

**ЗАЯВА**

Я, Анікеєва Анастасія Сергіївна  
(ПІБ повністю)

Студент групи КГ2021 (561)  
(шифр групи)

Спеціальності 273 Змішаний транспорт  
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Змішані споруди та калібри закладів  
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр  
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:  
Розробка заходів щодо збільшення несуттєвої збалансованості  
фінансових витрат.

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 ознайомена 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 20.12.2021

Підпис 

Керівник

Підпис \_\_\_\_\_

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Український державний університет науки і технології**

Кафедра “Транспортна інфраструктура ”

“ДО ЗАХИСТУ”

Завідувач кафедри

О.Л. Тютюкін

2021 р. “06” грудня

**ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**  
на здобуття ступені вищої освіти “магістр ”

**Спеціальність 273 – «Залізничний транспорт»**

**Спеціалізація - «Залізничні споруди та колійне господарство»**

Тема Розробка заходів щодо збільшення несучої здатності ґрунтів насипів

Theme Development of measures to increase the bearing capacity of embankment soils

Керівник дипломного проекту доцент

Андреев В.С.

Нормоконтроль

доцент  
(посада)

Арбузов М.А.  
(ПІБ)

Студентка групи КГ2021

Анікеєва А.С.  
(ПІБ)

Student

Anikeieva Anzhelika  
(Family name)

Дніпро  
2021

0053.160312.ДР.2021.001

Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	----------	--------	------

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи має 84 с., \_\_\_\_  
рис., \_\_\_\_ табл.

**Тема: Розробка заходів щодо збільшення несучої здатності ґрунтів  
насипів**

В даній магістерській роботі розглядаються методи збільшення міцностних параметрів ґрунтів насипів за допомогою геотекстильних матеріалів.

**Ключові слова: ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО, ДЕФЕКТИ, ДЕФОРМАЦІЇ, МЕХАНІКА ГРУНТІВ.**

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

	стор
<b>ВСТУП</b>	6
<b>1 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ. ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ ҐРУНТІВ</b>	8
1.1 Основні вимоги до земляного полотна	8
1.2 Надійність колії як складова залізничної системи	8
1.3 Постановка задач в механіці ґрунтів	15
1.4 Особливості деформування ґрунтів	22
1.5 Основні розрахункові моделі ґрунтів	29
1.6 Методи посилення та укріплення укосів земляного полотна	37
<b>2 ДЕФЕКТИ ТА ДЕФОРМАЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА</b>	41
2.1 Дефекти укісних частин земляного полотна	41
2.2 Деформації укісних частин земляного полотна	42
<b>3 ГЕОТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЯК АРМУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ УКОСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАСИПІВ</b>	52
<b>4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК АРМУЮЧОГО МАТЕРІАЛА ҐРУНТА</b>	74
4.1. ВИПРОБУВАННЯ ҐРУНТУ НА МІЦНІСТЬ	74
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	75
<b>БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК</b>	76
<b>ДОДАТОК А</b>	81

## ВСТУП

Земляне полотно залізничної колії переважно представлене насипами (80%). Але зважаючи на умови розташування насипу залізничної колії, як лінійної інженерної споруди, не завжди основа та тіло насипу має достатню міцність та надійність на протязі терміну експлуатації. У зв'язку з чим завжди є ризик у розрахунках не врахувати деякі чинники, або навпаки, що значно вплине на ресурсозбереження чи матеріалозбереження. Таким чином забезпечення стійкості укосу насипу та загальної стійкості насипу в цілому є актуальною задачею.

Питанням забезпечення стійкості укосів насипу залізничної колії займалися багато фахівців, крім того багато пропозицій запропоновано закордонними фахівцями. Загалом вони пропонують забезпечувати стійкість укосів за рахунок армування насипу. Але аналіз літературних джерел виявив залежність розрахункових методик від конкретних умов та використаних матеріалів. Також важливе значення має те, що методи розрахунку, які запропоновані закордонними фахівцями (наприклад з Англії, Італії, Німеччини тощо) в нашій країні не можуть бути застосовані. Це пов'язано з розбіжностями у методах розрахунків та експериментальних випробувань.

Таким чином виникає потреба в узагальненні та адаптації окремих особливостей різних розрахункових методик з метою отримання єдиної розрахункової моделі системи «насип-армуючий прошарок–основа» та «основна площадка-армуючий прошарок-баласний шар». Слід зауважити, що загальні деформації земляного полотна (і в тому числі стійкість укосів) не завжди пов'язані із слабкою основою. Це дозволяє припустити що застосування засобів підвищення стійкості укосів насипу важливо не тільки при наявності слабкої основи, а і при високих насипах, особливо за умов збільшення крутизни укосів з метою зменшення площі підшви насипу та економії будівельних матеріалів.

Робота армуючих прошарків у ґрунті залежить від виду ґрунту, типу армуючого матеріалу, форми споруди. Геотекстильні прошарки у високих

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насипах виконують армуючу функцію. Вони використовуються для поперечного армування насипу з метою підвищити загальну стійкість її укосів. Армуюча функція обумовлена здатністю геотекстильного прошарку поліпшувати умови роботи ґрунту на зрушення завдяки сприйняттю нею зусиль, що розтягують, тертю прошарку об ґрунт і зміни напруженого стану в ґрунтовому масиві.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# **1 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ. ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ ҐРУНТІВ**

## **1.1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

Земляне полотно - земляна споруда, що служить основою верхньої будови залізничної колії. Земляне полотно сприймає навантаження від рейкошпальної решітки, баласту та рухомого складу, рівномірно розподіляючи це навантаження на природний ґрунт з відповідним зменшенням переданого тиску. Земляне полотно повинно бути міцним, стабільним, забезпечене від деформацій і захищене від руйнівного впливу природних факторів.

Земляне полотно залізниць складається з насипів і виїмок, які сполучаються між собою нульовими місцями. До земляного полотна належать водовідвідні пристрої (кювети, лотки, нагірні і забанкетні канали, дренажі та ін.) необхідні для відводу води від насипів і виїмок, а також укріплювальні та захисні споруди (підпірні або вловлюючі стінки, берми, контрфорси тощо).

Крутизна укосів насипів і виїмок визначається залежно від властивостей ґрунтів, геологічних, гідрогеологічних, і кліматичних умов місцевості, намічуваних способів виробництва робіт, а також від висоти насипу і глибини виїмки.

Для додання стійкості укосів земляного полотна в залежно від роду споруди та швидкості руху води застосовуються наступні види укріплень: посіви багаторічних трав, одерновка, кам'яне або плитне мощення, посадка кущів, фашин, збірний чи монолітний бетон і залізобетон та ін.

## **1.2 НАДІЙНІСТЬ КОЛІЇ ЯК СКЛАДОВА ЗАЛІЗНИЧНОЇ СИСТЕМИ**

Мета залізничної системи – досягти певного рівня залізничних перевезень у встановлений термін безпечним чином. Сформовані єдині підходи підвищення рівня безпеки руху поїздів, професор М. В. Лисенко поєднав у чотири групи.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До першої віднесено методи, що запобігають виникненню небезпечних помилок технічного персоналу та відмов технічних пристроїв на етапі підготовки (персонал) або проектування (технічні пристрої).

Друга група – методи парирування небезпечних помилок та відмов. До них відносяться системи: автоблокування, дефектоскопії рейок, контролю геометричних параметрів рейкової колії та ін. Функціонування цих систем направлено на виявлення небезпечних помилок персоналу та відмов технічних пристроїв.

Третя група методів пов'язана зі зниженням впливів виникнення факторів, що вражають (механічні впливи елементів рухомого складу та ін.) на пасажирів, технічний персонал та вантажі шляхом запобігання або зниження цього впливу.

До методів четвертої групи, що дозволяють захист вантажів, що перевозяться від впливу вражаючих факторів, наприклад, методи захисту днищ котлів цистерн. Надійність колії характеризує її здатність забезпечити безперервний пропуск поїздів з установленою швидкістю у заданих умовах експлуатації, поточного утримання та й ремонтів.

Надійність є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкту та умов його застосування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережуваність або певне поєднання цих властивостей. Функціональна безпека залізничної колії характеризує її здатність забезпечувати безперебійний пропуск поїздів безпечно, тобто без виникнення небезпечних відмов. Функціональна безпека розглядає небезпечні відмови виходячи зі структурно-технічних особливостей залізничної колії, комплексу заходів, що направлені на забезпечення безпеки, а також впливу людського фактору.

Технічне поняття надійності ґрунтується на знаннях:

1) безвідмовності з точки зору:

- всіх можливих видів системних відмов в залежності від особливостей застосування та зовнішнього середовища;

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- ймовірності виникнення кожної відмови або, як альтернатива, інтенсивності виникнення кожної відмови;

- вплив відмови на функціональні можливості системи;

2) ремонтпридатності з точки зору:

- часу виконання запланованого технічного обслуговування;

- часу виявлення, розпізнавання та локалізації несправностей;

- часу відновлення системи що відмовила (позапланове технічне обслуговування);

3) довговічності з точки зору:

- критеріїв граничного стану системи;

- середнього терміну служби системи;

4) експлуатації та технічного обслуговування з точки зору:

- усіх можливих режимів експлуатації і необхідності технічного обслуговування в процесі життєвого циклу системи;

- питань людського фактору.

Технічне розуміння безпеки засноване на знанні:

1) всіх можливих небезпечних ситуацій в системі при всіх режимах експлуатації, технічного обслуговування і зовнішнього середовища;

2) характеристики кожної небезпечної ситуації з урахуванням тяжкості наслідків;

3) безпеки і відмов, пов'язаних з безпекою з точки зору:

- усіх видів системних відмов, які можуть призвести до небезпечної ситуації (види відмов, пов'язані з безпекою). Це підмножина всіх видів відмов, що відносяться до безвідмовності;

- ймовірності виникнення кожного виду системної відмови, пов'язаної з безпекою;

- послідовності та / або збігу подій, відмов, експлуатаційних станів, умов середовища і т.д. в процесі застосування, які можуть привести до аварії (тобто до небезпечної ситуації, яка призводить до аварії);

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- імовірності виникнення кожної з подій, відмов, експлуатаційних станів, умов середовища і т.д. в процесі застосування;

4) ремонтпридатності частин системи, пов'язаних з безпекою, з точки зору:

- зручності проведення технічного обслуговування тих сторін, частин або компонентів системи, які пов'язані з небезпечними ситуаціями або видами відмов, пов'язаних з безпекою;

- імовірності виникнення помилок при проведенні технічного обслуговування частин системи, пов'язаних з безпекою;

- часу відновлення системи до стану, що відповідає правилам безпеки;

5) експлуатація та технічне обслуговування частин системи, пов'язаних з безпекою, з точки зору:

- впливу людського фактору на ефективність технічного обслуговування всіх частин системи, пов'язаних з безпекою, і на безпечну експлуатацію системи;

- застосування засобів, устаткування і заходів для ефективного технічного обслуговування частин системи, пов'язаних з безпекою, а також для безпечної експлуатації;

- ефективного контролю та заходів для усунення небезпечної ситуації та зменшення її наслідків.

До показників надійності залізничної колії відносяться:

1) параметри показника безвідмовності:

- середнє напрацювання на відмову;
- параметр потоку відмов знову введеної залізничної колії;
- параметр потоку відмов після проведення запланованого ремонту;
- імовірність безвідмовної роботи;
- імовірність відмов;
- імовірність перед відмов;

2) параметри показника ремонтпридатності:

- середній час простою;

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- середній час до відновлення;
- середнє напрацювання між видами планово-попереджувальним технічним обслуговуванням;

- середнє напрацювання між видами планових ремонтів;
- середня тривалість технічного обслуговування даного виду;
- середня тривалість ремонту даного виду;
- середня сумарна тривалість технічного обслуговування;
- середня тривалість ремонту;
- питома сумарна тривалість технічного обслуговування;
- питома сумарна тривалість ремонту;
- середня трудомісткість технічного обслуговування даного виду;
- середня трудомісткість даного ремонту;
- середня сумарна трудомісткість технічного обслуговування;
- середня сумарна трудомісткість даного ремонту;
- питома сумарна трудомісткість технічного обслуговування;
- питома сумарна трудомісткість даного ремонту;

3) параметри показника довговічності:

- середній термін служби;
- гама-процентний термін служби;
- середній ресурс;
- гама-процентний ресурс;

4) комплексні показники :

- коефіцієнт готовності;
- коефіцієнт оперативної готовності;
- коефіцієнт технічної готовності;
- коефіцієнт простою.

До показників функціональної безпеки залізничної колії відносяться: середнє напрацювання до небезпечної відмови; інтенсивність небезпечних відмов; імовірність безпечної роботи; імовірність небезпечної відмови; середній час повернення до безпечного стану.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, надійність колії та її безпека пов'язані між собою, та повинні базуватись на одних теоретичних засадах. Та враховуючи, що функціональна безпека є складовою надійності колії, повинно мати нормативні критерії, що поєднують між собою технічні, організаційні та економічні аспекти. Методологічну систему стосовно роботи колії необхідно створювати тільки при розгляді взаємодії надійності, безпеки і вартості життєвого циклу деформативної роботи колії.

