

ЗАЯВА

Я, Вінченко Олексій Едвардович
(П.Б. повністю)

Студені групи КГ2021
(шифр групи)

Спеціальності 243 Залізничний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Залізничні споруди та колійне господарство
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки _____
(бакалавр, магістр)

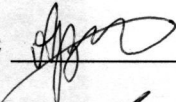
Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:
Дослідження напружено-деформованого стану земляного
полотна в сучасних умовах експлуатації

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

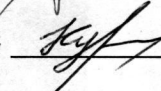
Прошу перевірити її на наявність академічної плагіату.

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 09.12.21

Підпис 

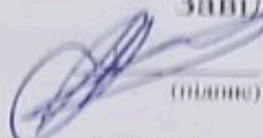
Керівник

Підпис 

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Транспортна інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

 Тют'кін О. Л.
(підпис) (ПІБ)

2021 р. 12 «07»

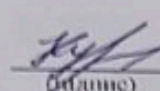
ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ОКР
«магістр»

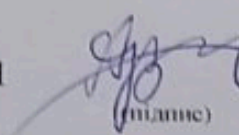
Галузь 273 Залізничний транспорт
(шифр) (повна назва)
Спеціальність Залізничні споруди та копійне господарств
(код) (повна назва)

Тема

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Керівник дипломного проекту (роботи) професор  Курган Д. М.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер доцент  Арбузов М. А.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Виконавець, студент групи КГ2021  Віниченко О. Е.
(підпис) (ПІБ)

Дніпро
2021

Арх.	№ докум.	Підпис	Дата

0053.160317.ДР.2021.001

Арх.

1

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Транспортна інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

_____ Тютюкін О. Л.
(підпис) (ПІБ)

2021 р. _____ « ____ »

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ОКР
«магістр»

Галузь _____
(шифр) (назва)

Спеціальність _____
(код) (повна назва)

Тема

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В СУЧАСНИХ УМОВАХ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Керівник дипломного проекту (роботи) професор _____ Курган Д. М.
(посада) (підпис) (ПІБ)

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

Виконавець, студент групи _____ КГ2021 _____ Віниченко О. Е.
(підпис) (ПІБ)

Дніпро
2021

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з 58 сторінок, 8 таблиць, 24 рисунків.

**ТЕМА: «ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ»**

Об'єкт дослідження – процес пружної роботи земляного полотна під поїзним навантаженням.

Метою є дослідження напружено-деформованого стану земляного полотна в сучасних умовах експлуатації

Для виконання поставленої задачі в дипломній роботі було розглянуто та порівняно між собою методи покращення (утримання) стану земляного полотна. Шляхом математичних розрахунків та моделювання отримано результати для кінцевого висновку.

Ключові слова: земляне полотно, напружено-деформований стан земляного полотна, допустимі напруження, стійкість, методи, коефіцієнт стійкості

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ЗА НАУКОВИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ	
1.1 Актуальність теми	6
1.2 Методи оцінки стійкості земляного полотна	7
1.3 Програмний комплекс PLAXIS	13
1.4 Висновок до розділу	16
2 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ НАСИПУ ЗА МЕТОДИКОЮ ПОБУДОВИ КРИВИХ МОЖЛИВОГО ЗРУШЕННЯ	
2.1 Вихідні дані	18
2.2 Результати розрахунків	19
2.3 Дослідження впливу характеристик міцності ґрунтів тіла насипу на параметри кривої зрушення	21
2.4 Висновки до розділу 2	22
3 ВАРІАНТНІ РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ НАСИПУ	
3.1 Методика розрахунку стійкості відкосу насипу	23
3.2 Варіантні розрахунки стійкості насипу	29
3.3 Висновки до розділу 3	44
4 МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІДКОСІВ НАСИПУ	45
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	56

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Залізниця – це не просто мережа перевезень, а історичний прорив, сучасність та майбутнє.

Залізнична колія являється інженерною спорудою, яка призначена для пропускання поїздів з необхідною швидкістю, що встановлена для певної ділянки. Всі складові залізничної колії, серед яких має місце земляне полотно, за стійкістю, станом і міцністю повинні забезпечувати плавний і безпечний рух потягів із швидкостями, встановленими на певній ділянці.

Земляне полотно являє собою ґрунтову споруду отриману зрізанням частки земляної поверхні в підвищеннях і досипанням в пониженнях місця до проектного рівня. Воно призначене для прокладання залізничної колії у певному проекті та для сприйняття навантажень від рухомого складу. Від стану земляного полотна в більшій мірі залежить робота колії взагалі та безпека руху поїздів. Земляне полотно вимушене існувати у складних умовах дії динамічних факторів та постійної дії природних факторів – вітру, води, повітря та температури. Саме тому для захисту земляного полотна від несприятливих природних дій розробляється комплекс водовідвідних, захисних і укріплюючих споруд (труби, мости, тунелі, підпірні стінки) та пристроїв. Так, як основним матеріалом земляного полотна є ґрунт властивості якого змінюються при техногенних та природних впливах, то його стан, надійність також є непостійними. Це все необхідно врахувати при проектуванні, будівництві і експлуатації земляного полотна.

Тобто, основними вимогами до земного полотна є: постійна та надійна стійкість в профілі та плані; стійкість за будь-яких погодних умов при встановленому навантаженні для рухомого складу; довговічність.

В загальному розумінні для такої великої мережі потрібно багато зусиль, а саме кваліфікованих спеціалістів, які будуть проектувати, будувати, обслуговувати, отже тим самим розвивати залізничний транспорт.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета роботи. Метою є дослідження напружено-деформованого стану земляного полотна в сучасних умовах експлуатації.

Для досягнення мети було поставлено такі **задачі**:

1. Проаналізувати методи оцінки земляного полотна.
2. Провести варіантні розрахунки на стійкість земляного полотна.
3. Зробити висновки та надати рекомендації.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ЗА НАУКОВИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ

1.1 Актуальність теми

Науковою задачею, якій присвячена дипломна робота є дослідження і обґрунтування параметрів напружено-деформованого стану земляного полотна залізниць при його армуванні для розробки способу укріплення, що суттєво впливає на досягнення підвищених швидкостей руху поїздів.

Задачею на даному етапі написання дипломної роботи є визначення та розкриття актуальності теми. В сучасних умовах безпека на залізниці є найактуальнішим питанням, тому особливу увагу приділяють питанню забезпечення необхідного рівня надійності залізничної колії, в тому числі земляного полотна, як однієї з основних опорних конструкцій. Земляне полотно є основою насипу, яке значною мірою зумовлює нормальну роботу залізниці під впливом рухомого складу. Причин катастроф на залізничному транспорті є чимало, основні: стан колії (50%), стан рухомого складу (43%) і людський фактор (7%).[1] В "Національній транспортній стратегії України до 2030 року" передбачено вирішення одного з основних завдань, яким перш за все є переоснащення колійного господарства, що забезпечить підвищення швидкості руху вантажних поїздів до 100 - 120 км / год і пасажирських до 160 - 200 км / год.

Дослідження земляного полотна, які проводилися раніше в основному були призначені для оцінки стійкості. Для підвищення цієї характеристики в роботах вчених [1] було розглянуто армування різними матеріалами та створення нових конструкцій. Було проведено ряд польових досліджень на залізниці, які показали, що земляне полотно побудоване за застарілими нормами не задовольняє вимоги залізниці щодо швидкості руху поїздів. Причиною цього є відсутність надійного апарату оцінки міцності та стійкості земляного полотна, які базуються на закономірностях явищ, що відбуваються в тілі полотна в період експлуатації. Науково-технічні публікації останніх

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

років свідчать про те, що деякі автори проводять інтенсивні теоретичні та експериментальні дослідження в цьому напрямленні. Метою основної частини роботи є отримання узагальнених залежностей для розрахунку параметрів напружено-деформованого стану в тілі насипу, обумовлених власною вагою ґрунтів і дією рухомого навантаження. В роботі [1] показано як ґрунтова напруга та напруга від рухомого складу впливають на міцність земляного полотна. При цьому зі збільшенням висоти насипу напруга зростає вдвічі.

Таким чином, необхідною є розробка удосконалених конструкцій земляного полотна із застосуванням елементів армування різними матеріалами та обґрунтовувати параметри їх ефективності, а також особливу увагу треба приділити підвищенню швидкості руху поїздів, що обумовлює актуальність досліджень представленої дипломної роботи.

1.2 Методи оцінки стійкості земляного полотна

Важливим для земляного полотна є стійкість укосів. Саме забезпечення стійкості укосів є одним з основних завдань для інженерів-проектувальників. Поверхня земляного полотна пластична, тому окремі ділянки супроводжуються деформаціями, які утворюють окремі місця із добре вираженою поверхнею зрушення ґрунту (рис.1.1).

Стійкість ґрунтових масивів - це здатність ґрунтів протистояти силам зрушення, при цьому не деформуватися. Звісно ніщо не застраховане від руйнівного фактору, тому при несприятливих умовах ґрунтовий масив може перейти в нерівноважний стан і втратити стійкість. Вибір методу оцінки стійкості укосу є важливим завданням, як із технічного боку, забезпечення надійної експлуатації споруд, так із економічного.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

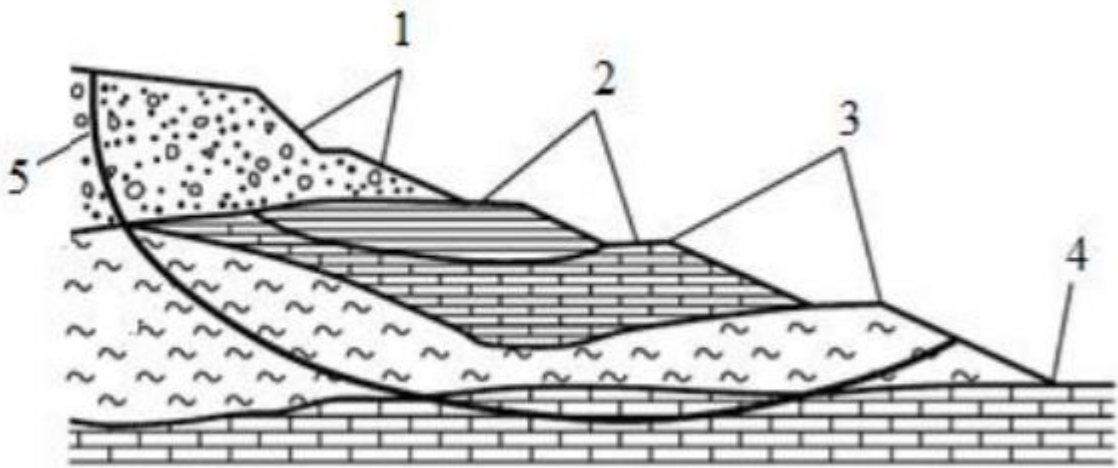


Рис.1.1 Схема ґрунтового укосу та його основних частин: 1-уступ; 2-берма; 3-бровка уступу; 4-підшва укосу; 5-поверхня зрушення

Першим хто здійснив розрахунки стійкості укосів став Шарль Кулон. В 1773 році він сформулював умову міцності ґрунту[2]:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c , \quad (1.1)$$

де τ – опір зсуву; σ – нормальні напруження; φ – кут внутрішнього тертя; c – питоме зчеплення.

Принцип Кулона мав «послідовника», ним став спосіб розрахунку по плоскій поверхні, що був заснований у 1820 р. Франсе [2]. У 1859 р. В. Ренкін, ввів поняття про поверхні ковзання і вивів, на основі умови міцності Кулона, основні рівняння теорії тиску земляних мас. З самого початку XX століття розвиваються два напрямки розрахунку стійкості схилів [3, 4].

Ф. Кеттер [2] перший продовжив напрямок ідеї В. Ренкіна. Вчений склав систему граничної рівноваги сипучого середовища, взявши диференціальні рівняння рівноваги та граничні умови в кожній точці та звівши їх до відповідних криволінійних координат. Вагомим внеском в теорію граничної рівноваги стали праці Л. Прандтля, в яких розглянуто задачі пластичної рівноваги. У сучасному вигляді теорія граничної рівноваги сформована

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботами В. В. Соколовського [5], Г. Мейергофа [6], Ю.О. Соболевського, Ю.І. Соловійова, А.С. Строганова, В.Г. Березанцева, М.В. Малишева та ін.

