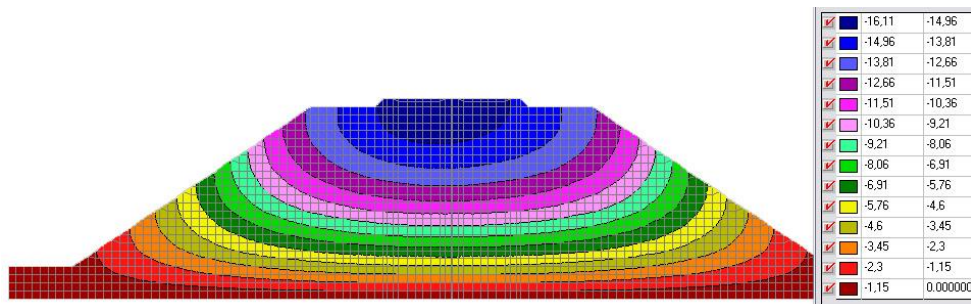
На рис. 4.5.- 4.12. наведені результати розрахунку МСЕ земляному полотна із поїзним навантаженням.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

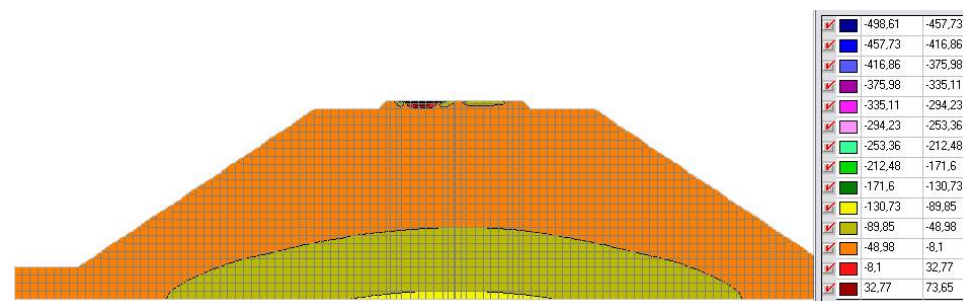
а)



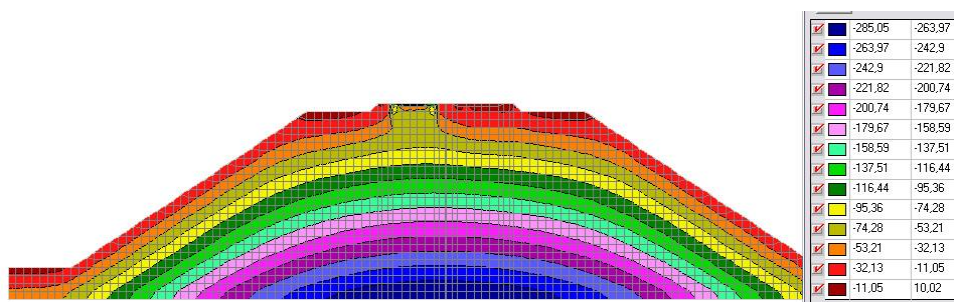
б)



в)



г)



д)