Надійна робота колії передбачає сумісну надійну роботу конструкції колії, технічних пристроїв і технічного персоналу, що виконує контроль та виконання робіт. Весь процес надійної роботи колії відповідає нормативно-правовим, організаційно-розпорядним, організаційно-технологічним та технічним вимогам.

Надійна робота конструкції колії передбачає як надійну роботу кожного елементу окремо, так і надійну роботу системи з цих елементів. Тобто, необхідно на базі норм стосовно стану кожного елементу мати базу норм стосовно стану системи з цих елементів, яка є базою для розробки критеріїв, дотримання яких забезпечують надійну роботу колії.

Окрім того, в нормативній літературі існує проблема з визначенням стану земляного полотна, так як застосований термін «здорове» земляне полотно відповідає модулю пружності підрейкової основи значенням 50 МПа влітку та 75...80 МПа взимку, які застосовано: при визначенні напружень в елементах колії; при розрахунках умов укладання рейкових плітей безстикової колії; при визначенні допустимих швидкостей руху; при визначенні епюри шпал в конструкції колії.

Таким значенням модуля пружності залізнична колія відповідає, якщо її ділянки розташовані на земляному полотні з модулем деформації більше ніж 40МПа, тобто, земляне полотно складається або зі скельних ґрунтів, або з сухих, ущільнених за нормами: супісків; легких суглинків; середніх глин; важких глин.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В інших випадках, модуль пружності не відповідає вхідним умовам зазначених розрахунків. Таким чином, щоб виконати умови міцності та стійкості необхідно привести стан колії до виконання умов ПТЕ (нормувати жорсткість колії як це застосовано на залізницях Європи, Японії та Америки). Значення фактичного модуля пружності підрейкової основи колії в літку для конструкцій коливається в межах 7,4...69,6 МПа. Значення середнього модуля пружності приблизно 27 МПа. Необхідно розуміти, що це майже у два рази (1,85) нижче, ніж потрібно за вихідними умовами, тому наслідками будуть збільшення коливань колії під впливом рухомого складу, в середньому, в вертикальній площині на 67%, і в горизонтальній – на 24%.

Для недопущення надмірних силових дій на колію, тобто, при виконанні умов утримання колії і рухомого складу в справному та несправному, але працездатному стані не було додаткових силових впливів в системі колія-екіпаж-колія, лише можливо при умові рівно пружності колії.

Так, враховуючи різний вплив на колію вантажних та пасажирських поїздів: при перших коливаннях більш амплітудні з меншою частотою на малій відстані – короткі хвилі з великою амплітудою, при других вібраційні (менш амплітудні та з більшою частотою) на великих довжинах – довгі хвилі з маленькими амплітудами, - це дасть ефект, який не значно вплине на показники надійності безвідмовності та довговічності без усунення основної причини – накопичення залишкових деформації при експлуатації не міцної, не стійкої, не рівнопружної колії.

При відновленні стану земляного полотна необхідно ввести норми стосовно пружності залізничної колії. Без введення таких норм неможливе визначення параметрів захисних шарів, за допомогою яких можливе відновлення стану земляного полотна.

І ще є один надзвичайно важливий фактор, який необхідно враховувати: це відсутність паспортизації земляного полотна. Враховуючи, що земляне полотно було споруджено біля 150 років тому і відновлення водовідвідних споруд не проводилось за визначеними нормами, його стан

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потребує негайного відновлення. Але без знань стосовно складових конструкції земляного полотна, тобто з яких шарів ґрунту воно побудовано, не можливе встановлення способу його відновлення.

### 1.3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ В МЕХАНІЦІ ҐРУНТІВ

На відміну від усіх інших матеріалів, ґрунти є тілами природнього, рідше штучного походження із складною історією виникнення і подальшої зміни. Основною їх відмінною особливістю є несплошність (роздрібленість, дискретність) будови, а у багатьох випадках, наприклад, глинисті ґрунти, дуже дрібна роздріблена (дисперсність) аж до колоїдних розмірів часток. Багатокомпонентний склад ґрунтів, їх пористість, водонасиченість, структурні зв'язки між частками, складна взаємодія різних компонентів один з одним призводять до особливих властивостей цих матеріалів, що істотно відрізняються від властивостей конструкційних матеріалів.

Масиви ґрунтів, що є основою споруд, формуються в різних геолого-географічних умовах, постійно випробовують дію природних і техногенних процесів. Це породжує величезне різноманіття їх будови і стану. На відміну від конструкційних матеріалів, склад яких підбирається технологами так, щоб забезпечити необхідні властивості, ґрунти кожного будівельного майданчика мають свої властивості, що вимагають кожного разу їх самостійного вивчення.

Процеси, що протікають в них, видозмінюють стан і властивості ґрунтів. Вони можуть бути дуже повільними, так що до початку будівництва масив ґрунтів може розглядатися наче він знаходиться в рівноважному стані. У інших випадках (наприклад, при будівництві на територіях, ущільнення яких триває) процеси, що виникають в результаті будівництва споруд, накладатимуться на процеси, що протікають власне в масиві ґрунтів.

В результаті будівництва споруди, початковий стан основи порушується і в ґрунтах виникають нові процеси. Ґрунти (скельні, великоуламкові, піщані, порохняно-глинисті) в різному стані по тріщинуватості, щільності, вологості неоднаково реагують на одні і ті ж

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, і процеси, що протікають в них, призводять до різних результатів. Вони можуть викликати зміщення окремих часток, що призводять до їх щільності або рихлості (ущільнення і розущільнення ґрунту), до виникнення в паровій воді різниці натисків і її руху (фільтрація води в ґрунті), до великих взаємних переміщень однієї частини основи відносно іншої (руйнування ґрунтів основи).

Стан і властивості ґрунтів в основі добудованої споруди також можуть мінятися в процесі експлуатації (ущільнення від навантажень, що передаються спорудою; зміна режиму вологості при коливанні рівня підземних вод; відтавання вічної мерзлоти в основі і т. д.). Будівництво нових споруд поряд з існуючими, ведення підземних робіт, реконструкція споруд і т.д. призводять до додаткових дій на ґрунті основи вже побудованих споруд. В результаті в ґрунтах можуть знову розвиватися процеси, що ускладнюють експлуатацію споруд.

Таким чином, ґрунти основи не лише мають особливі властивості, але і постійно (до будівництва, під час будівництва і в процесі експлуатації споруди) випробовують різного роду дії, що змінюють їх стан і властивості. Це викликає необхідність розробки абсолютно іншого підходу до досліджень, розрахунків і проектування підстав, чим прийнятий в інженерній практиці для конструкційних матеріалів. Сказане повною мірою може бути віднесене і до тих випадків, коли ґрунти є матеріалом споруди або середовищем, в якому воно зводиться.

Для надійного і економічного проектування споруд необхідно уміти визначати зміну напружень в ґрунтах основи в результаті будівництва, оцінювати, чи буде забезпечена міцність ґрунтів при такій зміні напруги і які в результаті виникнуть деформації основи. У кінцевому результаті загальне завдання, полягає в розрахунках напружено-деформованого стану ґрунтів, що взаємодіє із спорудою, оцінці їх міцності і стійкості. Проте із-за вказаних вище особливостей поведінки ґрунтів в основі споруд звичайний підхід будівельної механіки для вирішення цього завдання виявляється недостатнім,

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виникає необхідність розробки такої моделі ґрунту, яка враховувала б основні особливості його деформації, і такого апарату аналізу, який дозволяв би прогнозувати процес, що відбувається в ґрунтах основи. Для цих цілей можуть бути використана модель дискретного середовища або модель суцільного середовища.

У першому випадку робиться спроба відобразити в розрахунковій моделі фізичні особливості ґрунту як дискретного матеріалу, представляючи його у вигляді сукупності окремих часток - куль, дисків, балочок і т. д. (роботи Г. И. Покровського, И. И. Кандаурова, Р. Роу та ін.). Проте розвиток цього напрямку зустрічається з великими складнощами і доки ще не привело до створення теорії деформації ґрунтів. Сучасна механіка ґрунтів ґрунтується на уявленнях про ґрунти як про однорідне середовище, що деформується.

Така концепція сплощеності речовини, хоча і суперечить уявленням про атомну будову матерії, є основним правилом механіки суцільного середовища. Це забезпечило розробку потужного математичного апарату з єдиним підходом до вивчення усіх твердих тіл, рідин і газів.

Стосовно ґрунтів концепція сплощеності була відкрита ще в 30-х роках нашого століття класичними роботами К. Терцаги, Н. М. Герсєванова, В. А. Флоріна, Н. А. Цитовича і успішно розвивається в нашій країні і за кордоном. Проте ця будова ґрунту, найважливіша з тих, які розглядаються нижче.

По-перше, вводиться поняття елементарного об'єму ґрунту, тобто об'єму, лінійний розмір якого у багато разів перевищує лінійний розмір часток або агрегатів, що складають цей ґрунт. Тоді поняття напруги і деформацій відносяться вже не до точки як в механіці суцільного середовища, а до майданчиків, що відповідають елементарному об'єму. Крім того, розміри зразка ґрунту для експериментального визначення характеристик його механічних властивостей в припущенні сплощеності матеріалу мають бути значно більше лінійного розміру елементарного об'єму.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



По-друге, застосування апарату механіки суцільного середовища для розрахунків напруги і деформацій в масиві ґрунту опиниться справедливим тільки в тих випадках, коли розміри масиву і розміри майданчиків, через які передаються навантаження на масив, значно більше розміру елементарного об'єму ґрунту.

У більшості випадків (для піщаних і глинистих ґрунтів) ці умови завжди виконуються. Дійсно, легко підрахувати, що в  $1\text{см}^3$  піску середньої великості буде міститися близько 50 тис. окремих часток. Отже, майданчики, до яких відносяться напруга і деформації, матимуть розміри менше 1 см, а зразок для випробування ґрунту, щоб неоднорідності окремих часток не впливали на його властивості, може мати розміри в декілька сантиметрів. Значно обережніше слід відноситися до використання моделі суцільного середовища у разі велико-уламкових і тріщинуватих скельний ґрунтах. Тут вже може знадобитися проведення випробувань з дуже великими зразками або навіть перехід до великомасштабних польових дослідів.

Іншим важливим спрощенням реальної будови ґрунту є представлення його у вигляді ізотропного тіла, тобто тіла, у якого властивості зразків, вирізаних по будь-якому напрямку однакові. Ця умова застосована не до усіх різновидів ґрунтів. Проте застосування апарату механіки анізотропних середовищ до розрахунків таких ґрунтів пов'язане з дуже великими труднощами.

При проектуванні відповідальних споруд використовуються і складніші моделі. До них відносяться модель двокомпонентного ґрунту (модель ґрунтової маси, коли усі пори практично заповнені водою і зміст газу в ґрунті відносно невеликий) і модель трикомпонентного ґрунту (коли в ґрунті є присутніми усі три компоненти: тверді частки, рідина і гази). Тут вже береться до уваги різна деформованість кожного компонента, взаємодія їх між собою і зміна кількісного змісту кожного компонента в одиницю об'єму ґрунту в процесі його деформації.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механіка ґрунтів є прикладною дисципліною, яка вивчає і кількісно описує механічні процеси, що протікають в ґрунтах в результаті будівництва.

Склад завдань, які доводиться при цьому вирішувати, дуже широкий і різноманітний. Реакція різних видів ґрунтів на дії при будівництві також дуже різноманітна. Проте механіка ґрунтів як наукова дисципліна містить єдиний методологічний підхід до рішення усіх цих завдань незалежно від виду і стану ґрунтів.

Загальним методом механіки ґрунтів, як і взагалі механіки суцільного середовища, що деформується, є рішення крайових завдань, тобто спільне рішення рівнянь рівноваги, геометричних співвідношень або отримуваних з них рівнянь нерозривності і фізичних рівнянь за заданих крайових (початкових і граничних) умов.

Це дозволяє визначити напружено-деформований стан у будь-якій точці масиву ґрунту і кінець кінцем оцінити міцність ґрунту в цій точці, стійкість масиву і споруди, що взаємодіє з ним, і прийняти оптимальне рішення про будівництво споруди.

Рівняння рівноваги і геометричні співвідношення справедливі при будь-якому законі деформації ґрунту. Оскільки саме фізичні рівняння встановлюють зв'язок між напругою і деформаціями, тобто визначають особливості напружено-деформованого стану ґрунту, їх часто називають визначальними рівняннями або рівняннями стану. Залежно від складності завдання (класу відповідальності споруди, особливостей деформації ґрунтів) рішення механіки ґрунтів можуть бути і дуже складними, і відносно простими.