На відміну від першого другий напрям був заснований на «спрощеній» побудові граничної рівноваги, що ґрунтується на гіпотезі: умова граничної рівноваги задовольняється на внутрішній межі укосу тієї або іншої геометричної форми, і допускається, що деформація укосу виникає в результаті одночасного подолання опору зрушення порід у межах усієї потенційної поверхні ковзання. З цієї миті розпочався розвиток методів, заснованих на моделі отверділого відсіку, та поділу зсувного тіла на відсіки або блоки.

У 1936 р. на світ з'явився новий метод, який запропонував А. І. Іванов [7]. Цей метод вчений заснував опираючись на ідею затверділого укосу, який згодом удосконалив Д. Тейлор [8]. Метод стійкості схилів, заснованих на моделі затверділого укосу має ряд недоліків через які в подальшому неможливо використовувати розрахункові залежності для оцінки стійкості схилів у складних інженерно-геологічних умовах: складність, умовність та обширність. Як зазначено у [9], методи цієї підгрупи придатні тільки для оцінки стійкості однорідних укосів, завантажених власною вагою. Їх практично неможливо розширити на випадки більш складної будови укосу, дії сейсмічних та фільтраційних сил. Згодом Н. Янбу [10] та Б. Бішоп [11] вдосконалили метод відсіків. Н. Моргенштерн та В. Прайс [12] розробили уточнення до методу. Серед інженерів поширений метод граничної рівноваги, оскільки розрахунок можна виконати вручну без застосування громіздких формул.

Учені, що займалися дослідженнями, пов'язаними з методами розрахунків схилів, – М. Н. Гольдштейн [13,14], А. Г. Дорфман [15], М. М. Маслов [16], Р. Р. Чугаєв, Г. М. Шахунянц [17, 18] та ін. [19–24].

Нині популярними методами оцінки стійкості є ті, що ґрунтуються на припущенні про досягнення граничного опору зсуву тільки на поверхні

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зрушення, яка зазвичай представлена у кругло циліндричній, плоскій або довільній формі. Тіло зрушення розділяється на плоскі елементи для уточнення закону розподілу нормальних напружень по поверхні зрушення, що особливо важливо за неоднорідності будови ґрунтового масиву.

У цілому методи відсіків можна поділити на три основні типи залежно від числа рівнянь рівноваги, які задовольняються:

- 1) методи, що задовольняють рівновагу моментів;
- 2) методи, що задовольняють рівновагу сил;
- 3) методи, що задовольняють рівновагу сил та моментів.

У табл. 1.1 подано умови статичної рівноваги та методи, що їх задовольняють [25].

Є багато методів розрахунку стійкості, проте деякі питання ще недостатньо вивчені, а використовувані наразі методи розрахунку стійкості навантажених рухомим складом укосів і схилів містять ряд недоліків.

Складним завданням є дослідження міцності та стійкості укосів земляного полотна, що визначається необхідністю одночасного врахування трьох основних чинників: рухомого складу, рельєфу та гравітаційної сили, що вимагає використання відповідних методів дослідження. Для дослідження міцності та стійкості укосів земполотна використовуються польові методи, лабораторні моделювання, які охоплюють метод еквівалентних матеріалів, поляризаційно-оптичні методи, електричні моделювання та методи математичного моделювання, як аналітичні, так і численні вирішення поставленої мети [26].

Як правило, принцип розрахунку стійкості зводиться переважно до пошуку розташування поверхні ковзання в ґрунтовому масиві, на якому реалізуються максимальні зсувні напруження, та має місце мінімальний коефіцієнт стійкості, що виражається відношенням сумарних утримувальних

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сил до сумарних зрушувальних сил або відношенням моментів утримувальних сил до моментів сил, що зсувають.

$$K_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{ум}}}{F_{\text{зр}}}, \text{ або } K_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{ум}}}{M_{\text{зр}}} \quad (1.2)$$

Таблиця 1.1 - Методи розрахунку стійкості схилів і умови статичної рівноваги, які вони задовольняють

Назва методу	Рівновага сил		Рівновага моментів
	Вертикальна	Горизонтальна	
Янбу спрощений [10]	Так	Так	Ні
Янбу коригований [24]	Так	Так	Ні
Сарма [25]	Так	Так	Так
Спенсера [20]	Так	Так	Так
Лоува і Карафайта [25]	Так	Так	Ні
Моргенштейна і Прайса [12]	Так	Так	Так
Бішопа спрощений [22]	Так	Ні	Так
Феленіуса [19]	Так	Ні	Так
Корпусу інженерів [25]	Так	Так	Ні



Рис.1.2 Методи оцінки стійкості та умови, які вони задовольняють [1]

Якщо $K_{ст} > 1$, то схил стійкий, якщо $K_{ст} < 1$ – нестійкий.

Інженерною діяльністю виявлено, що методи розрахунку коефіцієнта стійкості можуть дати низьке значення коефіцієнта стійкості, дивлячись на купу факторів, що мають вплив на результат розрахунку. Отже, коефіцієнт стійкості $[K]$ повинен бути диференційований залежно від категорії спорудження. Для залізничних насипів згідно з [27]:

$$[K] = \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}, \quad (1.3)$$

де γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням споруди (коефіцієнт значущості споруди);

γ_{fc} – коефіцієнт сполучення навантажень, що враховує зменшення імовірності одночасної появи розрахункових навантажень;

γ_c – коефіцієнт умов роботи.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головними причинами втрати стійкості укосів і схилів є: влаштування неприпустимо крутого укосу або схилу; підрізання схилу, що перебуває в стані, близькому до критичного; збільшення зовнішнього навантаження (складування матеріалів на укосі чи близько до його брівки, будівництво споруджень); зміна внутрішніх сил (наприклад, збільшення питомої ваги базису за зростання його вологості); хибне призначення розрахункових характеристик ґрунту; зниження опору ґрунту зрушенню шляхом підвищення його вологості або інших причин; вплив сейсмічних сил і різних динамічних факторів (рух транспорту, забивання паль і т.п.); виявлення гідродинамічного тиску.

1.3 Програмний комплекс PLAXIS

Багато інженерів працює у програмі OTKOC, в якій і представлені деякі з розглянутих методів. Ця програма належить до програм SCAD Office, приклади розрахунку стійкості укосів у цій програмі наведені у [1, 25].

Інженерна практика показала, що за останні роки розвиток комп'ютерних технологій посприяв ширшому використанню розрахунків стійкості укосів. Для інженерів складна літологічна будова схилів не стала перешкодою розрахункам, а також їх арсенал дій міг враховувати в обчисленнях додаткові навантаження та елементи структурного укріплення укосів за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). На сьогодні є ряд потужних обчислювальних програмних комплексів (PLAXIS, ABAQUS, MIDAS, COSMOS/M, ANSYS, PHASE2 та ін.), які дають розширити наше бачення цілим віртуальним прототипом заданої ділянки масиву з дійсними геометричними розмірами і фізико-механічними особливостями матеріалів. Комплекси також дають змогу проглянути положення графіків, сил, поверхонь зсуву та інших параметрів, що дає змогу більш досконально вивчати механізм розвитку зсувного процесу, ніж саме значення коефіцієнта стійкості.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме PLAXIS зарекомендував себе на високому рівні серед геотехнічних інженерів-проектувальників, як надійний програмний комплекс(рис.1.3). Програма дає змогу виконувати розрахунки фільтрації та консолідації ґрунтів, розрахунки стійкості з визначенням поверхонь, які можуть підвергнутися руйнуванню та знаходити значення коефіцієнта запасу, які відповідають рівню досягнутих напружень.

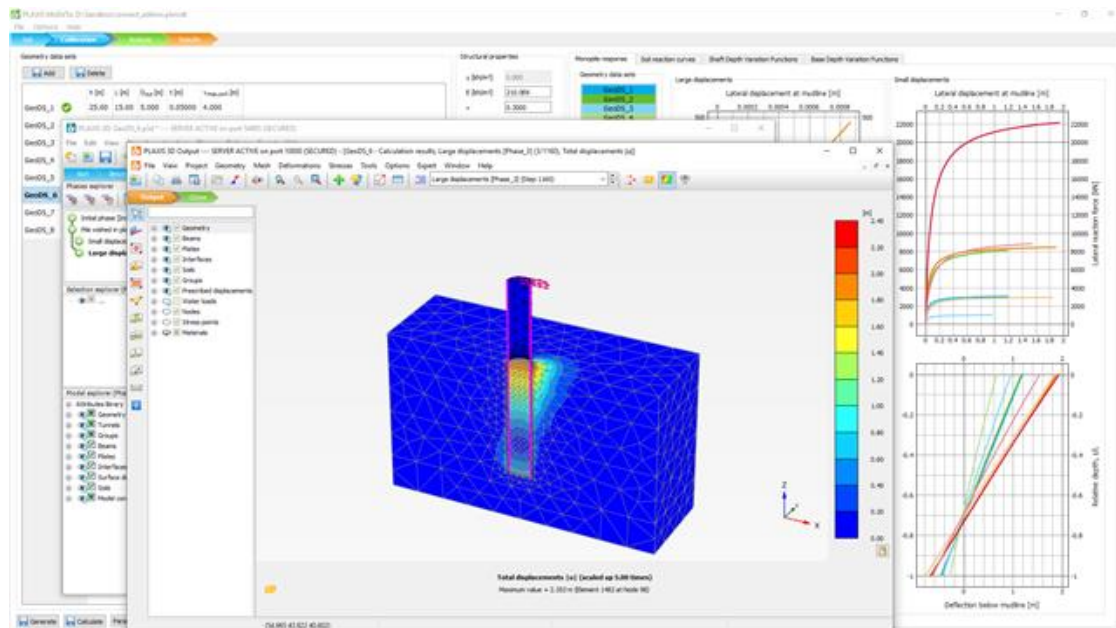


Рис.1.3 Приклад роботи в програмному комплексі PLAXIS [28]

Програма має набір моделей різних ґрунтів, на основі яких моделюється робота таких масивів як: «Mohr-Coulomb model» – пружно-пластична модель Кулона-Мора; «Hardening Soil model» – модель ґрунту, що укріплюється (пружно-пластична модель гіперболічного виду), застосовується для моделювання функції гравію, піску; «Soft Soil model» – модель слабого ґрунту (модель типу «Cam-Clay»); «Soft Soil Creep model» – модель слабого ґрунту з урахуванням впливу повзучості (охоплює моделювання другої стадії повзучості), також може використовуватися для моделювання залежної часом поведінки слабих ґрунтів; «Jointed Rock model» – модель анізотропного тріщинуватого скельного масиву, може використовуватися для моделювання шаруватих гірських порід [29]. Методика розрахунку і моделювання роботи масиву залежать від задач, які необхідно вирішити. Наприклад, стійкість

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розраховують зниженням характеристик міцності ґрунту на основі методу Phi-c-reduction (зниження φ і c), що використаний саме у програмі «PLAXIS» для розрахунків коефіцієнта загальної безпеки. Отже, коефіцієнт стійкості визначається, як відношення реальної міцності на зсув до обчисленої мінімальної міцності, необхідної для рівноваги

$$K = \frac{S_m}{S_n}, \quad (1.4)$$

де S_m – максимально можлива міцність;

S_n – міцність, необхідна для рівноваги.

Згідно з умовою міцності Кулона коефіцієнт стійкості визначається як відношення фактичних характеристик міцності до їх мінімальних значень, необхідних для підтримання рівноваги:

$$K_{cm} = \frac{c + \sigma_n \tan \varphi}{c_r + \sigma_n \tan \varphi_r}, \quad (1.5)$$

де c , φ – параметри міцності;

σ_n – компонента нормального фактичного напруження;

c_r , φ_r – параметри наведеної міцності, достатні для підтримки рівноваги.

При такому варіанті знижуються зчеплення і тангенс кута внутрішнього тертя в однаковій пропорції:

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \sum M_{sf}, \quad (1.6)$$

Зниження параметрів міцності контролюють показником $\sum M_{sf}$. Цей показник змінюють, доки не відбудеться руйнування. Приклад розрахунку стійкості насипів приведено у [30, 31].

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Висновки до розділу 1

Для забезпечення безпечного та безперебійного руху поїздів інженери повинні мати у своєму розпорядженні надійний науковий апарат, що дозволить вивчати процеси, які відбуваються в основі земляного полотна, реально оцінювати його фактичний стан і обґрунтовано призначати заходи щодо забезпечення міцності, стійкості, надійності та довговічності.