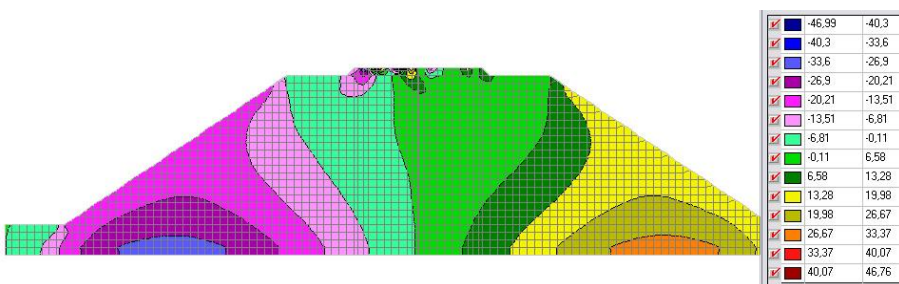
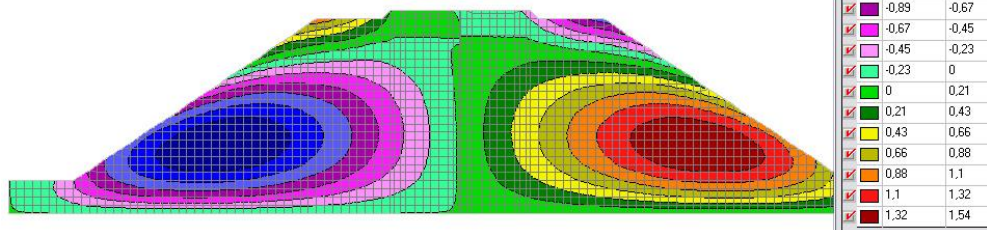
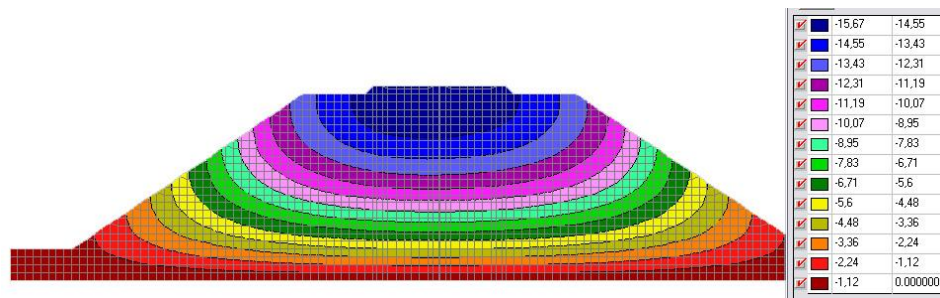


Рисунок 4.5 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у випадку насипу з однорідного матеріалу, 1-а схема завантаження: а) переміщення по осі X (горизонтальна); б) переміщення по осі Z (вертикальна); в) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); г) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); д) дотичні напруження в площині XZ

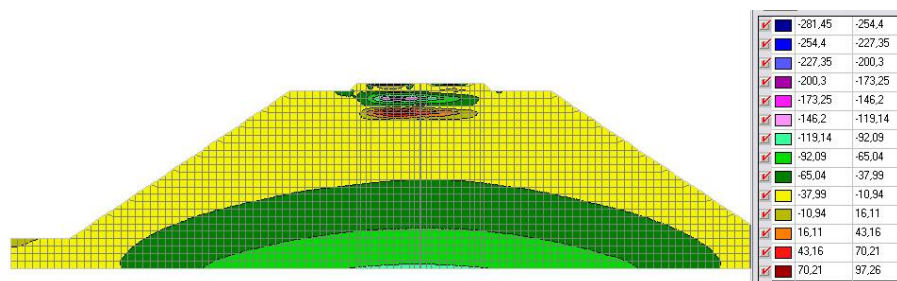
а)



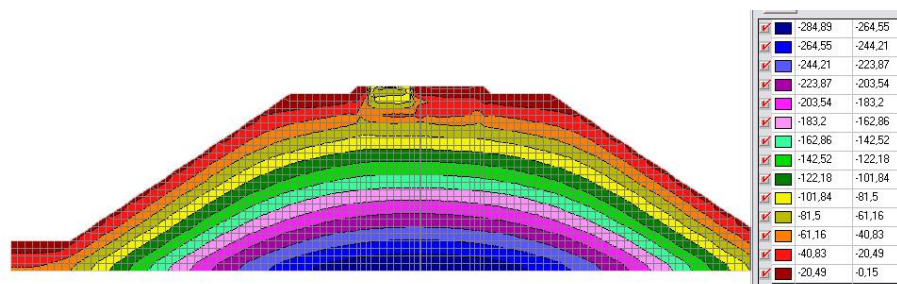
б)