Наприклад, при проектуванні підстав і фундаментів реакторного відділення або платформи для видобутку нафти на шельфі із-за дуже великих розмірів споруд, складних навантажень і дій, жорстких технологічних вимог до експлуатації цих споруд, небезпеці аварійних наслідків знадобляться складніші рішення, ніж при проектуванні підстав і фундаментів типової

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

будівлі. Відповідно і рівняння стану для цих завдань повинні будуть в різній мірі враховувати усю повноту процесів, що відбуваються в ґрунтах основи.

Правильний вибір виду рівнянь стану для конкретних умов є одним з основних завдань механіки ґрунтів. З цією метою проводяться експерименти, що виявляють особливості деформації ґрунтів під навантаженням, і з використанням тієї або іншої розрахункової моделі ґрунту дається математичний опис результатів цих експериментів. Таким чином, рівняння стану мають феноменологічний характер.

Мірою кількісної оцінки напружено-деформованого стану масиву ґрунтів є напруга, деформації і переміщення, що виникають в ньому від дії зовнішніх (навантаження від споруди) і внутрішніх (масових) сил.

З урахуванням викладеного вище, поняття про напругу, деформації і переміщення в ґрунтах відповідають загальним поняттям механіки суцільного середовища.

Тоді напружено-деформований стан в точці масиву цілком визначений, якщо відомі три компоненти нормальних ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ) і три пари дотичної  $\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$  напруги, три компоненти лінійних  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  і три пари кутових  $\gamma_{xy} = \gamma_{yx}, \gamma_{xz} = \gamma_{zx}, \gamma_{yz} = \gamma_{zy}$  деформацій і три компоненти переміщень ( $u, v, w$ ). Оскільки ґрунти, як правило, дуже погано працюють на розтягування, в механіці ґрунтів на відміну від механіки суцільного середовища стискаюча напруга приймається зі знаком плюс, а що розтягують - зі знаком мінус.

При визначенні напружено-деформованого стану ґрунту часто користуються поняттями головної напруги і головних деформацій, не залежних (інваріантних) від вибору положення осей координат  $x, y, z$ . Нагадаємо, що головною нормальною напругою називається нормальна напруга, віднесена до головних майданчиків, на яких дотична напруга дорівнює нулю. При цьому завжди приймається, що  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . Знаючи головну нормальну напругу, можна визначити і головну дотичну напругу, що діє на майданчиках, де вони досягають найбільших значень:

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \tau_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}, \tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad (1.1)$$

Аналогічним чином можна визначити і головні деформації. Зв'язок між головною напругою, головними деформаціями і відповідними компонентами напруги і деформацій по осях  $x, y, z$ , а також положення головних майданчиків визначаються за загальними правилами механіки суцільного середовища.

Іноді буває зручний загальний напружений або деформований стан в точці масиву ґрунту розділити на дві складові. Тоді загальний напружений стан (тензор напруги), визначений 9 компонентами напруги буде виражатись як сума гідростатичного напруженого стану (кульовий тензор), що викликає зміну тільки об'єму ґрунту і девіаторного напруженого стану (девіатор напруги), що викликає тільки зміну його форми. Аналогічно можна розділити і загальний деформований стан в точці масиву ґрунту.

Це дозволяє використати в описі поведінки ґрунту інваріантні (не залежні від положення осей координат) характеристики його напружено-деформованого стану, що наводяться нижче :

- середня нормальна (гідростатичне) напруга  $\sigma_m$  викликає тільки зміни об'єму вирізаного з ґрунту елементарного паралелепіпеда, середню лінійну деформацію  $\epsilon_m$  і загальну об'ємну деформацію  $\epsilon_v$ , що відповідає йому, дорівнює:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (1.2)$$

$$\epsilon_m = \frac{1}{3}(\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z) = \frac{1}{3}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) \quad (1.3)$$

$$\epsilon_v = 3\epsilon_m \quad (1.4)$$

інтенсивність дотичної напруги - комбінацію напруги, наслідком дії яких є тільки зміна форми елементарного паралелепіпеда, що характеризується інтенсивністю деформацій зрушення  $\gamma_i$ , де

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_i = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{zx}^2)} = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \gamma_i &= \sqrt{\frac{2}{3} \left[ (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{zx}^2) \right]} \\ &= \sqrt{\frac{2}{3} \left[ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 \right]} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Приведені вище варіанти напруги і деформацій використовуються при описі результатів експериментів для складання рівнянь стану ряду розрахункових моделей ґрунтів.

#### 1.4 ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ҐРУНТІВ

Особливості деформації ґрунтів виявляються в результаті експериментів. Тут ми обмежимося тільки "уявними" експериментами, тобто розглядатимемо деякі уявні схеми навантаження ґрунту.

Лінійні і нелінійні деформації. Нехай на поверхні ґрунту встановлений штамп (чи фундамент), який передає на ґрунт по підшві зростаючий тиск. Під дією цього тиску відбуватиметься переміщення поверхні ґрунту (просідання штампу)  $s$ , величина якого зростає зі збільшенням  $p$ . Ця залежність має дуже складний характер. При зміні тиску від 0 до деякої величини  $p_1$  просідання штампу буде близька до лінійної. Подальше збільшення тиску ( $p_1 < p_2 < p_3$ ) викликає все більше значення просідання і залежність  $s=f(p)$  стає істотно нелінійною. При  $p=p_1$  відбувається різке збільшення просідання, що свідчить про вичерпання здатності ґрунту,

Якщо тепер перейти від залежності між тиском під штампом і переміщеннями поверхні ґрунту до аналізу залежності між напругою і деформаціями в елементарному паралелепіпеді, вирізаному з основи, то очевидно, що і ця залежність виявиться нелінійною.

Таким чином, в загальному випадку ґрунтам властива нелінійна деформованість, причому в деякому початковому інтервалі зміни напруги вона досить близька до лінійної.

Пружні і пластичні деформації. Ускладнимо експеримент і в процесі навантаження штампу досягши деяких значень тиску  $p$  робитимемо розвантаження. Тоді помітимо, що при будь-якому значенні  $p$ , навіть в межах лінійної деформованості ( $p \leq p_1$ ), розвантаження не викликає повного відновлення осідань поверхні ґрунту.

Отже, при будь-якому значенні тиску загальне осідання ґрунту може бути розділене на ту, що відновлюється (пружну)  $s^e$  і залишкову (пластичну)  $s^p$ .

При цьому, як правило,  $s^p > s^e$ . Переходячи до деформацій, цю умову можна записати у вигляді:

$$\epsilon_{il} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^p \quad (1.7)$$

при  $i, j = x, y, z$

При записі рівняння (3.7) використана тензорна символіка, що дозволяє одним рядком записати усі компоненти деформацій. При  $i=j$  відповідні компоненти запишуться  $\epsilon_{izz}\epsilon_{yy}\epsilon_{xx}$  і характеризуватимуть лінійні деформації  $\epsilon_x\epsilon_y\epsilon_z$ . При  $i \neq j$  отримаємо  $\epsilon_{xy}\epsilon_{yz}\epsilon_{zx}$   $\epsilon_{yx}\epsilon_{zy}\epsilon_{xz}$  що відповідає кутовим деформаціям  $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz}$ . Така символіка, природно, може бути використана і при записі компонент напруги.

Об'ємні і зсувні деформації. Уявимо собі, що ми вирізали елементарний паралелепіпед з основи штампу і для кожного значення  $p$  розраховали усі компоненти напруги, що діє по його гранях. Тоді, по аналогії можна скласти програму роздільних випробувань двох зразків того ж ґрунту в режимах гідростатичного і девіаторного навантажень.

Характер кривих буде свідчити про те, що зі збільшенням середньої нормальної напруги  $\sigma_m$  об'ємна деформація  $\epsilon_v$  зростає, але прагне до деякої постійної величини. В той же час збільшення інтенсивності дотичної напруги  $\tau_i$  не може відбуватися безмежно і викликає все більше зростання зсувних деформацій  $\gamma_i$  що призводить у кінцевому результаті до руйнування ґрунту.

Звідси можна зробити важливий висновок про те, що руйнування ґрунту відбувається під дією зсувної напруги, тому головною формою руйнування в механіці ґрунтів вважається зсув. Гідростатичне обтискання викликає ущільнення, а отже, і збільшення міцності ґрунту.

Це виведення має велике практичне значення при рішенні інженерних завдань.

Із-за дискретної будови ґрунту дійсний характер його деформації при гідростатичному і девіаторному навантаженні буде значно складніший. Так, при зрушенні (девіаторное навантаження) піщаного зразка щільного складання до моменту руйнування відзначається деяке збільшення його об'єму, що називається дилатансією. При зрушенні ж піщаного зразка рихлого складання, навпаки, відбувається його додаткове ущільнення (негативна дилатансія, або контракція). В той же час при гідростатичному обтисканні зразка ґрунту, у разі великих тисків, між частками можуть виникнути місцеві концентрації напруги, що призводять до його руйнування. Проте облік цих процесів робиться тільки в досить складних моделях.

Можна було б показати, що розвантаження зразка (зменшення  $\sigma_m$  і  $\tau_i$ ) від будь-якого рівня напруги, як і в досвіді з штампом, виявляє наявність пружних і пластичних деформацій, причому зі збільшенням інтенсивності дотичної напруги  $\tau_i$  доля пластичних деформацій  $\gamma_i^p$  в загальній деформації зсуву  $\gamma_i$  зростатиме.

При деякому граничному для цього ґрунту значенні  $\tau_i$  ( $\tau_i - \text{const}$ ) виникне стан необмеженої пластичної деформації ( $\gamma_i^p \rightarrow \infty$ ), що часто називається течією ґрунту.

Таким чином, зсувне руйнування ґрунту і повна втрата їм міцності викликаються необмеженим розвитком пластичних деформацій, тобто течією ґрунту. Такий стан називається граничним.

Можна зробити висновок, що у міру збільшення тиску  $p$  ґрунт під штампом переходить з пружного стану (правильніше говорити: із стану, що лінійно деформується, оскільки наявність петлі гістерезису при

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розвантаженні не дозволяє розглядати ґрунт як пружне тіло) в пластичний (що нелінійно деформується) стан і, нарешті, при  $p=p_2$  в текуче (граничний стан).

Повзучість ґрунту. Розглянуті вище особливості деформації ґрунтів відповідають їх стабілізованому стану. Це означає, що кожна точка на кривих, відображає рівноважний стан ґрунту, при якому усі процеси деформації від дії цього навантаження або напруги вже завершилися.

Проте в реальних ґрунтах деформації ніколи не відбуваються миттєво, а розвиваються в часі, причому чим більше дисперсним є ґрунт, тим більший час знадобиться для стабілізації деформацій.

Процес деформації ґрунту, що розвивається в часі навіть при постійній нарузі, називається повзучістю.

Залежно від виду ґрунту, його стану і діючої напруги повзучість може протікати з тією, що зменшується або із зростаючою швидкістю.

Для затухаючої повзучості деформація  $u(t)$  зростає зі швидкістю, що зменшується, і прагне до деякої кінцевої межі  $u_k$ . У разі незгасаючої повзучості окрім умовно-миттєвої деформації розрізняють ще три стадії: I – затухаюча (несталою) повзучість, де швидкість деформації зменшується; II – течія, що встановилася, з приблизно постійною швидкістю деформації; III – прогресуюча течія, де швидкість деформації починає зростати, що з часом обов'язково призводить до руйнування ґрунту.

Поняття затухаючої і незгасаючої повзучості в ґрунтах пов'язані з поняттям межі тривалої міцності, тобто такою напругою (чи співвідношенням напруги), до перевищення якого деформація ґрунту має затухаючий характер і руйнування не відбувається при будь-якому значенні часу дії навантаження. При перевищенні межі тривалої міцності ґрунту виникає незгасаюча повзучість, яка рано чи пізно приведе до його руйнування.

Фільтраційна консолідація ґрунту. У попередніх випадках ґрунти розглядалися як суцільні тіла. Це допустимо при аналізі стабілізованого

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



стану для усіх видів ґрунтів, при розрахунках повзучості скельних ґрунтів, нескельних ґрунтів в неводонасиченому стані, тобто при  $S_r \leq 0,8$  (трикомпонентних ґрунтів), а також мерзлих ґрунтів.

Деформація повністю водонасичених ґрунтів (ґрунтової маси) відбувається значно складніше. Ущільнення ґрунту пов'язане зі зменшенням його пористості. В той же час у водонасичених ґрунтах усі пори заповнені водою. При навантаженнях, звичайних для будівництва промислових і цивільних споруд, у багатьох випадках вода, як і частки скелета ґрунту, може вважатися практично нестискуваною. Тому ущільнення водонасиченого ґрунту можливе тільки при вичавленні частини води з його пір.

Процес ущільнення ґрунту, що супроводжується вичавленням води з пір, називається фільтраційною консолидацією (іноді просто консолидацією).

Консолидацію шару повністю водонасиченого ґрунту при дії рівномірного навантаження інтенсивністю  $p$  зручно представити у вигляді простої механічної моделі. Тут посудина з нестискуваною водою, дірчастим поршнем і пружиною імітує деякий об'єм ґрунту, причому пружина з певною жорсткістю відповідає скелету ґрунту, що стискається, отвори в поршні – діаметру пір в ґрунті, а вода – паровій рідині. Ця модель в загальному вигляді враховує дискретність ґрунту і дозволяє розглядати окремо напругу, що виникає в скелеті ґрунту і паровій рідині.