Значна кількість існуючих методів розрахунку дозволяють оцінити стійкість схилу, але в деяких випадках трапляється невідповідність розрахункових та дійсних значень деформацій ґрунтів, що значною мірою може відноситись до недостатнього всебічного урахування особливостей властивостей деформації ґрунтів. В досліджуваних методах не враховуються додаткові деформації основи з просідаючих ґрунтів внаслідок їх техногенного або природнього замочування. Враховуючи ймовірність просідання розрахунки укосів та схилів потрібно проводити етапами згідно двох груп граничних станів. Теоретичні питання потребують уточнення і корегування методів спираючись на сучасні спостереження та дослідження.

Надійність земполотна базується на проведенні аналізу стійкості та прийманні рішень щодо підвищення його стабільності. Аналіз стійкості земполотна, використовуючи аналітичні методи, є дуже складним завданням. Коефіцієнт стійкості необхідно аналізувати, вивчаючи криву зсуву разом з напружено-деформованим станом масиву, що можна виконати у програмних комплексах, які ґрунтуються на методах скінченних елементів. Звичайно, перелічені аналітичні методи розрахунку земляного полотна необхідно враховувати під час створення скінчено-елементних моделей та порівнювати результат.

Без сумніву, програмні комплекси є гарним інструментом для дослідження стійкості завдяки швидкому вирішенню завдань, правдивості отриманих результатів, коригуванню та зміні початкових критеріїв. Оскільки на будь-якому етапі розрахунків можливий візуальний аналіз розвитку

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напружено-деформованого стану моделі у вигляді епюр, графіків, переміщень і т. д.

Програмний комплекс PLAXIS відомий серед інженерів, що підтверджує велику кількість наукових праць. Також програмний комплекс забезпечує високі показники надійності, ефективності й економічності проєктованих споруд.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ НАСИПУ ЗА МЕТОДИКОЮ ПОБУДОВИ КРИВИХ МОЖЛИВОГО ЗРУШЕННЯ

2.1 Вихідні дані

Поперечний ухил місцевості для насипу	1/27
Кількість колій на насипу	2
Тип підрейкових опор	3.–б.
Об'ємна	16,2
Кут внутрішнього тертя ґрунту насипу	
в стані природної вологості, ϕ , град	25,3
Кут внутрішнього тертя ґрунту онови насипу, $\phi_{\text{осн}}$, град	26,5
Питоме зчеплення ґрунту насипу, $C, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$	12,8
Питоме зчеплення ґрунту основи насипу, $C_{\text{осн}}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$	15,8
Оцінка ГЗВ щодо основи насипу по його осі	4
Ухил низового відкосу, ‰	2
Ухил контрбанкету, ‰	0,04
Ширина берми низового відкосу, м	4
Розрахункове пог. навантаження від рух. складу, кН/м	119
Густина частинок ґрунту насипу т/м ³	26
Густина частинок ґрунту основи т/м ³	26,4
Густина ґрунту насипу т/м ³	18
Відмітка основи насипу по осі земполотна, м	62,5
Найвищий рівень вод, м	66,2
Відмітка бровки низової берми, м	67,7

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Результати розрахунків

На рис. 2.1 зображено криву зрушення з координатами початку та кінця кривої. Початок якої розміщений під шпалою лівої від осі колії і координата її становить -3,35м., кінець на деякій відстані від підшви насипу і координата її 42,5 м. На рис. 2.1 добре видно розбиття кривої зрушення на відсіки. При даних параметрах глобальний мінімум коефіцієнта стійкості $K=1.2048$.

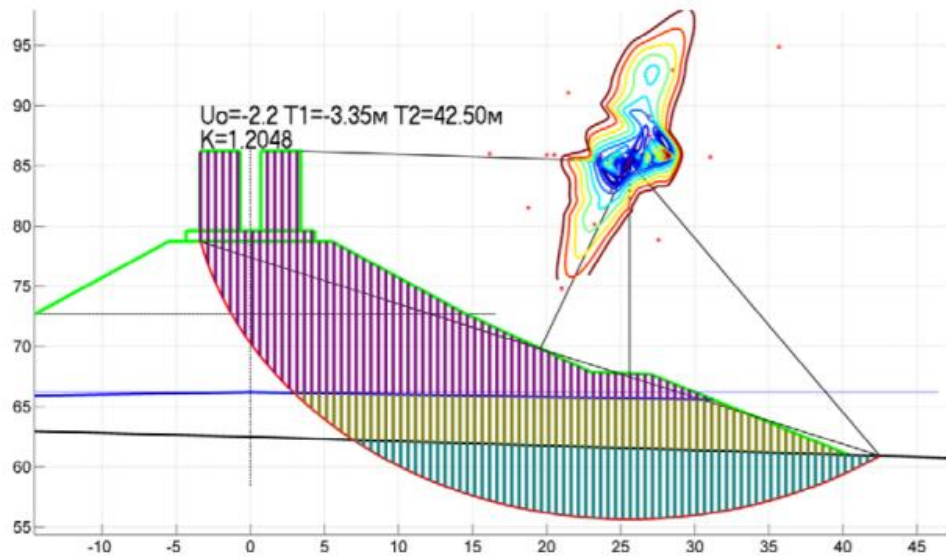


Рис.2.1 Поперечний профіль насипу з кривою зрушення та горизонталями розміщення центру.

На рис.2.2 зображено горизонталі положення критичного мінімуму коефіцієнта стійкості, межі якого від 1.3039 до 1.2048. Існують також декілька локальних мінімумів блакитного кольору і критичний мінімум посередині, де найбільше скупчення червоних точок.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

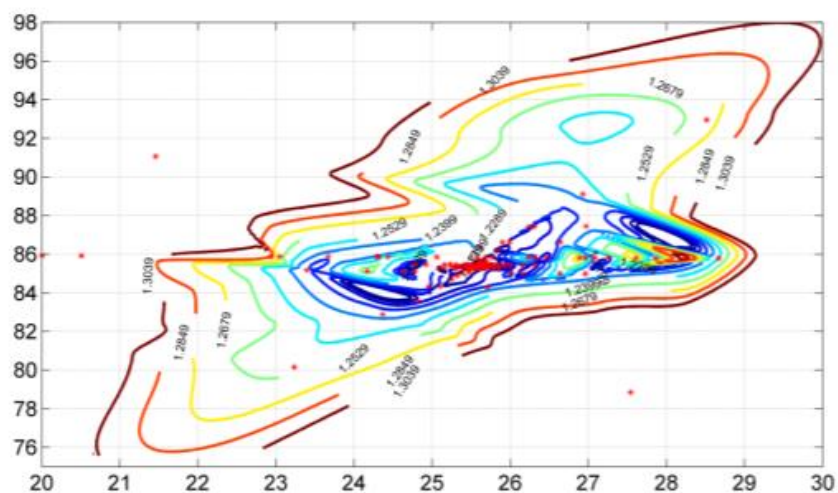


Рис.2.2 Контурний графік центра кривої зрушення та глобального мінімуму коефіцієнта стійкості.

Тривимірне зображення (рис.2.3) прекрасно зображує положення критичного мінімуму, який на малюнку виглядає як червона точка та знаходиться у найнижчій точці рельєфу.

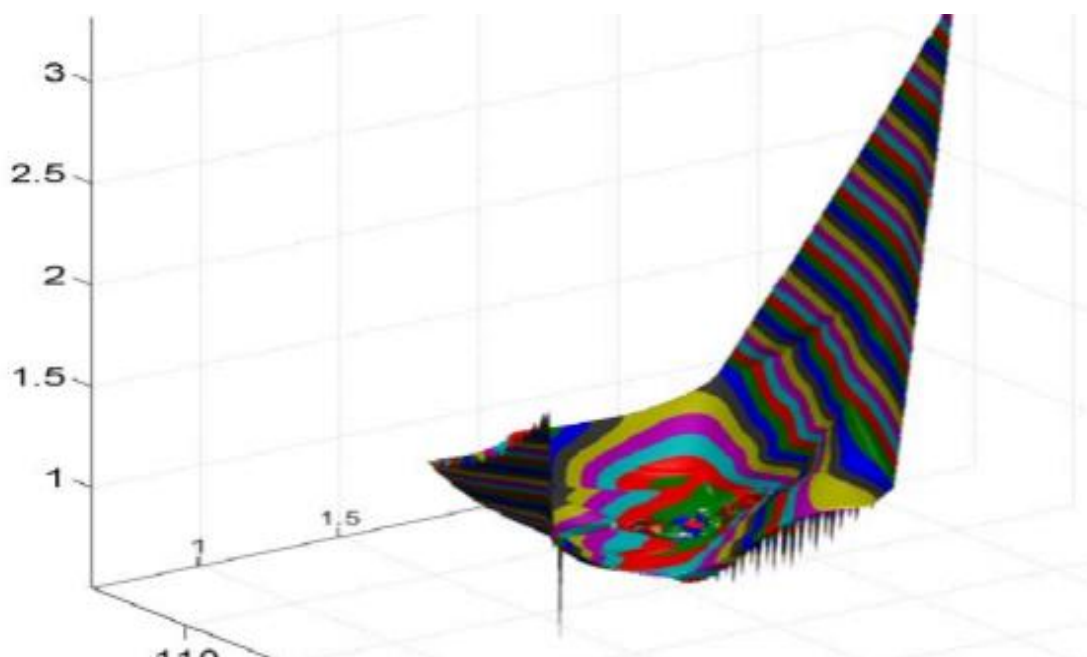


Рис.2.3 Тривимірне зображення центра кривої зрушення та глобального мінімуму коефіцієнта стійкості

2.3 Дослідження впливу характеристик міцності ґрунтів тіла насипу на параметри кривої зрушення

Табл.2.1 Залежність радіусу кривої зрушення від характеристик ґрунту

$C_n, \text{Кн/м}^2$	0	5	10	15	20	25	30
$\phi_{\text{осн}}, \text{град}$							
0	57.756	43.296	44.301	41.508	39.455	39.021	37.79
5	40.648	38.099	35.366	33.318	31.752	31.112	29.856
10	36.691	35.826	33.945	32.39	31.218	30.509	30.042
15	34.249	35.017	33.321	31.727	30.896	30.554	29.749
20	33.298	33.95	32.551	31.547	30.509	30.202	29.749
25	31.99	32.945	32.333	31.063	30.274	29.749	29.749
30	30.939	29.376	32.333	30.628	30.492	29.891	30.37

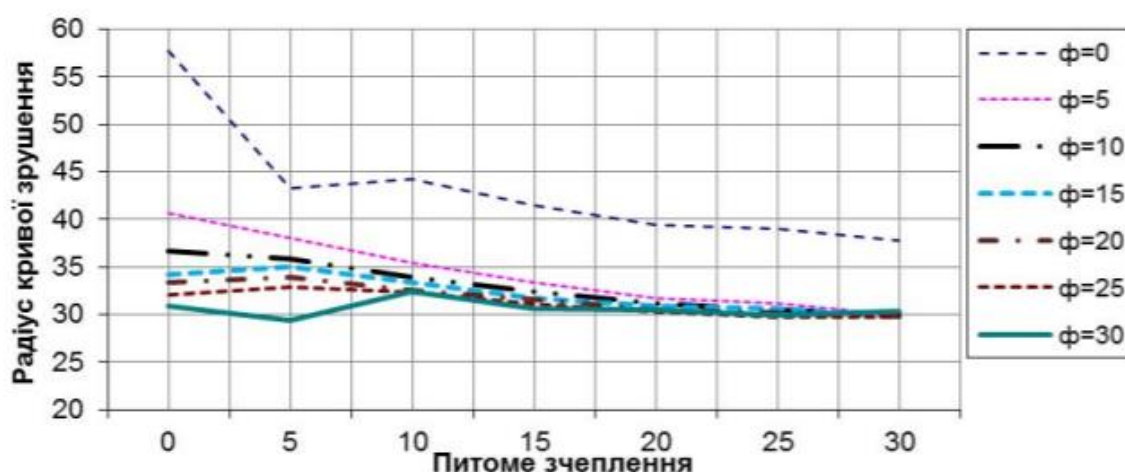


Рис.2.4 Графічне подання залежності радіусу кривої зрушення від характеристик ґрунту

Аналіз дослідження показує (рис. 2.4), що радіус кривої зрушення зменшується при збільшенні кута внутрішнього тертя та питомого зчеплення і навпаки, при зменшенні радіус збільшується.