в)



г)



д)

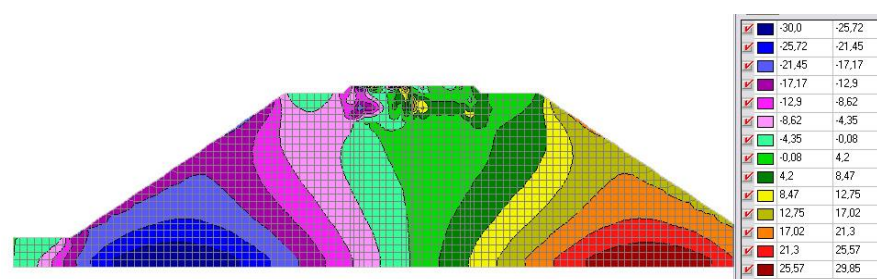
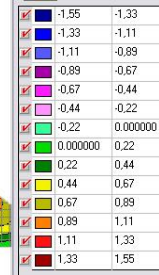
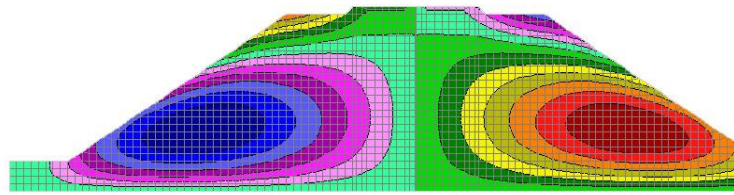
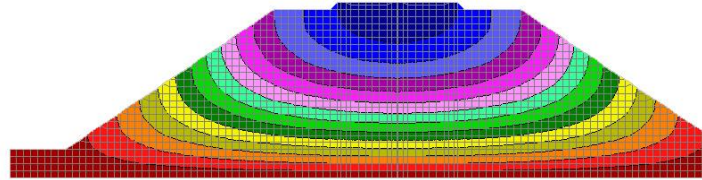


Рисунок 4.6 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у випадку насипу з габіонами (щебінь), 1-а схема завантаження: а) переміщення по осі X (горизонтальна); б) переміщення по осі Z (вертикальна); в) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); г) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); д) дотичні напруження в площині XZ

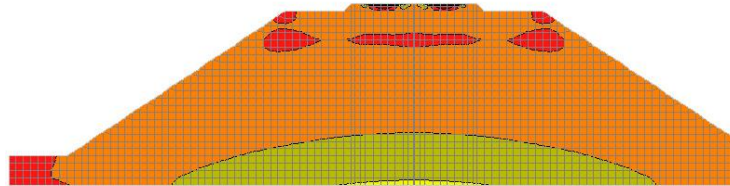
а)



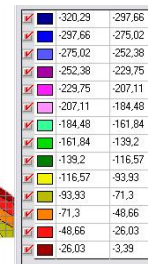
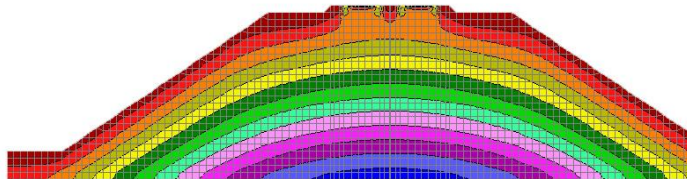
б)



в)



г)



д)