У момент додатка навантаження  $p$  (при  $t = 0$ ) парова вода ще не встигає віджатися через отвори, скелет ґрунту ще не деформується, тому усе навантаження сприймається тільки водою. В результаті в початковий момент у воді виникає надмірний (парове) тиск  $u_w$ , рівне прикладеному до поршня навантаженню ( $u_{w0} = p$ ). Напруга в скелеті ґрунту (ефективна напруга) а у цей момент дорівнює нулю ( $\sigma_{\text{про}} = 0$ ).

Надмірний тиск у воді призводить до її вичавлення через пори ґрунту (отвори в поршні) в області з меншим тиском. Поршень опускається, все сильніше стискаючи скелет ґрунту (пружину) і створюючи в ньому ефективну напругу, що збільшується. Оскільки у будь-який момент часу

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинна виконуватися умова рівноваги системи  $p = \sigma_t + u_w$ , зі збільшенням ефективної напруги паровий тиск зменшується.

Коли пружина стиснеться до такої міри, що повністю прийме зовнішнє навантаження ( $\sigma_k = p$ ), паровий тиск впаде до нуля ( $u_w = 0$ ) і подальше вичавлення води припиниться. Це означає, що до моменту часу  $t_k$  консолідація ґрунту завершилася, його ущільнення припинилося і настало стабілізований стан.

Таким чином, відповідно до розглянутої моделі в процесі консолідації ґрунту ефективна напруга поступово зростає від 0 до  $p$  а паровий тиск відповідно зменшується від  $p$  до 0. Тоді, по-колишньому використовуючи тензорну символіку, для будь-якого моменту часу можна записати, що повна напруга в ґрунті  $\sigma_{ij}$  дорівнює сумі, ефективної напруги в скелеті ґрунту  $\sigma'_{ij}$  і парового тиску у воді  $u_w$ :

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + u_w : \quad i=j=x,y,z. \quad (1.8)$$

У водонасиченому ґрунті, що має властивості повзучості, деформації розвиватимуться в часі як в результаті поступового вичавлення води, так і внаслідок повзучості скелета.

Відмітимо, що повне водонасичення ґрунтів ( $S_r = 1$ ) зустрічається у край рідко. Якщо в ґрунті містяться затиснені бульбашки повітря або повітря частково розчинений в паровій воді ( $0,8 < S_r < 1$ ), то із-за стиска води вже в початковий момент часу ( $t=0$ ) частина навантаження передаватиметься на парову воду, а частину - на скелет ґрунту.

Фізичні процеси при деформації ґрунтів. Викладені вище за особливість деформації по-різному проявляються у різних видів ґрунтів і істотно залежать від стану ґрунту і інтенсивності діючих навантажень.

Монолітні скельні ґрунти при навантаженнях, що виникають в результаті будівництва промислових і цивільних споруд, зазвичай можуть розглядатися як тіла, що практично не деформуються. Проте тріщинувата скеля і тим більше розбірний скельний ґрунт вже мають деяку

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деформованість. У тріщинуватих скельних грантах зсувні деформації пов'язані передусім із співвідношенням напрямів дії зусиль і площин тріщин і являють значно більшу небезпеку, ніж об'ємна деформованість. Зруйновані структурні зв'язки в скельних грантах з часом не відновлюються.

Об'ємні деформації велико уламкових і однорідних по гранулометричному складу піщаних ґрунтів значною мірою обумовлюються пружним стискуванням часток, а у міру збільшення навантаження - пластичним руйнуванням контактів між ними, тому вони зазвичай бувають невеликі. У неоднорідних пісках розвиватимуться значні деформації ущільнення. У водонасичених піщаних грантах це супроводжується вичавленням води з пір. Оскільки розміри пір в піщаних грантах відносно великі, процес консолідації в них протікає значно швидше, ніж в глинистих ґрунтах. Зсувні деформації в велико уламкових і піщаних ґрунтах відбуваються за рахунок взаємного переміщення часток з урахуванням руйнування контактів.

Найскладніше розвивається процес деформації в глинистих ґрунтах. Об'ємні деформації в них пов'язані з щільним пакуванням часток, оточених плівками пов'язаної води, зі зменшенням об'єму пір, вичавленням парової води і пружним стискуванням затиснених бульбашок повітря, а зсувні - головним чином зі взаємним переміщенням і перекомпонуванням часток, оточених оболонкою гідрата. Інтенсивність прояву деформацій в глинистих ґрунтах великою мірою залежить від характеру структурних зв'язків і величини діючих навантажень. Навіть слабо ущільнені водні опади глинистих ґрунтів з водно-колоїдними зв'язками при невеликих навантаженнях, що не перевищують структурну міцність, можуть проявляти пружні властивості, тобто майже повністю відновлюватися після зняття навантаження. Подальше збільшення навантаження викликає поступове руйнування структурних зв'язків і інтенсивне ущільнення ґрунту. Зруйновані водно-колоїдні зв'язки з часом відновлюються і після ущільнення глинистого ґрунту може спостерігатися його зміцнення.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри пір в глинистих ґрунтах у край малі, тому процес консолідації в них протікає дуже повільно. Деформації можуть не стабілізуватися впродовж багатьох місяців, років, навіть десятиліть. Також повільно можуть розвиватися і процеси повзучість, пов'язана зі взаємним зміщенням часток, оточених водними плівками, поворотом, вигином і руйнуванням окремих часток.

Дуже складні процеси відбуваються при деформації структурно-нестійких ґрунтів. Тут вже окрім перелічених вище чинників велике значення має зміна фізичної обстановки (відтавання мерзлих ґрунтів, обводнення лесових ґрунтів, розкладання органічних включень в торфах або насипних ґрунтах і тому подібне).

### 1.5 ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ ҐРУНТІВ

Вимоги до розрахункових моделей. Вище відзначалося, що точність прогнозів в механіці ґрунтів великою мірою визначається тим, з якою повнотою в рівняннях стану відображаються особливості деформації ґрунтів. Отже, в загальному випадку єдина модель ґрунту і рівняння стану, що відповідають їй, повинні відображати усі процеси, розглянуті раніше. Проте побудова такої моделі зажадала б розробки дуже складного математичного апарату розрахунків і проведення громіздких трудомістких експериментів для визначення параметрів моделі. У багатьох випадках це не виправдовувало б відносно невеликий економічний ефект, який може бути отриманий при рішенні досить простих інженерних завдань. Тому в практиці проектування для конкретних випадків використовуються розрахункові моделі ґрунту різної складності.

Для широкого кола завдань будівництва виявилось можливим виділити ті, де основною є оцінка несучої здатності (міцності і стійкості) ґрунтів. Навпаки, в інших завданнях найбільш важливим буде прогноз деформацій основи і споруди. В деяких завданнях, потрібна і оцінка несучої здатності, і прогноз деформацій ґрунтів. Проте ці розрахунки можна проводити окремо.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволило розповсюдити на розрахунки підстав загальні принципи розрахунків по граничних станах:

1) по несучій здатності (втрата стійкості, крихке, в'язке або іншого характеру руйнування ґрунту; надмірні пластичні деформації або деформації несталої повзучості );

2) по деформаціях (досягнення стану, що ускладнює нормальну експлуатацію споруди або знижує його довговічність внаслідок неприпустимих переміщень - осідань, різниці осідань, крену).

Істота розрахунків по першій групі граничних станів полягає в тому, що розрахункове навантаження на основу не повинне перевищувати силу граничного опору ґрунтів основи. По другій групі граничних станів спільна деформація споруди і основи не повинна перевищувати граничну для конструктивної схеми цієї споруди.

У багатьох випадках для промислового і цивільного будівництва розрахунки по другій групі граничних станів (по деформаціях) є визначальними.

Такий підхід зумовив можливість використання найбільш простих розрахункових моделей ґрунтів: для розрахунків кінцевої напруги і стабілізованих осідань - теорії лінійної деформації ґрунту; для розрахунків розвитку осідань в часі - теорії фільтраційної консолідації ґрунту; для розрахунків несучої здатності, міцності, стійкості і тиску ґрунту на обгороджування - теорії граничного напруженого стану ґрунту.

Відмітимо також, що у багатьох випадках на практиці виявляється можливим обмежуватися рішеннями в постановці завдань плоскої деформації або навіть одновимірних завдань. Це призводить до істотних спрощень розрахунків.

В той же час розвиток сучасних методів чисельних розрахунків і широке впровадження в проектну практику швидкодіючих обчислювальних машин все більше розширює круг завдань, що використовують складніші

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахункові моделі. До них в першу чергу відносяться моделі теорії нелінійної деформації ґрунту.

Модель теорії лінійної деформації ґрунту. Застосовність цієї моделі до ґрунтів була уперше обґрунтована працями Н. П. Пузиревського, К. Терцаги, Н. М. Герсєванова, В. А. Флорина, Н. А. Цитовича. Ця модель найбільш поширена в інженерній практиці завдяки своїй простоті і можливості використання добре розробленого математичного апарату теорії пружності для опису напружено-деформованого стану ґрунтів. Вона ще довгий час успішно конкуруватиме із складнішими моделями, особливо при розрахунках для масового будівництва.

Теорія лінійної деформації ґрунту базується на припущенні, що при одноразовому навантаженні (чи розвантаженні) залежність між напругою і деформаціями в ґрунтах лінійна. Крім того, при навантаженні розглядається лише загальна деформація ґрунту без розділення її на пружну і пластичну складові. Перше допущення забезпечує можливість використання для розрахунків напруги в масиві ґрунту апарату теорії пружності, а друге - при відомій напрузі розраховувати кінцеві деформації основи.

Можна зробити висновок, що це відповідає не всій кривій осідань  $O_{абв}$ , а тільки відрізку  $O_a$ .

Таким чином, використання теорії лінійної деформації ґрунту завжди вимагає встановлення межі її застосування.

При розрахунку напруги в основі і осідань ґрунту під подошвою фундаменту такою межею може служити середній тиск по подошві фундаменту, до досягнення якого залежність між тиском і осіданням близька до лінійної. Недотримання цієї умови може призводити до значних помилок в розрахунках. Наприклад, використовуючи методи теорії лінійної деформації для розрахунку просідань за межами пропорційності ( $p_i > p_1$ ), отримають занижену величину  $s$ , тоді як дійсна величина просідань буде значно більше і рівна  $s_6$ .

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння стану моделі теорії лінійної деформації записуються у вигляді узагальненого закону Гука :

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]; \gamma_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]; \gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{yz} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]; \gamma_{zx} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{zx}\end{aligned}\quad (1.9)$$

де  $E$  – модуль загальної лінійної деформації;  $\nu$  – коефіцієнт поперечного лінійного розширення (коефіцієнт Пуассона), що часто називаються деформаційними характеристиками ґрунту.

У разі розвантаження рівняння стану мають той же вигляд, проте включатимуть вже інші величини  $E'$  і  $\nu'$ , пружні (відновлюються) деформації ґрунту, що характеризують лише властиві цьому процесу.

Відмітимо, що теорію лінійної деформації іноді називають теорією пружності ґрунтів. Формально це справедливо, оскільки вона використовує математичний апарат теорії пружності. Проте треба мати на увазі, що ця схожість чисто формальна, оскільки теорія лінійної деформації розглядає загальні деформації, не розділяючи їх на пружні і пластичні. Крім того, навантаження і розвантаження ґрунту в теорії лінійної деформації відбуваються за різними законами і описуються різними за величиною характеристиками деформованості ґрунту.

Модель теорії фільтраційної консолідації. У найбільш простій постановці теорія описує деформацію в часі повністю водонасиченого ґрунту (ґрунтової маси). Приймається, як було показано вище, що повна напруга, що виникає в елементі ґрунту від прикладеного навантаження, розділяється на напругу в скелеті ґрунту (ефективна напруга) і тиск в паровій воді (парове ділення). У різних точках масиву ґрунту під дією навантаження виникають різні значення парового тиску. Внаслідок цього утворюється різниця натисків

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в паровій воді і відбувається її вичавлення в менш навантаженій області масиву.

Одночасно під дією ефективної напруги відбуваються перекомпонування часток і ущільнення ґрунту.

Математичний опис цього процесу базується на основній передумові про нерозривність середовища, сформульованою акад. Н. Н. Павловським ще в 1922 р., тобто вважається, що зменшення пористості ґрунту (його ущільнення) пропорційне витраті води (відтоку води з пір ґрунту).

Наслідком цього є важливе положення про те, що швидкість деформації ґрунту знаходитиметься в прямій залежності від швидкості фільтрації в нім парової води. Тому основною характеристикою ґрунту, що визначає час протікання процесу фільтраційної консолідації, є коефіцієнт фільтрації  $k$ .

У теорії фільтраційної консолідації скелет ґрунту приймається таким, що лінійно деформується, тобто межа застосовності цієї теорії визначається тією ж умовою, що і у попередньому випадку.