2.4 Висновки до розділу 2

У дослідженні було проведено визначення коефіцієнта стійкості високого насипу. Для цього був використаний метод кругло-циліндричних площин із використанням способів пошуку глобального мінімуму. При розрахунках було виявлено, що площина коефіцієнта стійкості має чимало локальних мінімумів, а використання ручного підбору параметрів кривої зрушення, або простих оптимізаційних методів може призвести до похибки у визначенні коефіцієнта стійкості насипу. За допомогою графіків можна своїми очима побачити знаходження глобального мінімуму коефіцієнта стійкості, які представлено у конторному та тривимірному вигляді. Крім того у дослідженні виконано вплив характеристик міцності ґрунту, а саме питомого зчеплення та коефіцієнта внутрішнього тертя на параметри кривої зрушення. Розрахунки показали, що при збільшенні кута внутрішнього тертя та зменшенні питомого зчеплення – радіус кривої зрушення збільшується, однак в будь-якому випадку він не є більшим 58 м. Найменшим радіусом кривої зрушення є 29.4, що відповідає максимальному значенні питомого зчеплення та мінімального значення кута внутрішнього тертя.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВАРІАНТНІ РОЗРАХНКИ СТІЙКОСТІ ВІДКОСУ НАСИПУ

3.1 Методика розрахунку стійкості відкосу насипу

Задача даного розрахунку являє собою визначення кінцевого результату, а саме коефіцієнту, який буде свідчити про стійкість нашого насипу. Коефіцієнт стійкості (K) повинен задовольняти таку умову:

-якщо $K > 1.2$, отже насип вважається стійким;

-якщо $K < 1.2$, отже насип нестійкий.

Початок розрахунку стійкості відкосу насипу (СВН) передбачає собою визначення розмірів насипу. Розглянемо двоколіїну ділянку з висотою насипу 17 м.

Висота проектованого насипу визначається за формулою:

$$H_n = H_{бр} - H_{осн} \quad (3.1)$$

де $H_{бр}$ – відмітка бровки основної площадки насипу (визначається за повздовжнім профілем) для даного перерізу;

$H_{осн}$ – відмітка основи насипу.

Так як, поверхня на якій будується насип не завжди ідеальна, тому буде використано значення косогірності, ухил якого дорівнює відношенню 1:22.

Для графічного зображення насипу використовується програма AutoCad 2019, яка є однією з ведучих програм по всьому світі та в свою чергу за допомогою неї велика кількість інженерів працює та покращує наш світ своїми ідеями.

Висота насипу без сумніву впливає на крутість ухилів. За типовими поперечними профілями, для насипів висотою до 6 м ухил дорівнює 1:1.5, при висоті від 6 м до 12 м насипу ухил повинен мати крутість 1:1.5, а нижня

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частина – 1:1.75. Якщо насип більший, то через кожні наступні 6 м, починаючи з верхньої частини, показник крутості ухилів рекомендується збільшувати на 0.25 м до крутості 1:2.25, який призначається постійним для тієї низової частини насипу, що залишилася. Отже при обраній висоті насип буде поділений на 3 зони з ухилами 1:1.5; 1:1.75; 1:2. (рис. 3.1)

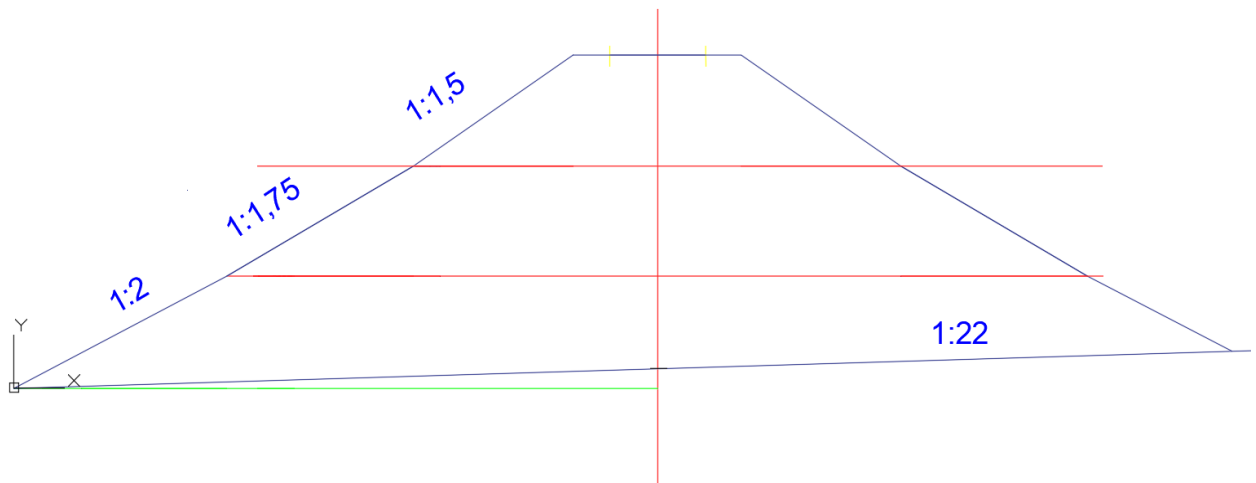


Рис. 3.1 Креслення насипу

Наступним кроком в дипломній роботі є зображення навантаження від верхньої будови колії (ВБК). Продовжуючи визначення розмірів елементів для нашого насипу наступною є висота відсипаного ґрунту, який важить стільки ж скільки важить ВБК (для зручності в подальших розрахунках дане значення прийме назву H_q).

$$H_q = \frac{P}{\gamma} = \frac{17}{20} = 0.85 \quad (3.2)$$

де P - навантаження на ґрунт, кПа;

γ - питома вага ґрунту (приймаємо приблизно середнє значення для ґрунтів України), кН×м².

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина основної площадки встановлюється чинними нормативними документами залежно від категорії колії, виду ґрунтів, плану лінії та кількості колій. Ширина основної площадки двоколійної ділянки порівняно з одноколійною збільшується на відстань між осями колій. У таблиці 3.1 наведені значення ширини основної площадки земляного полотна згідно зі ДБН В.2.3-19:2018.

Таблиця 3.1- Ширина основної площадки земляного полотна

Категорія Залізничних колій	Кількість Головних колій	Ширина основної площадки земляного полотна на прямих ділянках колії, м, при використанні ґрунтів	
		Глинистих, великоуламкових із глинистим заповнювачем, скельних, які вивітрюються, пісків, що не дреноують, дрібних і пилюватих	Скельних,що слабо вивітрюються, великоуламкових із піщаним заповнювачем і пісків дреноуючих(крім дрібних і пилюватих)
Швидкісні, I і II	2	11,7	10,7
II і III	1	7,6	6,6
IV і V	1	7,3	6,4
VI і VII	1	7,2	6,2

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина відсипаного ґрунту дорівнює 9.1 м, але для розрахунків можна прийняти значення 9 м.

Сила, яка діє від рухомого складу залежить від багатьох факторів, але є прийняте максимальне значення, яке дорівнює 80 кПа. Тобто вважається, що напруження від рухомого складу не повинно перевищувати дане значення. Як правило це значення менше, але всі розрахунки відбуваються по це число.

Формула для визначення висоти умовного рухомого складу виглядає таким чином:

$$H_{q1} = \frac{P}{\gamma} = \frac{80}{20} = 4\text{м} \quad (3.3)$$

Два однакових стовпчики, які зображені на малюнку висотою кожен по 4 м це два умовних рухомих складу, котрі можуть рухатись одночасно по нашій двоколінійній ділянці. Тобто навантаження приймається вдвічі більшим. Ширину схематичного складу приймаємо рівною ширині залізобетонної шпали – 2.7 м.

Ще одне значення, яке було позначено, це відстань між осями рухомих складів, іншими словами це осі колії. Це значення дорівнює 4.1 м.

Знаючи усі ці значення ми отримали схематичне зображення навантаження від рухомого складу (рис.3.2).

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

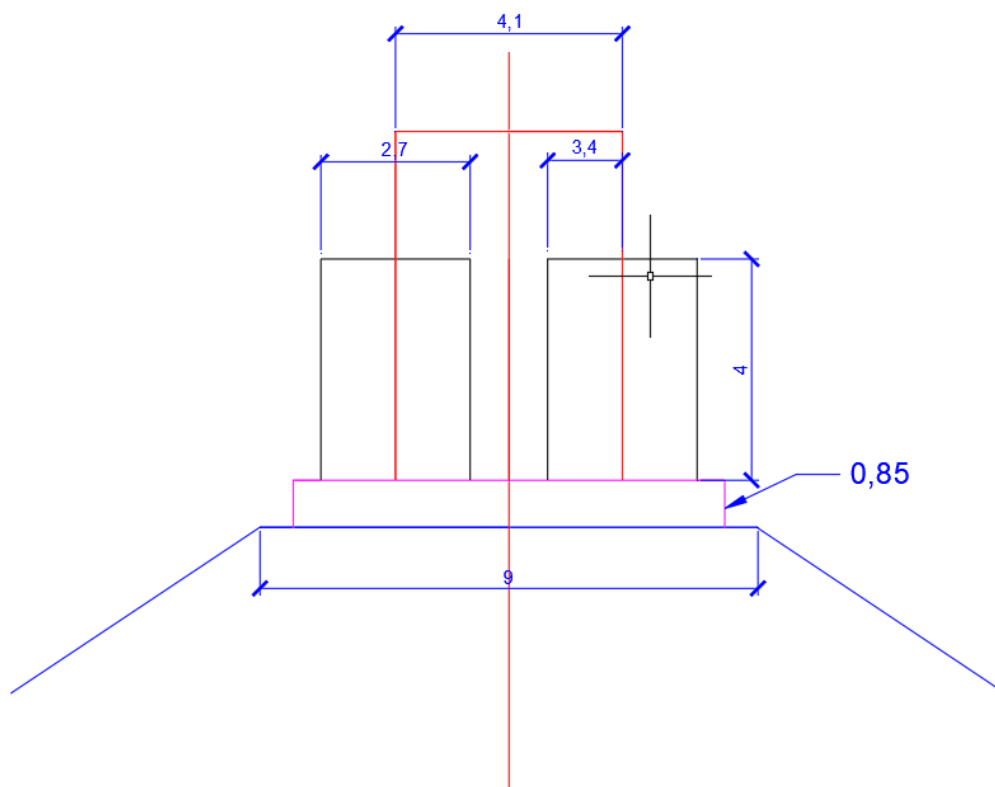


Рис. 3.2 Креслення обрису насипу.

Наступним етапом в моїх розрахунках є визначення координат для кожної точки де відбувається перелом. Для цього за допомогою програми AutoCad була побудована координатна сітка з координатами по осі Z (верх) та по осі Y (низ). Раніше побудований малюнок був перенесений на сітку та побудований по розмірам у масштабі 1:100. Координати будуть враховуватися зліва направо, так як початок малюнку має координати (0;0). Якщо з'єднати першу та останню точку, то ми отримаємо пряму косогірності насипу. Для зручності розрахунків визначені координати матимуть точність до однієї десятої.(рис. 3.3)