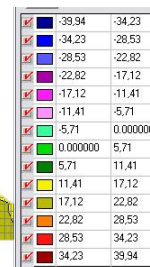
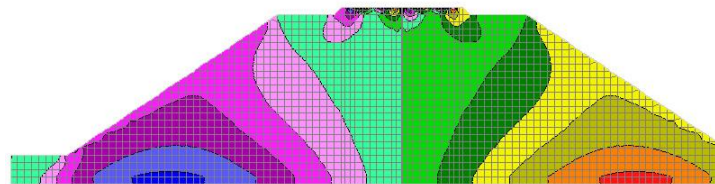
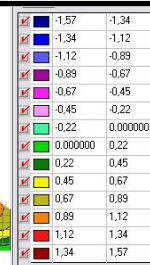
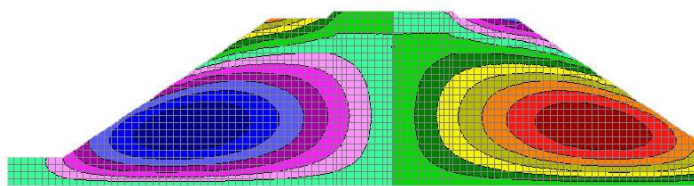
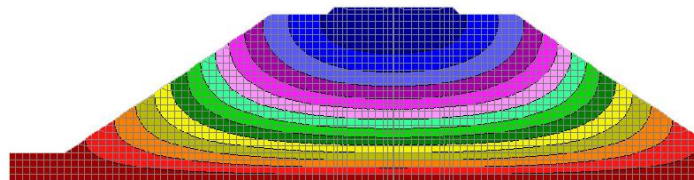


Рисунок 4.7 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у випадку насипу з однорідного матеріалу, 2-а схема завантаження: а) переміщення по осі X (горизонтальна); б) переміщення по осі Z (вертикальна); в) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); г) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); д) дотичні напруження в площині XZ

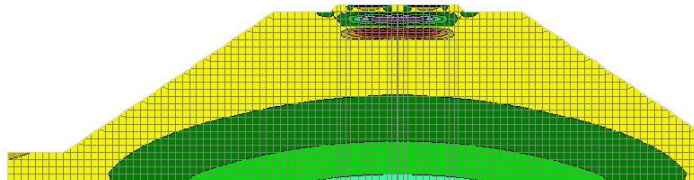
а)



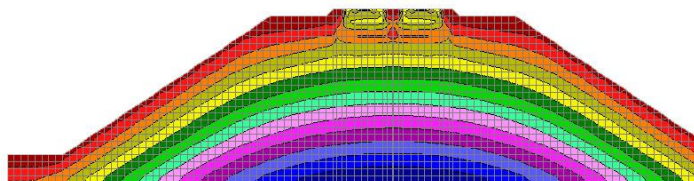
б)



в)



г)



д)

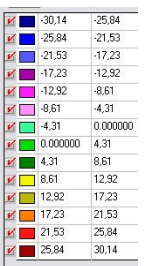
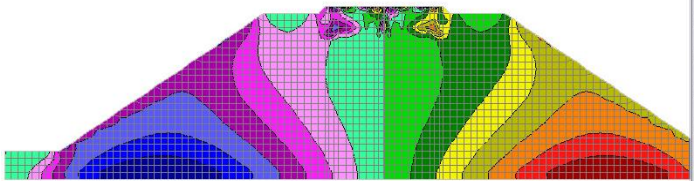
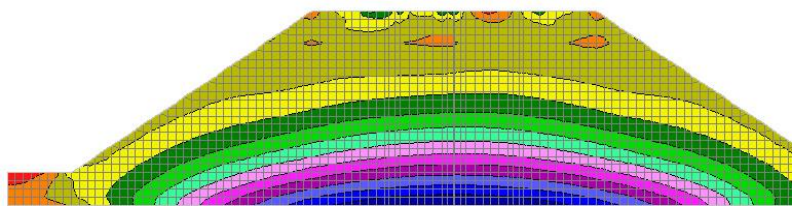


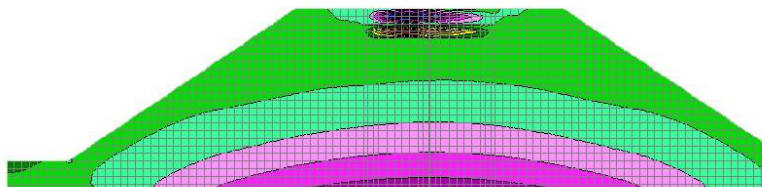
Рисунок 4.8 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у випадку насипу з габіонами (щебінь), 2-а схема завантаження: а) переміщення по осі X (горизонтальна); б) переміщення по осі Z (вертикальна); в) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); г) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); д) дотичні напруження в площині XZ