Слід зазначити, що в інженерній практиці використовуються і складніші моделі теорії консолідації, розроблені працями К. Терцаги, Н. М. Герсєванова, В. А. Флорина, М. А. Біо, Ю. До, Зарецького, З. Г. Тер-Мартиросяна і інших вчених, що враховують трикомпонентний склад ґрунту, стисливість парової води, повзучість скелета і інші процеси, що виникають в ґрунті при його деформаціях.

Модель теорії граничного напруженого стану ґрунту. Якщо дві попередні моделі описували закономірності деформації ґрунту, справедливі тільки за умови прямої пропорційності між напругою і деформаціями в кожній точці масиву, то дана модель відноситься тільки до граничного стану, тобто до такого напруженого стану, коли в масиві ґрунту від діючих навантажень сформувалися значні по розмірах замкнуті області, в кожній точці яких встановлюється стан граничної рівноваги. Тому теорію

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



граничного напруженого стану часто називають теорією граничної рівноваги ґрунту.

Нагадаємо, що граничний стан ґрунту визначається таким співвідношенням між напругою, що діє по деяких майданчиках, яке забезпечує можливість необмеженого розвитку пластичних деформацій, тобто течії ґрунту. Тоді стан граничної рівноваги в деякій точці масиву ґрунту відповідатиме співвідношенню між напругою і деформаціями, попередній течії ґрунту, тобто щонайменше порушення цього співвідношення може привести до необмеженого зростання пластичних деформацій ґрунту. Якщо подібні точки масиву об'єднуються в значні по розмірах області, то течія ґрунту виникне в межах цих областей, що приведе до необмеженого збільшення деформацій ґрунту і повної втрати несучої здатності основи.

Пояснимо сказане на наступному прикладі, що є подальшим розвитком аналізу процесів. При тиску під штампом  $p_1$  в деякій області основи розвиваються процеси ущільнення ґрунту, що протікають відповідно до теорії лінійної деформації. Наслідком цього є осідання штампу  $s_1$ . Навіть і в цьому випадку в основі під краями штампу можливе утворення незначних за величиною зон пластичних деформацій, проте із-за крихти вони не робитимуть вплив на загальний розвиток осідань.

При збільшенні тиску ( $p_1 < p_i < p_2$ ) розміри цих зон збільшуються і частина основи безпосередньо під штампом, що сприймає навантаження, відповідно зменшується. Як наслідок цього відбувається непропорційно більше зростання ущільнення  $s_1$ .

Подальше збільшення навантаження призводитиме до ще більшого зростання зон пластичних деформацій, і, нарешті, при  $p=p_2$  вони об'єднуються в області, захоплюючи майже усю верхню частину основи. При цьому, у багатьох випадках по сторонах штампу на поверхні ґрунту утворюються вали випирання. Осідання  $s_2$  при наближенні тиску  $p$  до величини  $p_2$  нестримно зростає і може виявитися дуже значною. У ряді

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадків штамп, встановлений на основі, втрачає стійкість. Тому тиск  $p_2$  розглядається в теорії граничної рівноваги ґрунту як граничне навантаження на основу або його гранична несуча здатність.

Стосовно розглянутого прикладу теорія граничної рівноваги і дозволяє розрахувати таке значення граничного навантаження, що передається штампом на основу, коли в основі повністю сформуються області пластичної деформації ґрунту. В той же час за допомогою цієї теорії не можна визначати деформації ґрунту, тому величина ущільнення  $s_2$  залишається невідомою. Рішення завдань теорії граничної рівноваги зводиться до спільного рішення диференціальних рівнянь рівноваги і особливого рівняння, що називається умовою граничного напруженого стану ґрунту. Вид цієї умови визначається вибором тієї або іншої моделі граничного напруженого стану ґрунту, часто званою моделлю міцності ґрунту, випадку плоскої деформації при використанні моделі міцності ґрунту Кулона – Мору система рівнянь теорії граничної рівноваги записується у вигляді:

$$\frac{\delta \sigma_x}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{xz}}{\delta z} = \chi \quad (1.10)$$

$$\frac{\delta \tau_{zx}}{\delta x} + \frac{\delta \sigma_z}{\delta z} = Z$$

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2c \operatorname{ctg} \varphi)^2 \sin^2 \varphi \quad (1.11)$$

де  $c$  - питоме зчеплення ґрунту,  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя. Ці показники часто називають міцностними характеристиками ґрунту. Символами  $X$  і  $Z$  позначені компоненти об'ємних сил.

Теорія граничної рівноваги дозволяє визначати не лише несучу здатність ґрунтів основи. Її рішення використовуються також для загальніших розрахунків стійкості споруд і підстав, укосів і схилів, визначення тиску ґрунту на обгороджування. У основі сучасних рішень теорії граничної рівноваги лежать фундаментальні роботи В. В. Соколовського. Серед інших учених, що внесли великий внесок у розвиток цієї теорії, слід

вказати С. С. Голушкевича, В. Г. Березанцева, В. З Христофорова, М. В. Малишева, м. Мейергофа, Ж. Біареза та ін.

"Лінійна" і "нелінійна" механіка ґрунтів. Приведені вище моделі ґрунту містять в собі деякі протиріччя. Дійсно, теорія лінійної деформації ґрунту, справедлива в обмеженому діапазоні навантажень, дозволяє розраховувати напругу і деформації тільки при  $p \leq p_1$ . Завдання, обґрунтовані на використанні цієї теорії, відносяться до лінійної механіки ґрунтів. В той же час теорія граничної рівноваги дозволяє встановлювати тільки граничні навантаження на основу ( $p = p_2$ ) не дає можливості розраховувати величини осідань, що відповідають їм. Таким чином, розрахунок деформацій підстав в діапазоні навантажень від  $p_1$  до  $p_2$  за допомогою цих теорій виконаний бути не може.

Для широкого класу завдань, такий підхід є цілком виправданим. Тому далі будуть розглянуті методи визначення характеристик механічних властивостей ґрунтів, необхідних для розрахунків підстав за допомогою цих теорій. Проте при проектуванні особливо відповідальних споруд виявляється доцільним використати і складніші моделі ґрунту, що дозволяють визначати деформації в усьому діапазоні навантажень. Ці рішення відносяться до нелінійної механіки ґрунтів.

Теорії нелінійної деформації ґрунтів застосовуються для розрахунків напружено-деформованого стану і оцінки міцності підстав і ґрунтових споруд, коли зв'язок між напругою і деформаціями істотно нелінійний, тому вони часто називаються теоріями пластичності ґрунтів.

Значне поширення в інженерній практиці отримала деформаційна теорія пластичності, обґрунтована на теорії малих деформацій пружньопластичності акад. А. А. Іллюшина. У найбільш простому виді ця теорія виходить з допущення, що об'ємна і зсувна деформації залежать тільки відповідно від середньої нормальної напруги і інтенсивності дотичної напруги, тобто:

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_v = \Psi(\sigma_m); \int (\tau_1) \quad (1.12)$$

Різні модифікації теорій нелінійної деформації ґрунтів представлені в роботах С. С. Вялова, А. Л. Гольдіна, Ю. К. Зарецького, А. Л. Крижановського, В. Г. Миколаївського, В. И. Соломина, В. Г. Федоровського і інших учених.

## 1.6 МЕТОДИ ПОСИЛЕННЯ ТА УКРІПЛЕННЯ УКОСІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

На земляне полотно і розташований під ним ґрунт впливають статичні і динамічні навантаження. Вплив статичних навантажень відомий, динамічні навантаження, що викликають додаткові напруження в земляному полотні і в ґрунті, залежать від різних впливів, таких як вид ґрунту та його шаруватість, тип рухомого складу і його стан, швидкість руху потягів тощо.

До несучих шарів земляного полотна висувають певні вимоги по відношенню до розмірів, виду ґрунту, його щільності, вологості та фільтраційної здатності. При цьому слід віддавати перевагу полотну і ґрунту, що має достатню несучу здатність. Для цього існують методи проведення робіт з суцільним динамічним контролем ущільнення, що дозволяє виявити дефектні місця. При спорудженні нового полотна на етапі вибору траси можна оминати ділянки з нестабільними ґрунтами. У випадку неможливості уникнення слабких основ необхідно провести ряд заходів з укріплення основ насипу.

В деяких випадках за геотехнічними і будівельними умовами слід споруджувати пробні ділянки, а іноді проводити натурні досліді. Інакше виглядає ситуація при реконструкції ліній, земляне полотно яких було споруджено більш ніж 100 років назад. Таке полотно вже не може сприймати високі навантаження внаслідок незадовільної несучої здатності, недостатнього дренажу, низької щільності шарів земляного полотна і підстилаючих ґрунтів. Роботи з уточнення вимог до земляного полотна проводяться відповідно до високошвидкісних ліній і націлені на

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення параметрів земляних споруд у відповідності з динамічними показниками, а також на мінімізацію витрат при невисоких швидкостях. Геотехнічні вимоги повинні бути модифіковані таким чином, щоб навіть при максимальних навантаженнях земляні споруди працювали безвідмовно.

Способи покращення основ земляного полотна:

1. Конструктивні методи – влаштування піщаних подушок, кам'яних, піщано-гравійних відсипок, влаштування шпунтового огороження, армування ґрунтів – використовуються при підсиленні мулів, торфів, насипних ґрунтів, слабких піщаних і зв'язних ґрунтів. Конструктивні методи засновані на обмеженні розвитку деформацій в зоні впливу споруди в будь-якому напрямку. Загальною перевагою конструктивних методів є можливість їх застосування в будь-яких умовах, оскільки вони не пов'язані з поліпшенням характеристик ґрунтів. Недоліком – значна трудомісткість.

2. Механічні методи: – поверхнєве ущільнення – ущільнення ґрунтів укатуванням, віброплитою, важкими трамбівками, - використовуються при рихлих піщаних і макропористих ґрунтах, свіжеукладених насипних і зв'язних ґрунтах; - глибинне ущільнення – ущільнення ґрунтів вапняними та ґрунтовими сваями, пневмопробійниками, розкатуванням свердловин, обтиск ґрунтів статичними навантаженнями з улаштуванням вертикальних дренажів, ущільнення динамічними впливами, попереднє замочування, ущільнення водопониженням – використовуються при макропористих просадочних ґрунтах, пілувато-глинистих ґрунтах, торфах, рихлих піщаних ґрунтах, слабких сильностискаємих ґрунтах.

Механічні методи покращення основ пов'язані з ущільненням ґрунтів і отриманням властивостей, які б гарантували стійкість і допустиму осадку споруд, що будуть будуватися. Для зміцнення слабких глинистих, рихлих піщаних ґрунтів, насипних і просадочних ґрунтів використовується поверхнєве або глибинне ущільнення. При поверхневому ущільненні в межах деформуемого масиву основи або її частини, вплив ущільнення відбувається з поверхні ґрунту. При глибинному ущільненні – в межах всієї

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщини рихлих ґрунтів основи вплив ущільненням відбувається по всій глибині масиву або по частині.

Фізико-хімічні методи: - температурні – термічне закріплення і заморожування ґрунтів – використовуються при макропористих просадочних і інших зв'язних ґрунтах, структурно-нестійких водонасичених ґрунтах; - ін'єкційні – цементація, силікатизація, закріплення ґрунтів синтетичними смолами – використовується при гравелистих і крупних пісках, макропористих просадочних ґрунтах; - електрохімічні – електросилікатизація, електроосмос, електрохімічне закріплення – використовуються при слабких пилювато-глинистих ґрунтах; - струменеві технології, напірні ін'єкції, високонапірні ін'єкції – які порушують цілісність ґрунтів (розривні).

Фізико-механічні методи засновані на використанні спеціальної обробки ґрунтів і супроводжуються штучним перетворенням їх властивостей. В ґрунті при цьому відбуваються незворотні процеси зміни структури зв'язків між окремими частинками, в результаті чого зростає міцність ґрунту, зменшується його стискуємість і водонепроникність.

З кінця 50-х років для зміцнення слабких ґрунтів використовуються методи напірних ін'єкцій. При технології гідророзриву тиск нагнітання значно перевищує структурну міцність ґрунту. На сьогодні існують різновиди даної технології, які дозволяють зміцнювати будь-які ґрунти за допомогою багатьох розчинів. Тиск ін'єктування сягає 0,05...50 МПа високошвидкісними струменями цементного розчину, які обертаються, що, на відміну від цементації, дозволяє розчину поширюватись крізь тріщини в ґрунтовому масиві. Розчин розповсюджується по поверхням найменшого опору в послаблені зони ґрунту, порушуючи його суцільність у вигляді щілеподібних розривів, які наповнюються розчином ін'єктування. Оточуючий ґрунт ущільнюється і відбувається покращення його властивостей. Несуча здатність та жорсткість зміцненої основи збільшуються завдяки ефекту армування ґрунтового масиву лінзами, які утворились з

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розчину, який було ін'єктовано, і міцність якого часом тільки підвищується. Для ін'єктування використовуються розчини грубодисперсного складу на основі цементного в'язучого. В літературі є відомості про підбір тверднучих розчинів для зміцнення ґрунтів та дослідження про вплив гранулометричного і мінералогічного складу, змісту цементу і різних домішок на межу міцності і час твердіння розчинів.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ДЕФЕКТИ ТА ДЕФОРМАЦІЇ УКІСНИХ ЧАСТИН ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

### 2.1 ДЕФЕКТИ УКІСНИХ ЧАСТИН ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА[5]

Змиви – поверхневі порушення укосів атмосферними водами. При змивах, пов'язаних з відтаванням ґрунту, розріджена маса стікає по підстилаючому мерзлому шару до основи укосу, на закюветному полиці, в кювети.