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

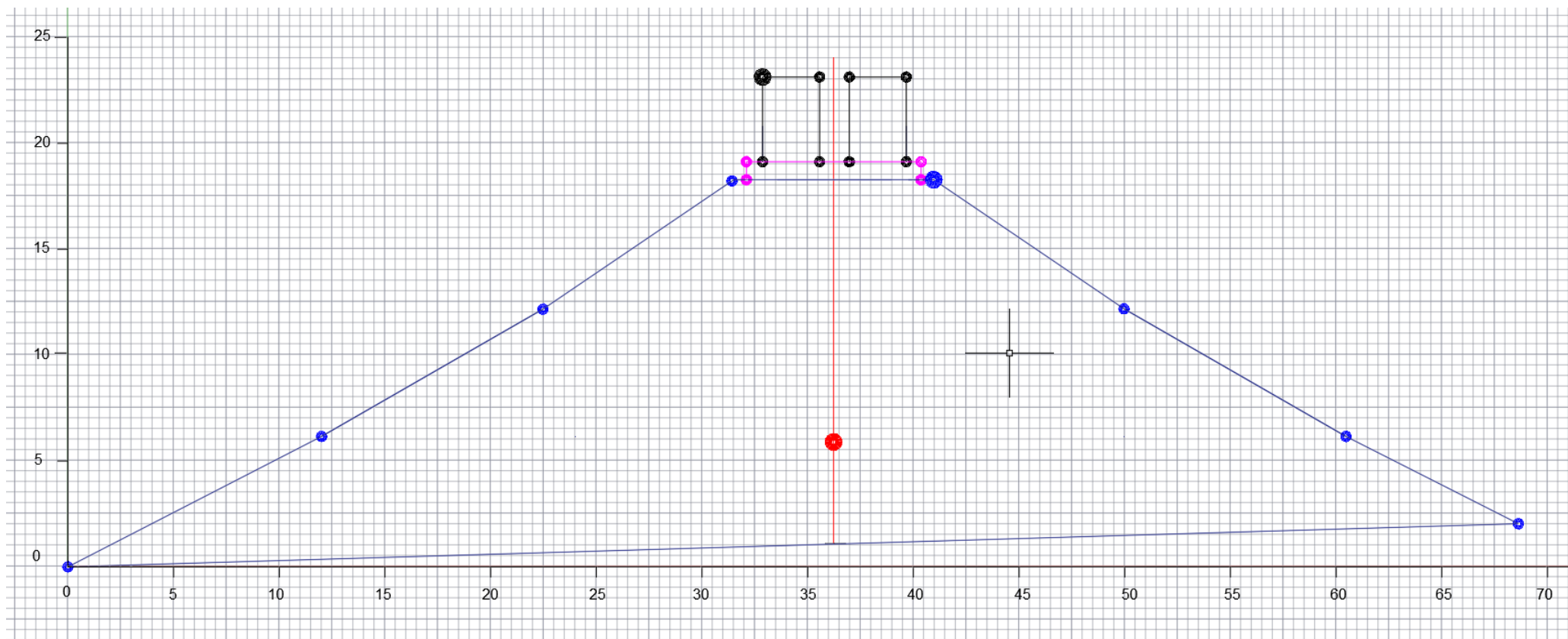


Рис. 3.3 Підготовка до on-line розрахунку стійкості насипу

3.2 Варіантні розрахунки стійкості насипу

Маючи в своєму арсеналі координати точок перелому, переходимо до наступної частини роботи, а саме до розрахунків стійкості відкосів насипу на спеціальному сайті. Адреса сайту <http://raildiit.somee.com/ZemPolotno.aspx> [32]. Цей сайт має ряд функцій та переваг таких як:

- легкість у використанні;
- розрахунок стійкості насипу;
- 2D моделювання насипу;
- варіативність результатів;
- досягнення умови стійкості завдяки зміні значень.

Кожен параметр, який необхідний для розрахунку стійкості насипу розраховується за формулами.

Об'ємна вага ґрунту визначається за відомою формулою механіки ґрунтів:

$$\gamma = \gamma_d \times (1 + W) \quad (3.4)$$

де γ_d – об'ємна вага сухого ґрунту;

W – природна вологість ґрунту, частки.

Значення γ_d знаходиться за формулою:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} \quad (3.5)$$

де γ_s – питома вага твердих частинок ґрунту (питома вага скелета ґрунту);

e – коефіцієнт пористості ґрунту.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як було написано мною раніше, то перевагою сайту є простість у використанні. Ось наприклад для початку розрахунків необхідно мати параметри, які можуть бути однаковими або схожими у будь-якого користувача, а ось в подальшому можна запросто їх змінювати. Щоб почати розрахунок достатньо всього натиснути три клавіші, які представлені на самому сайті (рис.3.4).

Назва розрахунку (текст)

Характеристики ґрунту тіла насипу:				П
об'ємна вага ґрунту	γ	кН/м ³	<input type="text" value="20"/>	
кут внутрішнього тертя	ϕ	град.	<input type="text" value="30"/>	
коефіцієнт зчеплення	C	кН/м	<input type="text" value="12.7"/>	
об'ємна вага обводненого ґрунту	$\gamma_{\text{в}}$	кН/м ³	<input type="text" value="9.9"/>	
Характеристики ґрунту основи насипу: *				
об'ємна вага ґрунту	$\gamma_{\text{осн}}$	кН/м ³	<input type="text" value="24.5"/>	
кут внутрішнього тертя	$\phi_{\text{осн}}$	град.	<input type="text" value="32.5"/>	
коефіцієнт зчеплення	$C_{\text{осн}}$	кН/м	<input type="text" value="14"/>	
Координати точки максимального рівня води:				
	$Y_{\text{в}}$	м	<input type="text" value="37,35"/>	
	$Z_{\text{в}}$	м	<input type="text" value="6"/>	
Ухил кривої депресії	I		<input type="text" value="0.1"/>	
Координати точки початку луча:				
	Y_{α}	м	<input type="text" value="33,95"/>	
	Z_{α}	м	<input type="text" value="22,85"/>	

* з урахуванням обводнення

Парметри кривої сповзання

Кут нахилу луча	α	град.	<input type="text" value="36"/>
Положення кривої сповзання:			
абсциса верхньої точки	Y_1	м	<input type="text" value="40"/>
абсциса нижньої точки	Y_2	м	<input type="text" value="0"/>

Крок інтегрування, м Розділювальний знак у таблиці ☒ [.] ☐ [,]

Рис. 3.4 Вихідні дані №1

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку на сайті потрібно ввести всі координати точок перелому в віконце справа від вихідних даних та натиснути кнопку «РОЗРАХУВАТИ» та «ПОКАЗАТИ РЕЗУЛЬТАТ» і тоді ми отримаємо 2D модель нашого насипу та результати, в якому прописаний коефіцієнт стійкості укосів насипу.

Координати обрису тіла земляного полотна (Y; Z), м:

0.0 0.0

12.0 6.0

22.5 12.0

31.5 18.0

32.85 18.0

32.85 18.85

33.95 18.85

33.95 22.85

36.65 22.85

36.65 18.85

38.05 18.85

38.05 22.85

40.75 22.85

40.75 18.85

41.85 18.85

41.85 18.0

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

43.2 18.0

52.2 12.0

65.7 6.0

Ці координати мають три спеціальні точки, які не були показані раніше і на даний момент їх можна побачити на малюнку (рис. 3.3). Червона точка знаходиться на осі насипу та показує рівень води, так як ґрунт внизу насипу може бути водонасиченим. Друга (чорна) та третя (блакитна) знаходяться по контуру в місцях звичайних переломних точок, але їх врахування дуже важливе.

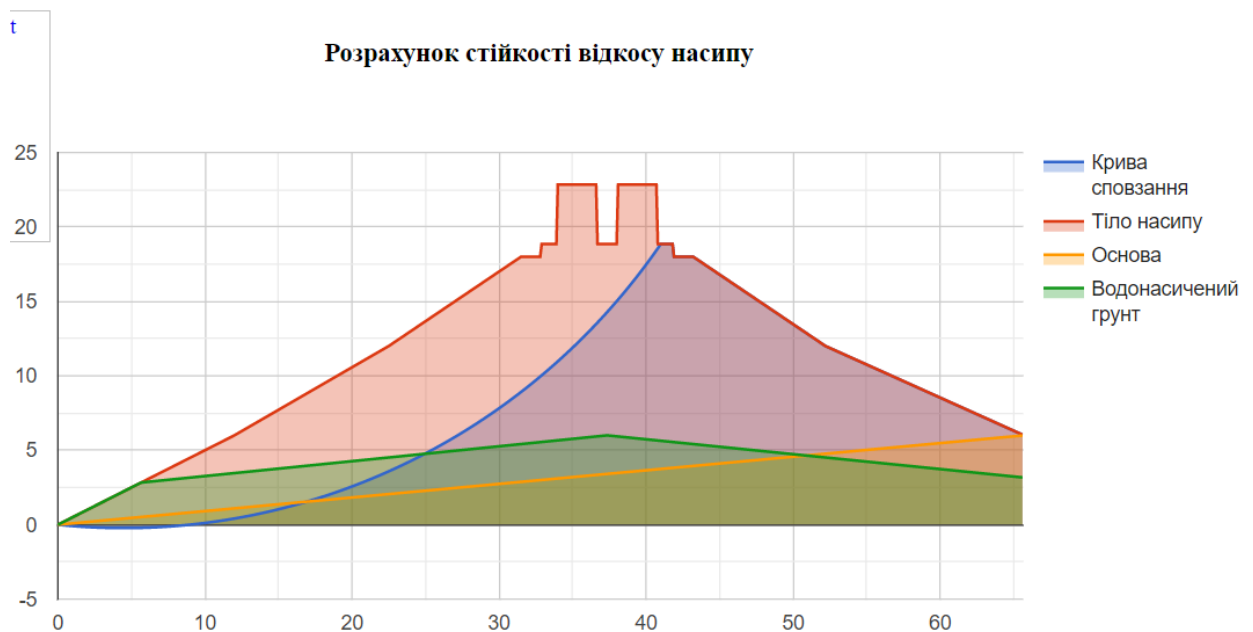


Рис. 3.5 Розрахунок стійкості укосів

Дивлячись на 2D модель ми бачимо криву сповзання ґрунту, яка є запорукою руйнування насипу. Тому наша задача на даний момент є за допомогою зміни значення «абсциса верхньої точки сповзання» зменшити поверхню сповзання та залишити насип стійким, задовольняючи умову стійкості $K > 1.2$.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Парметри кривої сповзання

Кут нахилу луча	α	град.	36
Положення кривої сповзання:			
абсциса верхньої точки	Y_1	м	40
абсциса нижньої точки	Y_2	м	0




Рис.3.6 Параметри кривої сповзання

Таблиця 3.2 Результати розрахунку відкосів насипу №1

alfa	Y1	Y2	R	Yc	Zc	w1	w2	w3	Q	Tзд	Tyтр	Fтер	Pзч	D	K
град.	м	м	м	м	м	м ²	м ²	м ²	кН	кН	кН	кН	кН	кН	
36.0	43.2	0.0	42.5	8.0	41.7	256.8	57.4	25.9	6338.0	2656.6	19.5	3161.8	611.3	81.7	1.39
36.0	44.2	0.0	41.7	9.6	40.5	277.5	64.0	38.4	7124.0	2838.7	38.5	3637.4	630.2	100.5	1.47
36.0	41.0	0.0	44.5	4.5	44.3	211.2	44.1	9.3	4887.4	2242.2	2.8	2320.8	568.5	52.3	1.26
36.0	40.0	0.0	48.3	-1.1	48.3	141.3	25.8	0.5	3094.9	1547.3	0.0	1390.0	538.7	25.9	1.23
36.0	39.0	0.0	49.7	-2.9	49.6	120.9	21.0	0.1	2627.6	1333.7	0.0	1181.3	514.7	20.7	1.25
36.0	39.5	0.0	49.0	-1.9	48.9	130.9	23.4	0.2	2855.6	1438.3	0.0	1282.6	526.7	23.1	1.24
36.0	39.7	0.0	48.7	-1.6	48.7	136.8	24.3	0.3	2985.5	1507.3	0.0	1342.1	530.8	24.2	1.22
36.0	39.8	0.0	48.6	-1.4	48.5	139.9	24.8	0.4	3052.5	1545.3	0.0	1362.9	534.5	24.7	1.21

Наприклад, беремо 43.2 та збільшуємо (44.2) – коефіцієнт зростає, значить йдемо в інший бік. При 41.0 – коефіцієнт зменшується. Значить потрібно спробувати 40, 30, 38 – поки не почне знову зростати.

Залежність К від Y1 зображено на графіку.

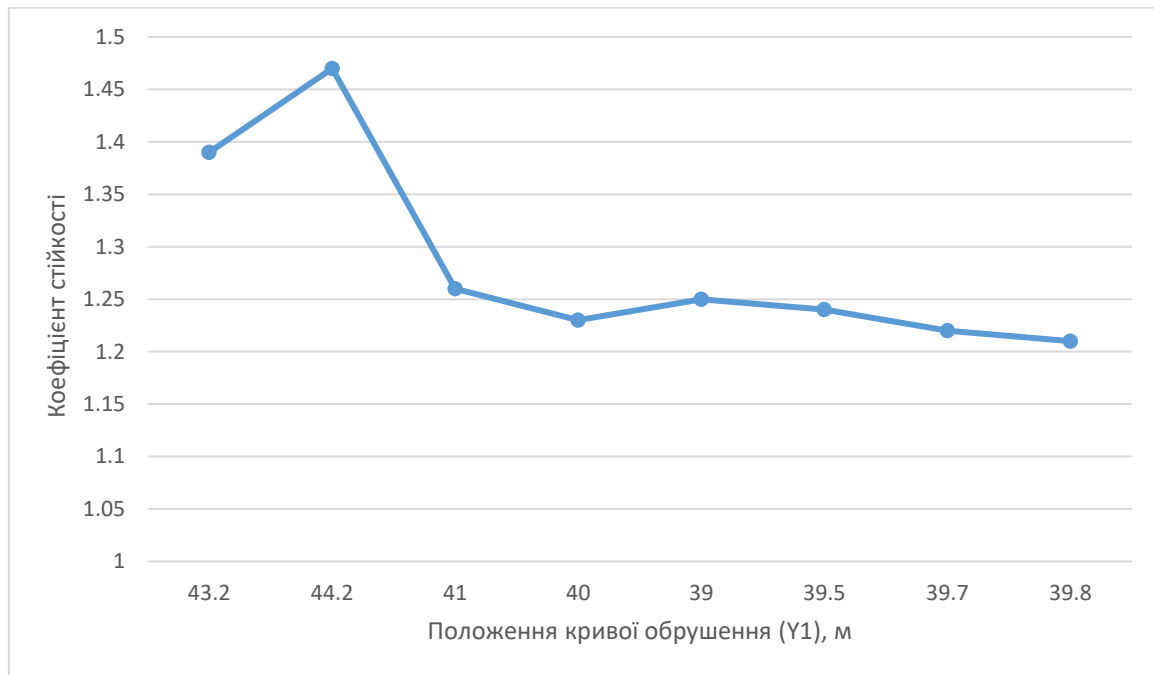


Рис. 3.7 Графік залежності К від Y1 №1

Змінюючи деякі значення можна отримати новий результат. Ось наприклад в даному варіанті буде змінено значення об'ємної ваги ґрунту (замість 20 кН/м^3 буде 30 кН/м^3). Задача даного розрахунку незмінна: досягти умови стійкості насипу $K > 1.2$, шляхом зміни значення «абсциси верхньої точки».