а



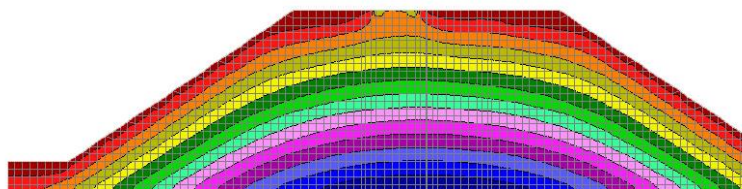
✓	-95,02	-88,1
✓	-88,1	-81,19
✓	-81,19	-74,27
✓	-74,27	-67,36
✓	-67,36	-60,45
✓	-60,45	-53,53
✓	-53,53	-46,62
✓	-46,62	-39,7
✓	-39,7	-32,79
✓	-32,79	-25,88
✓	-25,88	-18,96
✓	-18,96	-12,05
✓	-12,05	-5,13
✓	-5,13	1,78

б



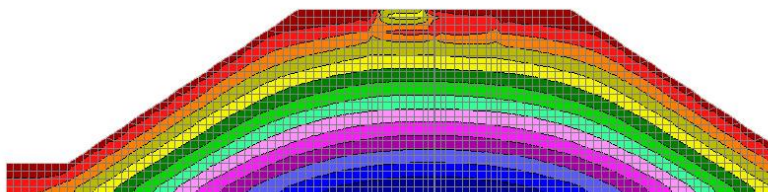
✓	-157,84	-139,62
✓	-139,62	-121,4
✓	-121,4	-103,17
✓	-103,17	-84,95
✓	-84,95	-66,73
✓	-66,73	-48,51
✓	-48,51	-30,29
✓	-30,29	-12,07
✓	-12,07	6,15
✓	6,15	24,38
✓	24,38	42,6
✓	42,6	60,82
✓	60,82	79,04
✓	79,04	97,26

в



✓	-285,05	-264,93
✓	-264,93	-244,81
✓	-244,81	-224,7
✓	-224,7	-204,58
✓	-204,58	-184,46
✓	-184,46	-164,34
✓	-164,34	-144,23
✓	-144,23	-124,11
✓	-124,11	-103,99
✓	-103,99	-83,87
✓	-83,87	-63,75
✓	-63,75	-43,64
✓	-43,64	-23,52
✓	-23,52	-3,4

г



✓	-284,89	-264,78
✓	-264,78	-244,68
✓	-244,68	-224,57
✓	-224,57	-204,46
✓	-204,46	-184,35
✓	-184,35	-164,25
✓	-164,25	-144,14
✓	-144,14	-124,03
✓	-124,03	-103,93
✓	-103,93	-83,82
✓	-83,82	-63,71
✓	-63,71	-43,6
✓	-43,6	-23,5
✓	-23,5	-3,39

Рисунок 4.9 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень, 1-а схема завантаження:

- а) нормальні напруження по осі X (без габіонів);
- б) нормальні напруження по осі X (з габіонами(щебінь));
- в) нормальні напруження по осі Z (без габіонів);
- г) нормальні напруження по осі Z (з габіонами(щебінь))

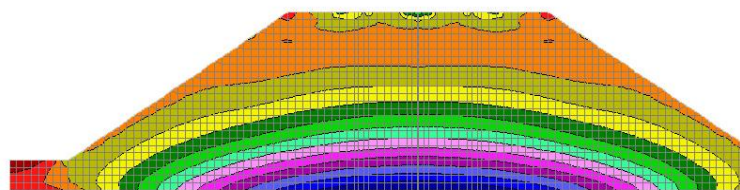
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0053.170291.ДР.2021.001

Арк.