Пізнавальні ознаки: патьоки й мікрОВИМОЇНИ на укосах; відкладення висохлого затверділого ґрунту біля основи укосу.

Причини виникнення: грубе планування, недостатнє укріплення укосів та їх брівок; місцеве перезволоження ґрунтів через порушення нормальної роботи водовідвідних споруд або пошкодження захисного шару; розрідження ґрунту під час відтавання до текучого стану. Атмосферні опади сприяють змиву укосів земляного полотна.

Невідкладні заходи: зменшення нахождення поверхневої води на укiс; усунення застоїв води у водовідвідних спорудах; забивання початкових розмірів і тріщин, відновлення кріплень укосів; у разі необхідності – прибирання снігу з укосів.

Експлуатаційні спостереження: нагляд за станом водовідвідних споруд у періоди розставання снігу, випадення зливових та затяжних дощів; огляд стану поверхні укосів, укріплювальних споруд, випусків води з кюветів, водовідвідних каналів, оглядових колодязів, випусків із дренажів.

Обновлення крутих укосів виїмок у лесових ґрунтах.

Пізнавальні ознаки: поява й поступове розкриття поздовжніх тріщин на заукісній площадці з утворенням уступів; виникнення стовпчастих блоків на поверхні укосу. Обмежених вертикальними тріщинами; поява сольного нальоту на поверхнях укосів біля тріщин у ґрунті та інших неоднорідностей; потемніння й викришення лесової породи поблизу основи укосу; падіння на закюветні полиці та в кювети цілих і роздрібнених блоків ґрунту; обвалення великих ( до 3...5 м<sup>3</sup> ) масивів ґрунту.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Причини виникнення: подрібнення лесової породи в укосах і прилягаючих масивах внаслідок попереминого зволоження, висушування, промерзання, відтавання, що супроводжуються набряканням і усадкою ґрунту; відколи ґрунтових блоків різної величини з нагромадженням їх біля основи укосу, що призводить до погіршення поверхневого стікання води, зволоження накопиченого ґрунту й природного масиву в нижній частині укосу; застої води в кюветах і зволоження підшви укосу з викришуванням і ослабленням лесового ґрунту, утворення ніші біля підшви укосу.

Великі блоки ґрунту, що відокремилися тріщинами від масиву й втратили опору внаслідок утворення ніші та тривалого зволоження й ослаблення ґрунту, осідають, захиляються й поступово дробляться, захаращуючи закюветні полиці, кювети, а іноді й верхню будову колії.

Невідкладні заходи: усунення застоїв води в кюветах, на закюветних полицях, надукісних площадках; збирання ґрунту, що обвалився, з видаленням його за межі виїмки; зачищення укосу, пошкодженого обваленням ґрунту; закладання тріщин на заукісній площадці, біля канав, на укосах перем'ятим лесовим ґрунтом; штучне обвалення масивів, що загрожують падінням.

Експлуатаційні спостереження: регулярні огляди стану поверхні укосів із виявленням тріщин, візуальним визначенням сумівних масивів, що загрожують обваленням; контроль за станом кюветів, нагірних канав і наявних банкетів; визначення місць можливого знаходження води до брівок укосів; при обваленнях укосів – визначення можливості експлуатації колії зі встановленими або обмеженими швидкостями руху поїздів.

## 2.2 ДЕФОРМАЦІЇ УКІСНИХ ЧАСТИН ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА[5]

Розмиви укосів контрбанкетів і бERM.

Пізнавальні ознаки: нерівності на полиці й укосі; яроподібні розмиви полиці, брівки укосу; заколи з утворенням тріщин на полиці й укосі; відкладення розмитого ґрунту біля основи укосу.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Причини виникнення: недостатнє ущільнення ґрунту під час зведення контрбанкета й берми; неякісне планування поверхонь полиці й укосу; відсутність укріплення укосу; низька якість утримання контрбанкета.

Невідкладні заходи: усунення вимоїн і тріщин у ґрунті; відновлення проектних обрисів полиці, брівки, укосу контрбанкета; ліквідація вимоїн ґрунтом із нормованим ущільненням; укріплення поверхні полиці й укосу травосіянням, покриття полиці й укосів захисним шаром зі щебеню (гравію).

Експлуатаційні спостереження: візуальний огляд.

Спливи укосів виїмок.

Спливи укосів виїмок – зміщення верхнього шару ґрунту товщиною до 1...2 м зі збереженням загальної стійкості укосу. Спливи треба відрізняти від зсувів укосів, пов'язаних з порушенням їх загальної стійкості.

Пізнавальні ознаки: від змивів спливи відрізняються суцільним зміщенням поверхневих шарів ґрунту, а від зсувів укосів – малою глибиною захвату. На ранніх стадіях виникають короткі тріщини на поверхні й біля брівки укосів, а біля основи укосів – випирання; з'являється вологолюбива рослинність, відбувається здимання поверхні укосів. Для спливів, пов'язаних з промерзанням і відтаванням ґрунту, спочатку характерна поява патьоків розрідженої маси, а потім зміщення верхніх шарів ґрунту товщиною від 0,3...0,6 м до 1...2м. Кювети й канави деформуються зі зміщенням їх укосів всередину. На колії часто спостерігаються пучинні осідання (в тому числі весняні).

Причини виникнення: зниження міцності ґрунтів внаслідок фізико – хімічних процесів, що пов'язані з промерзанням і відтаванням, усадкою й набухання, поперемінним висушенням і зволоженням, порушенням суцільності при вивітрюванні. Спливам сприяють виходи ґрунтової води на поверхню укосів, неупорядковане поверхнєве стікання води, порушення цілісності кріплень.

Невідкладні заходи: розчищення пошкоджених або захаращених канав, кюветів, лотків, відведення застійних вод від земляного полотна; прибирання

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сплившої маси ґрунту з усуненням тріщин, безстічних западин, плануванням укосів. Підсилений контроль за станом колії й усуненням несправностей.

Заходи, що сприяють підвищенню стійкості укосів: уположення укосів, створення розділяючих берм; укріплення деревиною, кущовою, трав'яною рослинністю; теплоізоляція, що не допускає промерзання ґрунтів, які легко віддають воду (з коефіцієнтом фільтрації не менше 0,2 м/доба); улаштування огорожувальних, накладних та укисних дренажів, закюветних полиць.

Експлуатаційні спостереження: визначення меж ділянки розвитку спливів з визначенням глибини захвату (товщина зміщеного ґрунту), встановлення створів вішок для визначення величин переміщення ґрунту й проведення цих вимірювань; спостереження за несправностями постійних водовідвідних споруд і тимчасових (протиаварійних) споруд; перевірка стану колії.

Спливи укосів насипів.

Спливи укосів насипів – зміщення поверхневого шару ґрунту ( в тому числі баластового шлейфа ) із захопленням узбіччя й частини баластової призми без порушення загальної стійкості насипу.

Пізнавальні ознаки: поздовжні тріщини на узбіччях, частинах укосу біля брівки; місцеве зниження узбіччя; місцеве здимання поверхні укосу; вологолюбива рослинність на укосі; виходи води; нестійкість укосу баластової призми; односторонні осідання колії, іноді з поперечними зсувами.

Причини виникнення: пухке складання верхнього шару ґрунту; місцеве змочування контакту глинистого ґрунту укосу й баластового шару; перевантаження верхньої частини укосу навалами ґрунту, засміченого баласту, іншими матеріалами; неправильне прокладення кабелів у насипах; розвантаження снігу на укис; поганий водовідвід.

Невідкладні заходи: виправлення колії в плані й профілі; під час інтенсивних опадів – обмеження швидкості руху, а в разі необхідності –

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організація чергових бригад; ліквідація застоїв води, прибирання зайвих матеріалів з узбіч і верхніх частин укосу; створення упору біля основи укосу з каменю, габіонів, місцевого ґрунту з відведенням води від земляного полотна. Недопущення розвантаження снігу на укис, а в разі необхідності – влаштування прорізів у снігу для прискорення стікання води.

Експлуатаційні спостереження: перевірка стану колії в плані й профілі; огляд поверхні узбіч, укосів насипу, поверхні баластової призми; в разі необхідності – встановлення створів вішок для спостережень за горизонтальними зсувами.

Зсування укосів насипу.

Зсування укосів насипу – відшарування укисної частини насипу із захватом основної площадки, частіше всього до кінців шпал або до осі колії, і зсування її до підшви укосу, іноді із захватом основи укосу.

Пізнавальні ознаки: поява поздовжніх тріщин на узбіччях, укосах баластової призми, вздовж торців шпал, під рейко-шпальною решіткою, горбів на укосах і зволжених складок у нижній частині укосу; відносно великі осідання рейкових ниток, які потребують виправлення колії; викривлення обрисів укосів і поверхні землі поруч з основою укосу. При зсуванні спочатку відбувається вертикальне зміщення ґрунту з утворенням стінки відриву, потім зміщення ґрунту в польову сторону. Цим відрізняється зсування укосів від загального зміщення всього насипу.

Причини виникнення: недостатня щільність ґрунтів насипу й укисних частин; наявність баластових шлейфів на укосах насипів; завищена крутизна укосів; спорудження насипу із слабких ґрунтів, непридатних для будівництва; різниця в щільності й вологості ґрунтів ядра й укисної частини; наявність поздовжніх баластових лож, мішків і особливо баластових гнізд; наявність баластового шлейфа із завищеною крутизною його укосу й замочуванням контакту глинистих і дренуючих ґрунтів; наявність слабких ґрунтів у основі укисної частини насипу; погане поточне утримання

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

земляного полотна; перезволоження ґрунту сильними атмосферними опадами, талими водами.

Невідкладні заходи: планування узбіч; забивання тріщин; прибирання снігу в кінці зими; осушення баластових лож, мішків і гнізд; запобігання надходженню води в тіло насипу (гідроізоляція або перехоплення води й відведення її за межі насипу); зрізання зсувних ґрунтів укосів; нарізання уступів на глиняному ядрі й відновлення укусу якісним ґрунтом із нормованим ущільненням; присипання бERM або контрбанкетів для підсилення укусу.

Під час відновлення насипу дренажними ґрунтами, які транспортуються поїздами, перевантаження верхньої частини укусу недопустимо, а від контакту глинистих і дренажних ґрунтів необхідно забезпечувати відведення води, що просочується.

Експлуатаційні спостереження: систематичний нагляд за станом насипу зі встановленням в разі необхідності створів вішок; виявлення на поверхні укосів місць виходу ґрунтової води або, навпаки, поглинання води, що стікає під час розставання снігу й сильних опадів; ретельний огляд ділянок, на яких виконувались невідкладні роботи.

Спливи укісних частин насипу над перетинаючою його теплотрасою.

Пізнавальні ознаки: зміщення масивів ґрунту або спливання його з нерівностями й западинами на укосах над теплотрасою, що знаходиться в тілі насипу, підвищене зволоження ґрунту в цьому місці.

Причини виникнення: порушення температурного режиму ґрунту насипу за рахунок додаткового надходження тепла від трубопроводу, що призводить до збільшення вологості й зниження міцності ґрунту, який знаходиться в талому стані, у тому числі в зимовий період. Надходження вологи з підігрітих шарів перешкоджає інфільтрації талих атмосферних опадів у глибину.

Невідкладні заходи: усунення западин плануванням, засипанням однорідним ґрунтом; одернування поверхні; перебудова підземного переходу

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в надземний; укладання теплотраси в захисну трубу нижче підшви насипу з розрахунками глибини закладення й температури трубопроводу відповідно до вимог нормативних документів, що стосуються пересічення залізниць трубопроводами.

Експлуатаційні спостереження: частіші огляди ділянки насипу, що деформується, визначення положення й розмірів деформацій укісних частин із записом до Книги форми ПУ-28 і Паспорта форми ПУ-9.

Зсування сипких відкладень по контакту зі скельовими ґрунтами.

Пізнавальні ознаки: згорблення природної поверхні схилу з утворенням поздовжніх тріщин у товщі ґрунту, який розташований вище брівки укусу, та нахилом стовбурів дерев у низову сторону; вхід ґрунтової води в суміші з мілкоземом у пониженнях рельєфу й відкладення піщано-глинистого матеріалу біля основи скельного укусу; накопичення на закуветній полиці продуктів вивітрювання порід, які складають косогір.