Назва розрахунку (текст)

Тестовий обрис

Характеристики ґрунту тіла насипу:			
об'ємна вага ґрунту	γ	кН/м ³	<input type="text" value="30"/>
кут внутрішнього тертя	ϕ	град.	<input type="text" value="30"/>
коефіцієнт зчеплення	C	кН/м	<input type="text" value="12.7"/>
об'ємна вага обводненого ґрунту	γ_B	кН/м ³	<input type="text" value="9.9"/>
Характеристики ґрунту основи насипу: *			
об'ємна вага ґрунту	$\gamma_{осн}$	кН/м ³	<input type="text" value="24.5"/>
кут внутрішнього тертя	$\phi_{осн}$	град.	<input type="text" value="32.5"/>
коефіцієнт зчеплення	$C_{осн}$	кН/м	<input type="text" value="14"/>
Координати точки максимального рівня води:			
	Y_B	м	<input type="text" value="37.35"/>
	Z_B	м	<input type="text" value="6"/>
Ухил кривої депресії			
	I		<input type="text" value="0.1"/>
Координати точки початку луча:			
	Y_α	м	<input type="text" value="33.95"/>
	Z_α	м	<input type="text" value="22.85"/>

Координати обрису тіла зем. полотна (Y; Z), м:

0	0
12	6
22,5	12
31,5	18
32,85	18
32,85	18,85
33,95	18,85
33,95	22,85
36,65	22,85
36,65	18,85
38,05	18,85
38,05	22,85
40,75	22,85
40,75	18,85
41,85	18,85
41,85	18
43,2	18
52,2	12
65,7	6

* З урахуванням обводнення

Рис. 3.8 Вихідні дані №2

Результати проведеного розрахунку представлені у таблиці.

Таблиця 3.3 Результати розрахунку відкосів насипу №2

alfa	Y1	Y2	R	Yc	Zc	w1	w2	w3	Q	Tзд	Tytp	Fтер	Pзч	D	K
град.	м	м	м	м	м	м ²	м ²	м ²	кН	кН	кН	кН	кН	кН	
36.0	30.0	0.0	57.6	-12.1	56.3	37.9	7.3	0.0	1210.8	604.5	0.0	570.7	374.7	7.2	1.55
36.0	35.0	0.0	57.1	-11.5	55.9	41.9	7.8	0.0	1334.3	674.1	0.0	627.0	473.6	7.6	1.61
36.0	25.0	0.0	61.4	-16.2	59.3	19.0	4.7	0.0	615.3	300.2	0.0	293.1	304.4	4.6	1.96
36.0	20.0	0.0	65.2	-20.0	62.0	8.5	3.0	0.0	284.3	136.4	0.0	136.9	237.6	3.0	2.69
36.0	40.0	0.0	48.3	-1.1	48.3	141.3	25.8	0.5	4508.1	2294.5	0.0	2018.5	538.7	25.9	1.1
36.0	45.0	0.0	41.1	10.8	39.6	290.8	69.2	50.3	10641.5	4288.6	62.6	5452.3	649.2	117.2	1.4
36.0	42.0	0.0	43.3	6.5	42.8	236.8	51.7	17.6	8046.5	3642.1	9.8	3881.0	589.7	68.0	1.21

За даними розрахунку будемо графік залежності К від Y_1 .

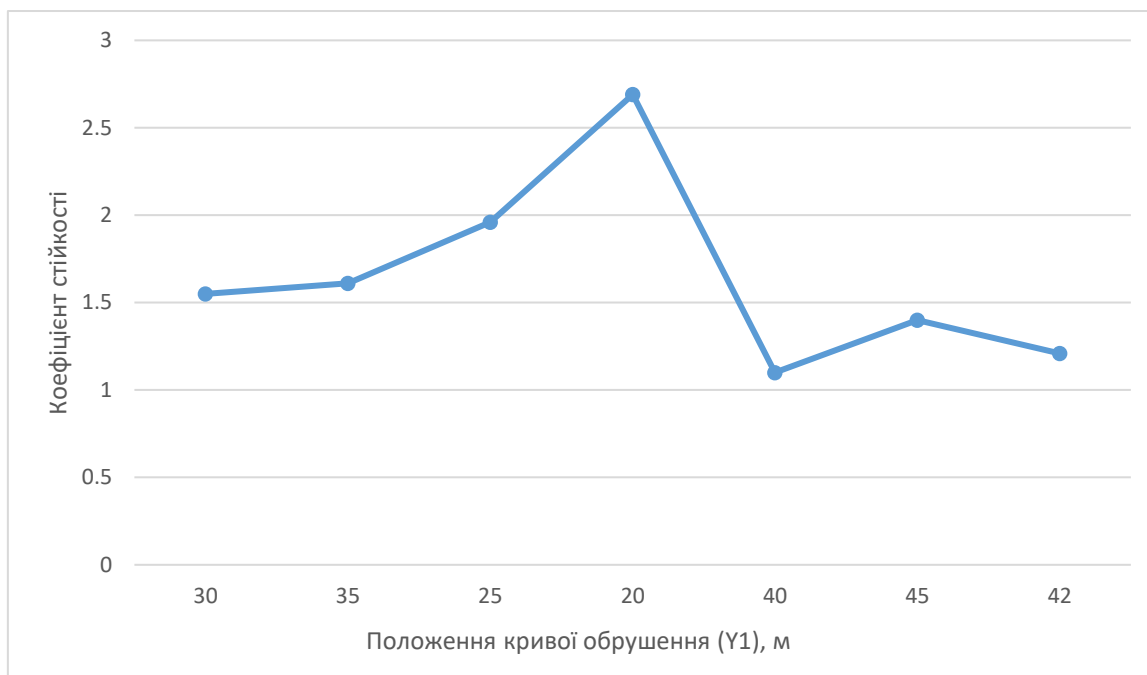


Рис. 3.9 Графік залежності К від Y_1 №2

Така зміна об'ємної ваги ґрунту приводить до недопустимого зниження коефіцієнту стійкості насипу.

Третій варіант розрахунку стійкості насипу полягає в тому, що буде проведена зміна значення куту внутрішнього тертя.

Назва розрахунку (текст)

Характеристики ґрунту тіла насипу:			
об'ємна вага ґрунту	γ	кН/м ³	<input type="text" value="20"/>
кут внутрішнього тертя	ϕ	град.	<input type="text" value="40"/>
коефіцієнт зчеплення	C	кН/м	<input type="text" value="12.7"/>
об'ємна вага обводненого ґрунту	$\gamma_{\text{в}}$	кН/м ³	<input type="text" value="9.9"/>
Характеристики ґрунту основи насипу: *			
об'ємна вага ґрунту	$\gamma_{\text{осн}}$	кН/м ³	<input type="text" value="24.5"/>
кут внутрішнього тертя	$\phi_{\text{осн}}$	град.	<input type="text" value="32.5"/>
коефіцієнт зчеплення	$C_{\text{осн}}$	кН/м	<input type="text" value="14"/>
Координати точки максимального рівня води:			
	$Y_{\text{в}}$	м	<input type="text" value="37.35"/>
	$Z_{\text{в}}$	м	<input type="text" value="6"/>
Ухил кривої депресії			
	I		<input type="text" value="0.1"/>
Координати точки початку луча:			
	Y_{α}	м	<input type="text" value="33.95"/>
	Z_{α}	м	<input type="text" value="22.85"/>

Координати обриску тіла зем. полотна (Y ; Z), м:

0	0
12	6
22,5	12
31,5	18
32,85	18
32,85	18,85
33,95	18,85
33,95	22,85
36,65	22,85
36,65	18,85
38,05	18,85
38,05	22,85
40,75	22,85
40,75	18,85
41,85	18,85
41,85	18
43,2	18
52,2	12
65,7	6

* З урахуванням обводнення

Рис. 3.10 Вихідні дані №3

Результати нового розрахунку занесені до таблиці

Таблиця 3.4 Результати розрахунку відкосів насипу №3

alfa	Y1	Y2	R	Yc	Zc	w1	w2	w3	Q	Tзд	Tytp	Fтер	Pзч	D	K
град.	м	м	м	м	м	м ²	м ²	м ²	кН	кН	кН	кН	кН	кН	
36.0	25.0	0.0	61.4	-16.2	59.3	19.0	4.7	0.0	425.7	205.4	0.0	293.2	304.4	4.6	2.85
36.0	27.0	0.0	60.0	-14.6	58.2	25.0	5.6	0.0	554.9	270.2	0.0	381.3	332.9	5.4	2.59
36.0	30.0	0.0	57.6	-12.1	56.3	37.9	7.3	0.0	831.4	410.3	0.0	567.4	374.7	7.2	2.26
1.36.0	35.0	0.0	57.1	-11.5	55.9	41.9	7.8	0.0	915.2	457.0	0.0	622.9	473.6	7.6	2.36
36.0	40.0	0.0	48.3	-1.1	48.3	141.3	25.8	0.5	3094.9	1547.3	0.0	1991.7	538.7	25.9	1.61
36.0	42.0	0.0	43.3	6.5	42.8	236.8	51.7	17.6	5678.7	2473.0	9.8	3533.6	589.7	68.0	1.63
36.0	44.0	0.0	41.8	9.3	40.8	271.5	62.7	35.7	6924.8	2779.2	34.0	4243.0	634.1	96.6	1.71
36.0	46.0	0.0	40.5	12.3	38.6	308.4	75.4	67.6	8571.3	3107.4	97.1	5150.0	672.8	140.3	1.82

36.0	50.0	0.0	39.0	17.4	34.9	366.9	94.2	162.5	12250.8	3664.3	371.4	7278.9	759.3	251.8	2.15
36.0	32.0	0.0	55.3	-9.6	54.5	54.0	9.7	0.0	1176.4	585.2	0.0	798.2	399.1	9.5	2.01
36.0	38.0	0.0	47.4	0.2	47.4	151.2	29.4	1.3	3345.9	1620.1	0.0	2150.7	496.8	30.1	1.6
36.0	39.0	0.0	49.7	-2.9	49.6	120.9	21.0	0.1	2627.6	1333.7	0.0	1709.3	514.7	20.7	1.64
36.0	39.5	0.0	49.0	-1.9	48.9	130.9	23.4	0.2	2855.6	1438.3	0.0	1848.0	526.7	23.1	1.62
36.0	39.8	0.0	48.6	-1.4	48.5	139.9	24.8	0.4	3052.5	1545.3	0.0	1958.7	534.5	24.7	1.59
36.0	40.2	0.0	48.0	-0.7	48.0	147.2	26.8	0.7	3227.0	1615.7	0.0	2074.7	542.9	27.0	1.59
36.0	41.0	0.0	44.5	4.5	44.3	211.2	44.1	9.3	4887.4	2242.2	2.8	3063.3	568.5	52.3	1.58
36.0	43.0	0.0	42.6	7.7	41.9	251.8	56.5	24.4	6192.1	2604.8	17.6	3816.8	610.9	79.3	1.66



Рис. 3.11 Графік залежності К від Y1 №3

Даний розрахунок потребував великої кількості перерахунків, для того щоб до наблизитися до мінімально дозволеного значення умови стійкості, але в свою чергу цього не вдалося зробити. Найменшим значенням розрахунку стало число 1,58, що не зовсім задовольняє умову стійкості. Насип під загрозою руйнування.