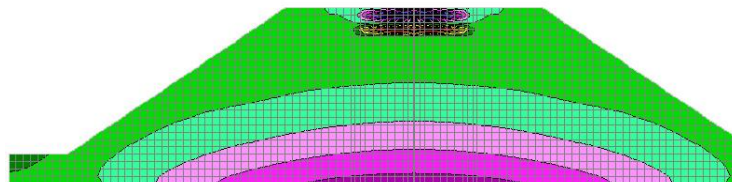
60

а



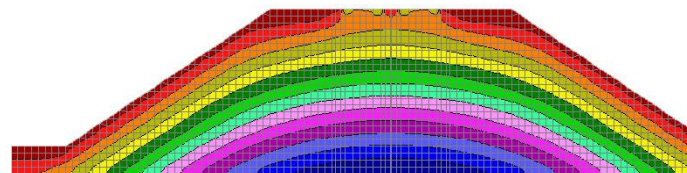
-95.91	-89.49
-89.49	-83.08
-83.08	-76.66
-76.66	-70.24
-70.24	-63.83
-63.83	-57.41
-57.41	-50.99
-50.99	-44.58
-44.58	-38.16
-38.16	-31.74
-31.74	-25.32
-25.32	-18.91
-18.91	-12.49
-12.49	-6.07

б



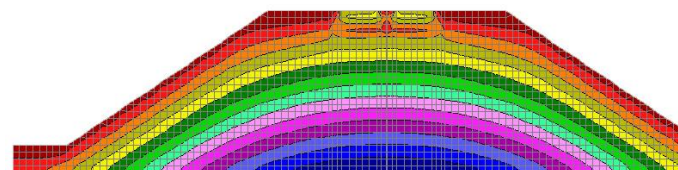
-162.09	-143.6
-143.6	-125.1
-125.1	-106.61
-106.61	-88.11
-88.11	-69.62
-69.62	-51.12
-51.12	-32.63
-32.63	-14.13
-14.13	4.36
4.36	22.86
22.86	41.35
41.35	59.85
59.85	78.34
78.34	96.84

в



-267.73	-267.42
-267.42	-247.11
-247.11	-226.8
-226.8	-206.49
-206.49	-186.18
-186.18	-165.87
-165.87	-145.56
-145.56	-125.25
-125.25	-104.94
-104.94	-84.63
-84.63	-64.32
-64.32	-44.01
-44.01	-23.7
-23.7	-3.39

г



-267.57	-267.27
-267.27	-246.97
-246.97	-226.67
-226.67	-206.37
-206.37	-186.07
-186.07	-165.77
-165.77	-145.47
-145.47	-125.17
-125.17	-104.88
-104.88	-84.58
-84.58	-64.28
-64.28	-43.98
-43.98	-23.68
-23.68	-3.38

Рисунок 4.10 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень, 2-а схема завантаження:

- а) нормальні напруження по осі X (без габіонів);
- б) нормальні напруження по осі X (з габіонами(щебінь));
- в) нормальні напруження по осі Z (без габіонів);
- г) нормальні напруження по осі Z (з габіонами(щебінь))

1)

2)