Причини виникнення: підрізання косогорів під час спорудження виїмок (напіввиїмок) без виконання робіт із закріплення нестійких масивів; незадовільна організація поверхневого стоку й відведення ґрунтових вод від контакту сипких відкладень зі скельовими породами або завищена крутизна укосів у сипких товщах.

Невідкладні заходи: очищення закуветних полиць і водовідвідних споруд, захаращених породами, що зсунулись; усунення застоїв води в нерівностях нестійких масивів і організація безпечного її стікання; закріплення на косогорі масивів, що загрожують обваленням, і завчасне обвалення нестійких масивів. Роботи на нестійких крутих косогорах можуть виконувати тільки спеціально підготовлені працівники (верхолази).

Експлуатаційні спостереження: всі ділянки на косогорах з підрізаними нестійкими шарами гірських порід повинні знаходитись під наглядом шляхового майстра, бригадира колії, а в разі необхідності – майстра по земляному полотну й обхідників обвальних місць, що керуються місцевою

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструкцією, розробленою дистанцією колії та затвердженою начальником служби колії.

#### *Осипи.*

Осипи – переміщення під дією сили тяжіння дерев'яно-щебених продуктів вивітрювання гірських порід з поверхні укосів або схилів до їх підосви. Матеріал осипів – суміш щебеневого матеріалу й мілкозему.

Пізнавальні ознаки: накопичення дрібних уламків біля основи схилу або укосу конуса; поява на укосах тріщин, незначна рослинність на поверхні осипів. При нахилі поверхні осипного конуса, близькому до кута природного укосу, від перезволоження або динамічних впливів можливі значні зміщення (осування). Масиви гірських порід, з яких скочуються скельні уламки, мають шарувату будову з слабких і міцних порід, інколи бувають з нависаючими карнизами.

Причини виникнення: вивітрювання поверхневих шарів слабких порід, велика крутизна схилу або його частини, що перевищує кут природного укосу матеріалу осипів; незадовільне утримання водовідвідних споруд.

Невідкладні заходи: своєчасне прибирання матеріалу, який обсипався; недопущення часткового прибирання осипів, що призводить до утворення поверхні з нахилами, більшими, ніж кут природного укосу; утримання в справному стані водовідвідних, захисних і укріплювальних споруд; прибирання осипних мас із пазух підпірних та одягаючих стінок, із дна уловлювальних полиць-траншей; нарощування або влаштування уловлювальних валів або стін із сухої кладки, які запобігають захаращенню верхньої будови колії. Роботи із захисту колії від пошкоджень осипами повинні виконуватись під керівництвом досвідчених бригадирів колії, шляхових майстрів, майстрів по земляному полотну.

Заходи, що запобігають появі осипів: відновлення рослинного покриву; захист порід від інтенсивного вивітрювання (наприклад, укріплення поверхні торкретбетоном по сітці або без неї); зменшення крутизни укосів або схилу;

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведення терасування; упорядкування поверхневого стоку; влаштування захисних уловлювальних валів, ровів, полиць, підпірних і одягаючих стінок.

Експлуатаційні спостереження: нагляд за станом існуючих осипів і захисних споруд, систематичний огляд скельових укосів або природних схилів з виявленням зон, з яких можуть потрапляти на колію скельні уламки, ретельний огляд водовідвідних споруд.

#### *Вивали.*

Вивали – випадення окремих скельних уламків (брил) з укосів виїмок (напіввиїмок) або з поверхонь схилів при порівняно стійких скельових масивах.

Пізнавальні ознаки: нагромадження щебенистих і кам'янистих уламків біля підосви укусу виїмки, що звичайно відбувається перед падінням великих брил до 0,5...1,0 м<sup>3</sup>, наявність на укосах нависаючих карнизів із міцних порід, що підстилаються слабкими породами, які легко вивітрюються; поява нових тріщин, що розкриваються й відокремлюють брили від скельового масиву.

Причини виникнення: неякісне зачищення укосів виїмок під час будівництва земляного полотна; інтенсивне вивітрювання шарів слабких скельових порід, що викликає їх лущення й утворення карнизів, які нависають; порушення стабільності окремих брил у результаті землетрусів, проведення вибухових робіт.

Невідкладні заходи: очищення верхньої будови колії, пазух уловлюваних споруд, захаращених вивалами; обстеження стану укусу (схилу) і, в разі необхідності, профілактичне обвалення нестійких брил, навмисне обвалення нестійких масивів, вжиття заходів для закріплення їх на місці за допомогою сухої кам'яної кладки, забивних анкерів та ін. У всіх випадках для проведення робіт на укосах або крутих схилах необхідно залучати підготовлених спеціалістів і вживати заходів для забезпечення безпеки руху поїздів.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Експлуатаційні спостереження: регулярний огляд скельових укосів (схилів) із фіксуванням ознак нестійких масивів, у сумнівних випадках необхідно залучати для обстеження укосів спеціалістів-верхолазів. Обстеження із залученням верхолазів звичайно сполучають з роботами із закріплення нестійких масивів або їх профілактичного обвалення.

Обвали.

Обвали – обвалення роздрібнених скельових порід з природних схилів, укосів виїмок або напіввиїмок.

Пізнавальні ознаки: нагромадження мас скельових порід біля основи насипу або біля захисних валів, стінок, траншей, іноді із захаращенням верхньої будови колії. На скельно-обвальних ділянках – навислі карнизи, малостійкі брили скельових порід, що загрожують падінням; несприятливий відносно до колії напрямок нашарувань (тріщин, шаруватості).

Причини виникнення: інтенсивне вивітрювання скельових порід, що призводять до дроблення їх тріщинами, виникнення ослаблених зон; необґрунтоване проведення масових вибухів під час будівництва земляного полотна; порушення місцевої стійкості масивів у результаті розвитку осипів, неправильна організація профілактичного зачищення укосів. У масивах сильно роздрібнених порід, коли слабшають зв'язки між блоками, можливе порушення загальної стійкості укосу або схилу, що призводить до катастрофічного обвалення порід, які захаращують верхню будову колії й всю виїмку.

Невідкладні заходи: усунення завалів із порід, що обвалилися, відновлення пошкоджених конструкцій земляного полотна, захисних і укріплювальних споруд, верхньої будови колії, обмеження швидкості руху поїздів, аж до пропускання їх із провідником, до одержання висновку спеціалістів про стан і надійність укосу (схилу); профілактичне завалення нестійких масивів скельових порід. Усі роботи на укосах або схилах, що проводяться з метою забезпечення стійкості скельно-обвальних ділянок,

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинні виконуватися під наглядом досвідчених спеціалістів із залученням, у разі необхідності, верхолазів.

Заходи з попередження обвалів: зменшення крутизни укосів і схилів; терасування зі створенням розділяючих берм; улаштування уловлювальних траншей і полиць біля основи нестійкого укосу; прикріплення загрожуючих падінням брил або масивів за допомогою металевих шланг до підстилаючих стійких шарів; заповнення небезпечних тріщин цементним розчином; будівництво підпірних та одягаючих стінок, контрфорсів для підтримування навислих масивів; заповнення наявних каверн кам'яною кладкою, монолітним бетоном або торкретбетоном.

У випадку неможливості попередження обвалів – влаштування уловлювальних валів, траншей, ровів, стінок, сітчастих загорож або інших захисних споруд.

Для захисту залізничної колії від скельних обвалів будують протиобвальні галереї, каменепропускні естакади, іноді тунелі або споруджують обхід небезпечної ділянки.

Усі роботи треба виконувати за проектами, складеними на підставі ретельного інженерно-геологічного обстеження і з урахуванням конкретних місцевих умов.

Експлуатаційні спостереження: регулярні огляди стану поверхні укосів (схилів), у разі необхідності з використанням біноклів, з метою виявлення нових тріщин, переміщень окремих брил і карнизів, що нависають; контроль за станом протиобвальних і захисних споруд (підпірних і одягаючих стінок, анкерних споруд, уловлювальних траншей та ін.); при виявленні початку переміщень і падіння скельних уламків необхідно оцінити ступінь небезпеки цих явищ і вжити необхідних заходів для попередження аварійних ситуацій (закриття руху).

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ГЕОТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЯК АРМУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ УКОСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАСИПІВ

Стабільність залізничної колії значною мірою залежить від стану земляного полотна. Одним із його важливих елементів є основна площадка, що визначає стабільність геометрії рейкової колії. Разом із тим, складні умови роботи ґрунтів основної площадки привели до широкого розповсюдження дефектів і деформацій цього елемента, що потребує збільшених витрат на утримання колії.

Найбільш характерними для основної площадки є баластні заглиблення, які пов'язані з недостатньою міцністю ґрунтів, що її складають, а також інших дефектів та деформацій. Для підвищення несучої здатності земляного полотна передбачаються заходи по глибокому очищенню щебеневого баласту, плануванню основної площадки, а також влаштуванню захисних підбаластних шарів. В якості захисних шарів можуть бути використані подушки з крупно- і середньозернистого піску, піщано-гравійної суміші або із щебеню фракцій менше 25 мм, а також покриття з геотекстилю.

Роботи по підсиленню земляного полотна передбачаються у складі капітального ремонту колії. При цьому впровадження в колійному господарстві залізниць нового покоління щебенеочищувальних машин, що виконують глибоке очищення баласту, дозволяє проводити роботи по підсиленню основної площадки під час їх роботи без зняття рейко-шпальної решітки. За таких умов найбільш ефективним є влаштування прошарків геотекстилю або пінополістиролу, які мають невелику товщину і значну міцність.

В останні роки постійно розширюється асортимент геотекстильних матеріалів, які використовуються при будівництві та ремонті доріг різного призначення і залізниць. Геотекстильні матеріали здатні виконувати одну або поєднувати різні функції: підсилення земляного полотна, підвищення його стійкості, відвод води, підвищення стійкості укосів і т.п.

Великий асортимент геотекстильних матеріалів вимагає необхідність в їх класифікації за умовами використання, а також розробки нових

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструктивних рішень та методик розрахунку конструкцій з їх застосуванням, технологій ремонтних робіт.

Основною причиною порушення стійкості земляного полотна є зниження його міцності через насичення поверхневими та ґрунтовими водами, а також руйнування паводковими і зливовими водами. Для попередження появи та ліквідації існуючих несправностей в земляному полотні і його спорудах необхідно виконувати наступне:

а) по основній площадці земляного полотна зрізати з узбіччя нашарування старого баласту, ґрунту і бруду; планувати узбіччя з ухилом у бік від колії; видаляти рослинність, усувати тріщини;

б) по укосах насипів і виїмок - ліквідувати тріщини, розмиви спливи, западини на укосах, вчасно виправляти одерновку і інші види укріплень; очищати від снігу укоси малостійких і хворих насипів та виїмок до початку його танення; прибирати за межі виїмок наносний ґрунт і бруд, вийнятий при очищенні кюветів, лотків і дренажів; прочищати виходи дренажних прорізів. Забруднений баласт, що потрапив на укис насипу, необхідно планувати так, щоб він не перешкоджав стіканню води;

в) з забезпечення нормального відводу поверхневих вод –утримувати кювети, нагірні, забанкетні канави, лотки, перепади, перехльости і інші водовідвідні споруди в стані, що забезпечує відведення води від земляного полотна на перегонах і станціях, не допускаючи застою води на колії і у водовідводах; виправляти одерновку і інші види укріплень дна та укосів водовідвідних споруд. Після проходу колійного струга негайно прибирати ґрунт біля виходів з кюветів. Навесні та восени вчасно готувати земляне полотно і його обладнання для проходу весняних вод і паводку. Узимку обколювати наледеніння в кюветах, канавах, лотках, перепадах і перехльости.

г) укладання геотекстилю.

Для того щоб баластна призма не втрачала свою міцність та стійкість необхідно її утримувати в чистоті, не допускаючи її перезволоження із додержанням встановлених розмірів поперечного профілю.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього необхідно: систематично та вчасно вилучати із поверхні баластного шару шлак, бруд, вугільний пил та інші забруднювачі; навесні, перед початком танення снігу, очищувати баластну призму від залишків забрудненого снігу; перед виконанням колійних робіт, пов'язаних з порушенням баластної призми, виконувати очищення забрудненого щебеню в шпальних ящиках і за торцями шпал, при інших баластах зрізати забруднену кірку баласту, особливо ретельно біля боків і торців шпал та біля рейок; не допускати заповнення баластної призми забрудненим баластом, заростання баластного шару і узбіччя земляного полотна травою; мати і утримувати в справності на міжколійях в межах станції поздовжні та поперечні водовідвідні споруди (канави, лотки).

У даному дипломному проєкті розглянемо варіанти укріплення насипу за допомогою геотекстилю.

Геотекстильні матеріали, які використовують для підсилення і армування земляного полотна з метою підвищення його надійності, повинні забезпечувати надійну роботу на протязі всього строку експлуатації (до 50...100 років). Це забезпечується правильним вибором геотекстильного матеріалу; призначенням (згідно з проєктом) відповідних конструкцій підсилення; регламентом виконання технології робіт.