Повторно проводимо розрахунок стійкості насипу зі зміною значення «кут внутрішнього тертя», але в цей раз значення буде зменшено до 20. Тоді після цього буде порівняно два останніх розрахунки і обрано оптимальний варіант з них.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Назва розрахунку Zemopoltno (текст)

Тестовий обрис

Характеристики ґрунту тіла насипу:			
об'ємна вага ґрунту	γ	кН/м ³	20
кут внутрішнього тертя	ϕ	град.	20
коефіцієнт зчеплення	C	кН/м	12.7
об'ємна вага обводненого ґрунту	$\gamma_{\text{в}}$	кН/м ³	9.9
Характеристики ґрунту основи насипу: *			
об'ємна вага ґрунту	$\gamma_{\text{осн}}$	кН/м ³	24.5
кут внутрішнього тертя	$\phi_{\text{осн}}$	град.	32.5
коефіцієнт зчеплення	$C_{\text{осн}}$	кН/м	14
Координати точки максимального рівня води:			
	$Y_{\text{в}}$	м	37,35
	$Z_{\text{в}}$	м	6
Ухил кривої депресії			
	I		0.1
Координати точки початку луча:			
	Y_{α}	м	33,95
	Z_{α}	м	22,85

Координати обрису тіла зем. полотна (Y; Z), м:

0	0
12	6
22,5	12
31,5	18
32,85	18
32,85	18,85
33,95	18,85
33,95	22,85
36,65	22,85
36,65	18,85
38,05	18,85
38,05	22,85
40,75	22,85
40,75	18,85
41,85	18,85
41,85	18
43,2	18
52,2	12
65,7	6

* З урахуванням обводнення

Рис. 3.12 Вихідні дані №4

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 Результати розрахунку відкосів насипу №4

alfa	Y1	Y2	R	Yc	Zc	w1	w2	w3	Q	Tзд	Tyтр	Fтер	Pзч	D	K
град.	м	м	м	м	м	м ²	м ²	м ²	кН	кН	кН	кН	кН	кН	
36.0	30.0	0.0	57.6	-12.1	56.3	37.9	7.3	0.0	831.4	410.3	0.0	246.1	374.7	7.2	1.49
36.0	32.0	0.0	55.3	-9.6	54.5	54.0	9.7	0.0	1176.4	585.2	0.0	346.2	399.1	9.5	1.25
36.0	34.0	0.0	59.5	-14.2	57.8	27.1	5.8	0.0	599.4	292.6	0.0	178.9	467.4	5.7	2.17
36.0	33.0	0.0	54.8	-9.0	54.0	58.2	10.3	0.0	1265.3	629.1	0.0	371.1	413.5	10.1	1.23
36.0	32.5	0.0	54.4	-8.5	53.7	61.7	10.9	0.0	1341.1	666.3	0.0	391.7	398.8	10.7	1.17
36.0	32.7	0.0	54.0	-8.1	53.4	64.7	11.4	0.0	1407.8	698.7	0.0	411.0	398.8	11.2	1.14
36.0	32.9	0.0	55.0	-9.2	54.2	56.6	10.1	0.0	1231.9	612.6	0.0	361.4	413.5	9.9	1.24

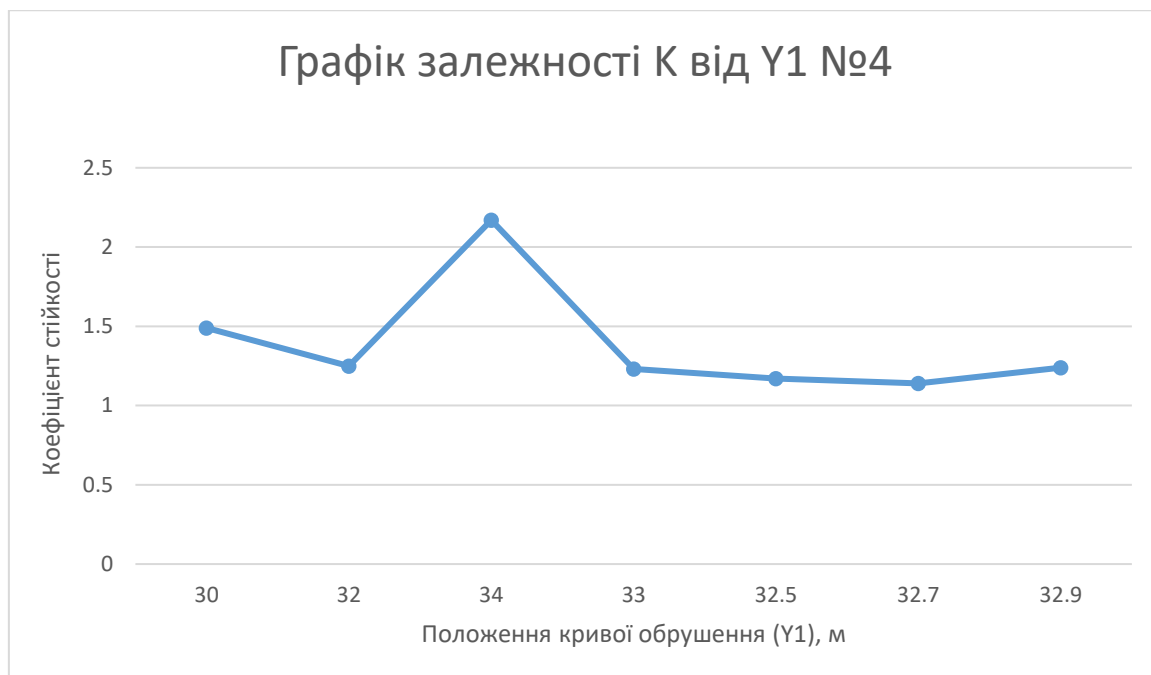


Рис. 3.13 Графік залежності K від γ_1 №4

Порівнюючи між собою результати двох розрахунків, можна зробити висновок, що кожне значення при проектуванні дуже важливе. Це видно на прикладі збільшення та зменшення числового значення кута внутрішнього тертя. Так, при зменшенні кута внутрішнього тертя до 20 град. при інших сталих значеннях коефіцієнт стійкості зменшується до 1,14, що є загрозою порушення стійкості насипу.

3.3 Висновки до розділу 3

Визначення коефіцієнту стійкості насипу за даною методикою потребує варіантних розрахунків для різного положення можливої кривої обрушення. Найменше з отриманих значень коефіцієнту стійкості відповідає найвірогідному обрису обрушення ґрунту. Якщо навіть для такого варіанту коефіцієнт стійкості перевищує 1,2 насип є стійкою. В протилежному випадку насип потребує укріплення або обмеження поїзного навантаження.

Як показали розрахунки, на стійкість насипу впливає багато факторів. Причому вплив окремих параметрів не є однозначним і залежить від комплексного співвідношення вихідних даних. Так, для насипу, що була розглянута, були проаналізовані такі показники ступеня ущільнення, як

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'ємна вага і кут внутрішнього тертя. Збільшення об'ємної ваги ґрунту приводить до зниження коефіцієнту стійкості, а збільшення куту внутрішнього тертя – до збільшення.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІДКОСІВ НАСИПУ

Головним завданням утримання земляного полотна є забезпечення справностей всіх елементів, які належать до нього, своєчасне виявлення несправностей та оперативне їх усунення.

Процес експлуатації це дуже відповідальна робота, тому повинен бути постійний контроль не тільки за земляним полотном, а також за спорудами, які відносяться до нього та одежею укосів. Для досягнення стійкості потрібно виконувати такі заходи: зведення споруд, ущільнення ґрунтів, застосування спеціального одягу або укріплення ґрунтів.

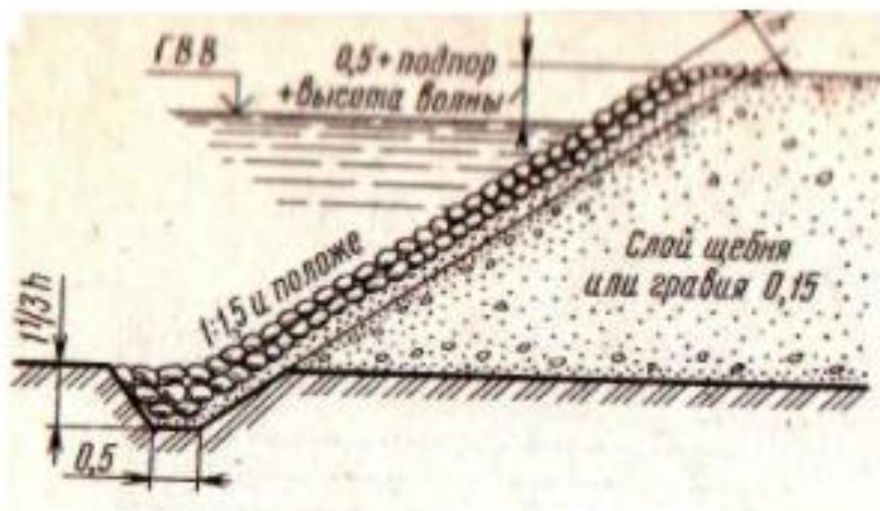


Рис.4.1 Мощення укосів

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

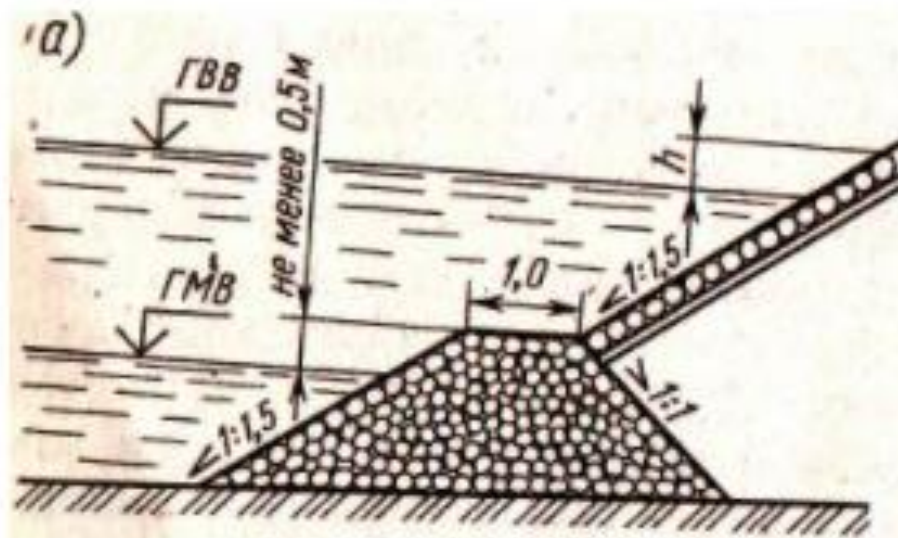


Рис.4.2 Кам'яні відсипи

Щоб такі фактори як: кліматичні зони та зміна погоди критично не впливали на міцність та стійкість земляного полотна, необхідно відсторонити земляне полотно від руйнівної сили води, яка в свою чергу є основною причиною деформацій та руйнування. Вода розмиває ґрунт під час злив або коли тане сніг. Тому відбувається насичення пор водою, що призводить до руйнування. Підземні води також грають велику роль, коли викликають просадки земляного полотна. Тому для таких випадків розумним рішенням є оснащення земляного полотна водовідвідними спорудами.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.3 Земляне полотно та захисні споруди.

Особливими вважаються умови, де земляне полотно розташовується в складних умовах, таких як: зонах постійної мерзлоти, заплавах річок, морських узбережжях та гірських районах, де можливі катастрофи пов'язані з обвалами та землетрусами і т. п.

При улаштуванні земляного полотна важливою вимогою є захист від зміни температур; стану ґрунту; дії вітрів, які видують сипучі та пиловаті ґрунти; вивітрювання гірських порід, які забезпечують більшу міцність для земляного полотна.

Як сильно би людство не любило природу та якою гарною вона б не була, все одно існує безліч природних факторів, які будуть супутніми на

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протязі всього часу, тому люди повинні приділити особливу увагу захисту побудов саме від природи.

Для запобігання перезволоження земляного полотна дуже важливо своєчасно виконувати роботу. Перед початком основних робіт насипи повинні бути висушені, для цього використовують канами, а при необхідності дренажи. Спорудження насипів та розробка виїмок повинно бути забезпеченим безперервним водовідведенням аби не допустити скупчення води поряд земляного полотна.