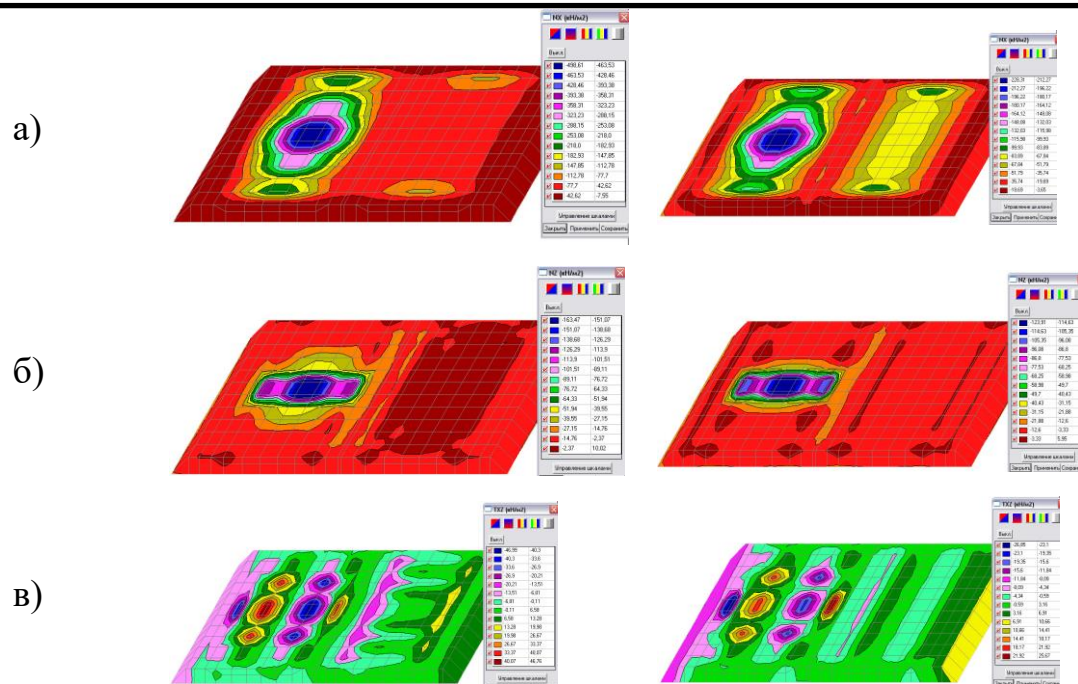


Рисунок 4.11 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у ВБК, 1-а схема:

1) однорідний матеріал насипу; 2) насип із габіонами(щебінь)

а) нормальні напруження по осі X; б) нормальні напруження по осі Z;

в) дотичні напруження в площині XZ

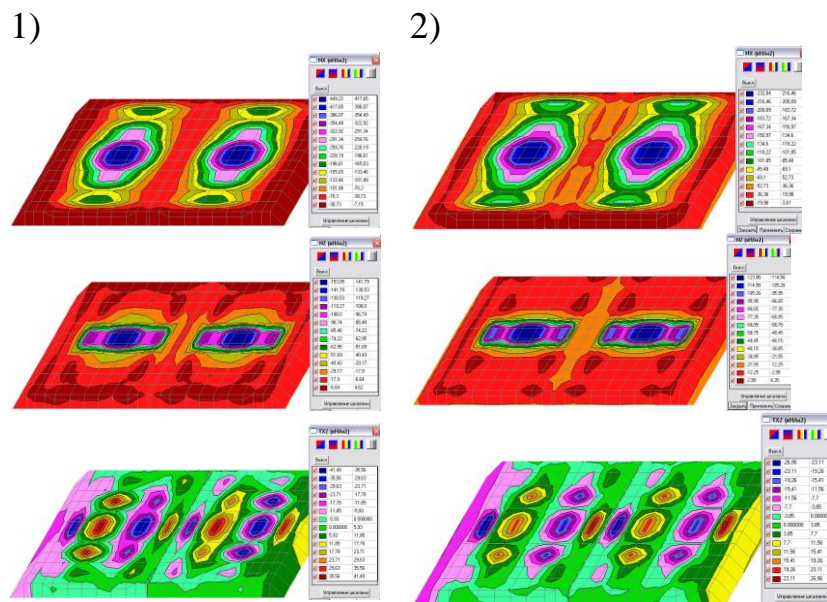


Рисунок 4.12 - Ізолінії та ізополя переміщень та напружень у ВБК, 2-а схема:

1) однорідний матеріал насипу; 2) насип із габіонами(щебінь)

а) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); б) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); в) дотичні напруження в площині XZ

Аналіз результатів напружено-деформованого стану земляного полотна

1. Картина переміщень дещо неоднорідна, що пояснюється тим, що крайня колія знаходиться таким чином, що їх розвиток вправо стає неможливим. Кількісний аналіз значень свідчить про те, що сукупні переміщення по осі Х від дії рухомого складу габіонних конструкцій максимально складають 0,94...1,23 мм.