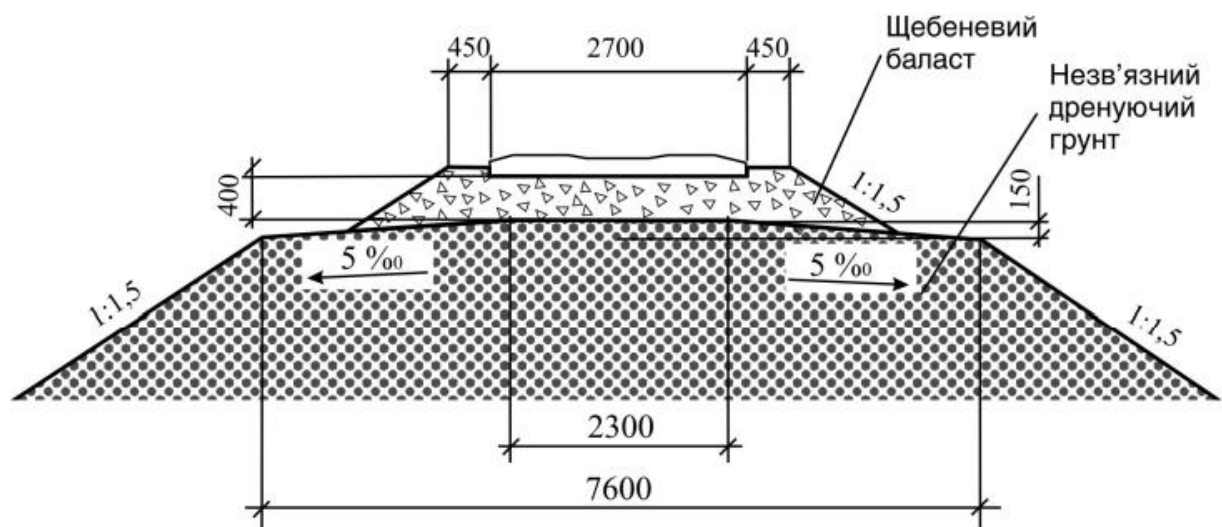


Рис. 4.4 Конструкція земляного полотна для одноколійного насипу

Не є виключенням модифікація конструкції нижньої будови колії (див. рис. 4.4), в якому досліджується варіація, що передбачає застосування геосинтетичних матеріалів за допомогою яких розділяється земляне полотно та баластовий шар. Рекомендація щодо цієї конструкції для земляного полотна з дренуючого ґрунту, являє собою сипіски або щебенева суміш з модулем деформації не менше 35 МПа. Укладка геосинтетичних матеріалів проводиться на основну площадку з модулем деформації. Після цього поверх геосинтетичних матеріалів укладають щебневий баласт і рейко-шпальну решітку.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Геосинтетичні матеріали та їх призначення

Матеріал	Умовно скорочена назва	Загальна характеристика	Сфера використання
Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (140)	Поверхнева щільність – 140 г/м ² . Розривне навантаження по довжині – 8,8 кН/м. Подовження при розриві – 80 %. Ширина – 180 см	Армування ґрунтів земляного полотна, розділення шарів ґрунту
Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (180)	Поверхнева щільність – 180 г/м ² , розривне навантаження по довжині – 11,7 кН/м, по ширині – 11,9 кН/м. Подовження при розриві – 82 %. Ширина – 180 см	Армування ґрунтів земляного полотна, розділення шарів ґрунту, дренажні систем
Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (250) 211 (380)	Поверхнева щільність – від 250 до 550 г/м ² , розривне навантаження –	Армування ґрунтів земляного полотна,

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		211 (470) 211 (550)	від 18,5 до 22 кН/м. Подовження при розриві – від 91 до 86 %	розділення шарів грунту
Поліфелт – геотекстильний нетканый матеріал		TS-10, TS-20, TS-30, TS-40, TS-50, TS-60, TS-70, TS-80	Подовжена щільність – від 17 до 28 г/м ² . Подовження при розриві – від 75 до 80 %. Розривне навантаження по довжині – від 9,5 до 25 кН/м	Будівництво залізниць, укріплення земляного полотна, розділення шарів грунту
Неткані голкопробивні полотнища Геоком*		Геоком Д-250, Д-330, Д-360, Д-450, Д-500	Поверхнева щільність – від 250 до 500 г/м ² . Товщина – 2,7...4,3 мм. Розривне навантаження по довжині – від 15,5 до 31 кН/м. Подовження при розриві – 65...95 %	Укріплення укосів земляного полотна, гідроізолюючі та дренажні прошарки
Polifelt Rock PEC – високоміцний		Polifelt	Поверхнева щільність – 280	Стабілізація насипів

Арк.

0053.160317.ДР.2021.001

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

композитний матеріал з нетканого голкопробивного гео- текстилю	Rock PEC 35, 75, 100, 200	г/м 2 . Міцність на розтягнення – 35 кН/м. Подовження при розриві – 13 %. Водопроникнення – 10...3 м/с	земляного полотна
Композитні фільтруючі мати Polifelt-F. Односторонній фільтр – геотекстиль	Polifelt – F80	Поверхнева щільність – 800 г/м 2 . Товщина – 0,5 мм. Розривне навантаження по довжині – 35 кН/м. Подовження при розриві і по довжині – 85 %. Водопроникнення – 10–3 м/с	Захист від ерозії ґрунту і фільтрування вод
Polifelt Polimat – тривимірний матеріал з поліпропіленових неорієнтованих моноволокон у вигляді трьохмірного мату	Polifelt Polimat 810	Поверхнева щільність – 400 г/м 2 . Міцність на розтягнення: по довжині – 1,8 кН/м 2 , по ширині – 0,9 кН/м 2 . Подовження при розриві: по	Армування укосів

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		довжині – 17 %, по ширині – 11 %	
Polifelt Rock – G – плоска георешітка 3 міцних поліефірних ниток 3 полімерним покриттям	Polifelt Rock G55/55 G80/80 G55/30	Поверхнева щільність – 330...470 г/м 2 . Міцність на розтягнення по довжині – 55...80 кН/м. Подовження при розриві – 15 %	Укріплення незв’язних ґрунтів в конструкціях земляного полотн
Kortex GT – геотекстиль	Kortex GT	Поверхнева щільність – 300...350 г/м 2 . Міцність на розтягнення в поздовжньому напрямку – від 35 до 100 кН/м	Підсилення земляного полотн
Armatex G – геосітка	Armatex G	Поверхнева щільність – 50 г/м ² . Міцність на розтяг в поздовжньому напрямку – від 15 до 100 кН/м. Подовження при розриві 15 %	Армування дамб, насипів, підсилення укосів, улаштування підпірних стін

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fortrec GR – георешітки	Fortrec GR	Висока несуча здатність, невелике подовження	Армування насипів, укріплення укосів
Тупар	Тупар	Поверхнева щільність – 250 г/м ² . Міцність на розрив – 4...29 кН/м. Подовження при розриві 60 % і більш	Розділення шарів грунту, дренаж й підсилення земляного полотн

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Надійність земполотна базується на проведенні аналізу стійкості та прийманні рішень щодо підвищення його стабільності. Аналіз стійкості земполотна, використовуючи аналітичні методи, є дуже складним завданням.

Програмний комплекс PLAXIS відомий серед інженерів забезпечує високі показники надійності, ефективності й економічності проєктованих споруд. Тому саме ця програма використовується у великій кількості наукових праць.

Під час дослідження методом кругло-циліндричних площин із використанням способів пошуку глобального мінімуму було виявлено, що площина коефіцієнта стійкості має чимало локальних мінімумів, а використання ручного підбору параметрів кривої може призвести до похибки у визначенні коефіцієнта стійкості насипу.

Як показали розрахунки, на стійкість насипу впливає багато факторів. Вплив окремих параметрів не є однозначним і залежить від комплексного співвідношення вихідних даних. Для насипу були проаналізовані такі показники ступеня ущільнення, як об'ємна вага і кут внутрішнього тертя. Збільшення об'ємної ваги ґрунту призвели до зниження коефіцієнту стійкості, а збільшення куту внутрішнього тертя – до збільшення. Тому можемо зробити висновок, що забезпечення стійкості насипу напряму залежить від розрахункових параметрів.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Петренко В.Д. Порівняльний аналіз стану двох варіантів посилення конструкції земляного полотна / Петренко В.Д., Гузченко В.Т., Тютюкін А.Л., Алхдур А.М.М. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. -Випуск 29. - С.107-111.
2. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука КазССР, 1987. 224 с.
3. Лучко Й. Й. Ґрунтознавство, механіка ґрунтів, основи та фундаменти: навч. посіб. Львів: Каменярь, 2013. 320 с.
4. Терцаги К. Теория механики грунтов /К. Терцаги; пер. с нем. И. С. Устевский; ред. пер. с нем. Н.А. Цытович. Москва: Госстройиздат, 1961. 507 с.
5. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. Москва: Гостехиздат, 1954. 275с.
6. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти:підручник / В. Б. Швець та ін. Дніпропетровськ: По роги, 2012. 197 с.
7. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Москва: Высшая шк., 1991. 447 с.
8. Taylor D. Stability of earth slope. Journ. of the Boston Society of civil Eng. 1937. Vol. 3.
9. Чугаев Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения. Энергия, Лен. отд-ние, 1967. 460 с.
10. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes, Sweden. 1954. Vol. 3. P. 43 49.
11. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique. 1955. Vol. 5. P. 7-17.
12. Morgenstern N. R. and Price V.E. The analysis of the stability of general – slip surface. Geotechnique. 1965. Vol. 15. P. 70-93.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Гольдштейн М. Н., Бабицкая С. С. Расчет устойчивости откосов с учетом ползучего сдвига. Вопросы геотехники. Москва: Транспорт, 1964. № 7. С. 83–95.

14. Гольдштейн М. Н. Вариационный метод решения задач об устойчивости грунтов. Вопросы геотехники: тр. ДИИТ. Днепропетровск, 1969. № 16.

15. Дорфман А. Г. Вариационный метод исследования устойчивости откосов. Вопросы геотехники. Днепропетровск, 1965. С. 17–25.

16. Маслов Н. Н. Условия устойчивости откосов склонов в гидротехническом строительстве. Москва: Госэнергоиздат, 1955. 53 с.

17. Шахунянц Г. М. Земляное полотно железных дорог. Вопросы проектирования и расчета. Москва: Трансжелдориздат, 1953. С. 828.

18. Шахунянц Г. М. К вопросу выбора рациональных методов расчета склонов. Оползни и борьба с ними: тр. Сев.-Кавказ. семинара. Ставрополь: Ставропольское книжное изд-во, 1964. С. 34–46.

19. Fellenius W. Calculation of the stability of earth dams. Proceeding of the Second Congress on Large Dams. 1936. Vol. 4. P. 445–463.

20. Michael Duncan J. Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Son. 2005. P. 297.

21. Morgenstern N. R. The analysis of stability of general slip surface. Geotechnique. 1965. Vol. 15. P. 70–93.

22. Bishop A. W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique. 1955. Vol. 5. P. 7–17.

23. Bishop A. W. Stability coefficients for earth slopes. Geotechnique. 1960. Vol. 10. P. 129–150.

24. Janbu N. Slope stability computation. Embankment-Dam Engineering, 1973. Casagrande volume. P. 47–86.

25. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1. Calgary, Alberta: GEO-SLOPE International Ltd., 2004. 396 p.

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Петренко В. Д., Тютюкін О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р. Результати досліджень стійкості укосів земляного полотна високих насипів за допомогою програми «ОТКОС». Українська залізниця. 2017. № 3–4 (45–46). С. 18–21.

27. ДБН В.2.3-19:2018 Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування. Київ: Мінрегіон України, 2018.

28. Патронова О. PLAXIS – інструмент інженера-геотехника. CADmaster. 2002. № 3. С. 62–65.

29. Ковальов В. В. Моделювання роботи залізничних споруд із застосуванням сучасних методів розрахунку. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2012. Вип. 11 (176). С. 30–34.

30. Патронова О. PLAXIS – інструмент інженера-геотехника. CADmaster. 2002. № 3. С. 62–65.

31. Ашпиз Е. С., Вавринюк Т. С. Расчет деформаций насыпей в районах мерзлоты. Мир транспорта. 2012. № 3. С. 102–107.

32. Розрахунок стійкості відкосу насипу. Режим доступу: <http://raildiit.somee.com/ZemPolotno.aspx>

					0053.160317.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