2. Аналіз вертикальних переміщень, який був проведений як для сукупної дії рухомого складу та власної ваги, та окремо для власної ваги свідчить про те, що вплив на цей вид переміщень від рухомого складу незначний (1...3 % від загального переміщення).

3. Напружений стан земляного полотна знаходиться у допустимих межах міцності.

4. Слід відмітити, що напруження від дії рухомого складу значні і складають близько 64...77 % від загального напруженого стану (близька 77 % у випадку горизонтальних напружень, 64...65 % – у випадку вертикальних). Але розподіл напружень від рухомого складу приймає на себе рейко-шпальна решітка і вони значно затухають по глибині, тому в ґрунті земляного полотна їх значення менші (на глибині 0,3...0,5 м напруження зменшуються до значень у 0,05МПа).

При підсиленні верхньої ділянки конструкції габіонами максимальне переміщення зменшилося на 65,9 %, а переміщення склало 0,94; 1,09 та 1,23 мм відповідно, що на 60,1; 74,5 та 76,3% менше від однорідного матеріалу.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Картина переміщень дещо неоднорідна, що пояснюється тим, що крайня колія знаходиться таким чином, що їх розвиток вправо стає неможливим. Кількісний аналіз значень свідчить про те, що сукупні переміщення по осі X від дії рухомого складу габіонних конструкцій максимально складають 0,94...1,23 мм.

2. Аналіз вертикальних переміщень, який був проведений як для сукупної дії рухомого складу з урахуванням габіонних конструкцій, свідчить про те, що вплив на цей вид переміщень від рухомого складу незначний (1...3 % від загального переміщення).

3. Напружений стан земляного полотна знаходиться у допустимих межах міцності.

4. Слід відмітити, що напруження від дії рухомого складу значні і складають близько 64...77 % від загального напруженого стану 60...76 % – у випадку вертикальних). Але розподіл напружень від рухомого складу приймає на себе рейко-шпальна решітка і вони значно згасають по глибині, тому в ґрунті земляного полотна їх значення менші (на глибині 0,3...0,5 м напруження зменшуються до значень у 0,05МПа).

При підсиленні верхньої ділянки конструкції габіонами максимальне переміщення зменшилося на 65,9 %, а переміщення склало 0,94; 1,09 та 1,23 мм відповідно, що на 60,1; 74,5 та 76,3% менше від однорідного матеріалу.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
3. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / Городецкий А.С., Заворицкий В.И., Лантух-Лященко А.И., Рассказов А.О. – М.: Транспорт, 1981. – 143 с.
4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1971. – 368 с.
5. SCAD для пользователя / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н. – К.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
6. Дяченко Л.І., Кислий Г.П., Курач О.В. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України (ЦП 0072). - Дніпропетровськ: Арт-Прес, 2001.- 104с.
7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0269. – Київ, 2015.
8. ДБН В.2.3-19-2018. Споруди транспорту залізниці колії 1520 мм норми проектування.
9. В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. М. М. Алхдур, Дослідження впливу деформаційних характеристик шару підсилення на НДС залізничного насипу при під'їзді до мостового переходу, 2010.
10. Бобошко С.Г. Напружено-деформований стан ділянок з перехідною жорсткістю на підходах до мостів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. - Дніпровський національний університет залізничного транспорту, Дніпро, 2020.
11. Martin Lindahl (2001) Track geometry for high-speed railways: A literature survey and simulation of dynamic vehicle response, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm.

					0053.170291.ДР.2021.001	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		