Конструкції для підсилення земляного полотна із застосуванням геотекстильних матеріалів повинні проєктуватися на основі результатів інженерно-геологічних та інженерно-геодезичних вишукувань.

При проєктуванні повинен забезпечуватися заданий у відповідності з нормативними вимогами рівень надійності земляного полотна по міцності, стійкості і деформативності на протязі всього строку служби конструкції.

Нормативними документами, (ДСТУ) встановлюються вимоги до геотекстильних матеріалів, які пропонуються для оздоровлення земляного полотна табл. 3.1.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Вимоги до геотекстильних матеріалів

Показник	Вимірювач	Величини
1. Питома вага	г/м <sup>2</sup>	1-30
2. Механічні властивості		
2.1. Міцність на розтягнення	кН/м	10-20
2.2. Відносне подовження при розриві	%	11-30
2.3. Міцність при продавлюванні кулькою	кН	>2,5
2.4. Коефіцієнт фільтрації	м/с	>10×10 <sup>4</sup>
2.5. Діаметр пор	мкм	≤ 80
3. Не повинен піддаватись дії	кислот, бактерій, лугів	
4. Витримувати дії прямого впливу сонця без зниження міцності	на протязі місяця	

Геотекстильними матеріалами називаються матеріали, у яких як мінімум одна зі складових частин виготовлена із синтетичних або натуральних полімерів у вигляді плоских форм, стрічкових або тривимірних структур, які використовуються в геотехніці або застосовуються в інших областях будівництва в контакті із ґрунтом та іншими будівельними матеріалами.

Залежно від властивостей геотекстильні матеріали поділяються на:

а) геотекстилі – тонкі водопроникні еластичні полотна, отримані шляхом об'єднання ниток або волокон із синтетичної сировини, величина вічок таких полотен менш 10 мм. Геотекстилі поділяються на: нетканні, ткані й плетені.

б) нетканні геотекстилі – виробляють з волокон минаючи операцію прядіння й ткацтва. Властивості нетканих геотекстилей залежать від способу зміцнення полотна:

– механічного (голкопробивного) – матеріали, зміцнені даним способом, як правило, анізотропні у двох взаємно перпендикулярних

напрямках, відрізняються невисокою міцністю на розтягнення і водопроникністю, мають високу деформативність;

- хімічного – зміцнення досягається за рахунок введення в матеріал сполучного клею, що фіксує волокна в місцях контакту;

- термічного – полотно піддається гарячій обробці зі спіканням волокон. Завдяки утвореній таким способом структурі, геотекстиль має відмінну водонепроникність і високі міцнісні характеристики на розтягнення.

в) тканні геотекстилі – (геотканина) – це геотекстиль, виготовлений у результаті прямокутного переплетення двох або більшої кількості ниток. Геотканини мають високу міцність, малу здатність до деформацій і водопроникність.

г) плетені геотекстилі – є різновидом тканих геотекстилів, як правило, мають чітко виражену структуру, характеризуються числом ниток на одиницю довжини полотна.

Вузли тканих і плетених геотекстилів можуть бути або скріплені або прошиті синтетичними нитками. Ткані і плетені матеріали, мають високу міцність і невелику деформативність.

д) геотекстильподібні матеріали – плоскі й об'ємні структури, що складаються з регулярно розташованих відкритих вічок розміром більше 10 мм, що мають нерухливі вузлові з'єднання.

е) геосітки – плоскі структури, що складаються з регулярно розташованих відкритих вічок розміром більше 10 мм, що мають нерухливі вузлові з'єднання. Нерухливість вузлових з'єднань залежить від способу виготовлення геосітки.

ж) георешітки – об'ємні полімерні вироби, які в робочому розтягнутому положенні являють собою стільникову конструкцію, заповнену ґрунтом або матеріалом конструктивного шару дорожнього одягу.

з) геомати – це структури з великою кількістю пор, які добре пропускають воду й служать для водовідводу із земляного полотна. Їх застосовують для озеленення схилів, захисту від водної й вітрової ерозії насипів.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і) геомембрани – суцільні непроникні рулоні матеріали товщиною 0,5...5 мм, механічно міцні й хімічно інертні до кислотних і лужних середовищ; виготовляються найчастіше з поліетилену.

к) геотекстильні глиномати – матеріали, у яких геосинтетики виступають у ролі обмежуючого каркаса для бентонітових глин. Глини в обмеженому для вільного розбухання просторі утворюють щільний гель, що перешкоджає проникненню води в шари, що розташовані нижче.

Основними характеристиками, які повинні враховуватися при застосуванні геотекстильних матеріалів, є:

- міцність на розтягнення;
- подовження при розриві;
- повзучість;
- міцність на продавлювання;
- модуль пружності;
- водопроникність;
- хімічна й біологічна стійкість;
- стійкість до погодних умов.

Залежно від фізико-механічних показників геосинтетики діляться на 4 класи, класифікація наведена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Класифікація геотекстильних матеріалів

Клас	Міцність при розтягненні, кН/м	Відносне подовження при розриві, %	Міцність на продавлювання, кН	Міцність на розрив, кН
1	<4	>25	0,1-0,3	0,05-0,10
2	4-6,9	>25	0,3-1,0	>0,1
3	7-12,9	>25	1,0-2,3	>0,1
4	>13	20-30	>2,3	>0,1

Класифікація геотекстильних матеріалів за місцем їх розташування в земляному полотні необхідна з точки зору визначення умов роботи цих матеріалів, в залежності від яких пред'являються вимоги до параметрів



матеріалів (розтягнення, розрив, фільтрація, розмір пор, шорсткість, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт тертя по ґрунту і т.п.).

Можливості застосування геотекстильних матеріалів в залежності від їх призначення для підсилення земляного полотна показані в табл. 3.3. За хімічним складом геотекстильні матеріали мають широкий спектр застосування. При виборі матеріалів основна увага звертається на його необхідну довговічність при роботі в земляному полотні з врахуванням конкретних умов взаємодії. В якості основних полімерів для виготовлення геотекстильних матеріалів використовують поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полієфір (ПЕФ), поліамід (ПА). В плитах та матах також використовують спінені полімери (пінопласти). Основним із них є пінополістирол (ПС), пінополіуретан (ППУ) та пінополіхлорвініл (ПХВ). До проведення модернізації колії проводиться обстеження ділянки земляного полотна, де плануються роботи по підсиленню. Результатом обстеження є визначення властивостей ґрунтів і причин деформацій споруди. На основі отриманих даних за рік до капітального ремонту розробляється індивідуальний проект.

Вибір варіанта підсилення земляного полотна при модернізації для ділянки колії здійснюється на підставі техніко-економічного обґрунтування, проведеного за матеріалами обстежень і спостережень, у ході яких визначається його інженерно-геологічна будова, визначається найбільш перспективний варіант стабілізації земляного полотна, який виключає подальшу деформацію його в процесі експлуатації.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 - Застосування геотекстильних матеріалів для земляного полотна

№ п/ п	Призначення матеріалу	Конструкції геотекстильних матеріалів				
		Плити	Плівки	Геотекстиль	Георешітка	Мати
1.	Армування грунту	-	-	+	+	-
2.	Розділення грунтів	+	+	+	-	-
3.	Теплоізоляція грунтів	+	-	-	-	+
4.	Фільтрація і відведення води від ґрунтів	-	-	+	-	+
5.	Гідроізоляція грунтів	-	+	-	-	+
6.	Вітрозахист конструкцій	+	-	-	-	+
7.	Протиерозійн ий захист грунтів	-	+	+	-	+

Стабільність залізничної колії, як відомо, значною мірою залежить від стану земляного полотна. Одним із його важливих елементів є основна площадка, що визначає стабільність геометрії рейкової колії. Разом із тим, складні умови роботи ґрунтів основної площадки привели до широкого розповсюдження дефектів і деформацій цього елемента, що потребує збільшених витрат на утримання колії.

Найбільш характерними для основної площадки є баластні заглиблення,

які пов'язані з недостатньою міцністю ґрунтів, що її складають, а також інших дефектів та деформацій. Для підвищення несучої здатності земляного полотна передбачаються заходи по глибокому очищенню щебеневого баласту, плануванню основної площадки, а також влаштуванню захисних підбаластних шарів. В якості захисних шарів можуть бути використані подушки з крупно – і середньозернистого піску, піщано-гравійної суміші або із щебеню фракцій менше 25 мм, а також покриття з геотекстилю.

Роботи по підсиленню земляного полотна передбачаються у складі капітального ремонту колії. При цьому впровадження в колійному господарстві залізниць нового покоління щебенеочищувальних машин, що виконують глибоке очищення баласту, дозволяє проводити роботи по підсиленню основної площадки під час їх роботи без зняття рейко-шпальної решітки. За таких умов найбільш ефективним є влаштування прошарків геотекстилю або пінополістиролу, які мають невелику товщину і значну міцність.

В останні роки постійно розширюється асортимент геотекстильних матеріалів, які використовуються при будівництві та ремонті доріг різного призначення і залізниць. Геотекстильні матеріали здатні виконувати одну або поєднувати різні функції: підсилення земляного полотна, підвищення його стійкості, відвід води, підвищення стійкості укосів і т.п.

Великий асортимент геотекстильних матеріалів вимагає необхідність в їх класифікації за умовами використання, а також розробки нових конструктивних рішень та методик розрахунку конструкцій з їх застосуванням, технологій ремонтних робіт.

*Технічні вимоги до геотекстильних матеріалів та область застосування*

Геотекстильні матеріали, які використовують для підсилення і армування земляного полотна з метою підвищення його надійності, повинні забезпечувати надійну роботу на протязі всього строку експлуатації (до 50...100 років). Це забезпечується правильним вибором геотекстильного матеріалу; призначенням (згідно з проектом) відповідних конструкцій підсилення; регламентом виконання

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології виконання робіт.

Конструкції для підсилення земляного полотна із застосуванням геотекстильних матеріалів повинні проектуватися на основі результатів інженерно-геологічних та інженерно-геодезичних вишукувань.

При проектуванні повинен забезпечуватися заданий у відповідності з нормативними вимогами рівень надійності земляного полотна по міцності, стійкості і деформативності на протязі всього строку служби конструкції.

Проектні рішення повинні включати необхідні розрахунки, які обґрунтовують конструктивні рішення, а також техніко-економічну оцінку їх застосування.

Вибраний геотекстильний матеріал необхідно випробувати і встановити його характеристики відповідно до технічних вимог, які призначаються у відповідності із типом застосованого матеріалу.

Розрахункові характеристики геотекстильних матеріалів повинні прийматися з врахуванням їх зниження за розрахунковий період служби, в тому числі за рахунок їх старіння або ушкодження в період укладання і експлуатації, а також кліматичних і біологічних впливів.

При проектуванні і розрахунку конструкцій із застосуванням геотекстильних матеріалів необхідно враховувати категорію колії.

Навантаження на конструкції з геотекстильними матеріалами повинні призначатися із врахуванням коефіцієнту можливого перевантаження. При цьому навантаження від рухомого складу необхідно приймати з врахуванням перспективних умов експлуатації залізниці.

Нормативними документами, ДСТУ встановлюються вимоги до геотекстильних матеріалів, які пропонуються для оздоровлення земляного полотна табл. 3.4.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 - Вимоги до геотекстильних матеріалів

Показник	Вимірювач	Величини	Метод випробування
1. Питома маса	г/м <sup>2</sup>	1-30	ГОСТ 15902.2-79
2. Механічні властивості			
2.1. Міцність на розтягнення	кН/м	10-20	ГОСТ 15902.3-79
2.2. Відносне подовження при розриві	%	11-30	ГОСТ 15902.3-79
2.3. Міцність при продавлюванні кулькою	кН	>2,5	ГОСТ 8847-85
2.4. Коефіцієнт фільтрації	м/с	>10×10 <sup>4</sup>	
2.5. Діаметр пор	мкм	≤ 80	DIN 60500
3. Не повинен піддаватись дії	кислот, бактерій, луг		
4. Витримувати дії прямого впливу сонця без зниження міцності	на протязі місяця		

Перед використанням геотекстильних матеріалів проводять вибіркову перевірку відповідності матеріалів характеристикам, що додаються до партії матеріалів. У випадку невідповідності характеристик умовам використання, геотекстильні матеріали застосовувати забороняється.

Геотекстильні матеріали повинні зберігатись в умовах, що рекомендуються відповідними ДСТУ і інструкціями.

#### *Класифікація та вимоги до геотекстильних матеріалів*

**Геотекстильними** матеріалами називаються матеріали, у яких як мінімум одна зі складових частин виготовлена із синтетичних або натуральних полімерів у вигляді плоских форм, стрічкових або тривимірних структур, які використовуються в геотехніці або застосовуються в інших областях будівництва в контакті із ґрунтом та іншими будівельними матеріалами.

**Геотекстилі** – тонкі водопроникні еластичні полотна, отримані шляхом об'єднання ниток або волокон із синтетичної сировини, величина вічок таких полотен менш 10 мм. Геотекстилі поділяються на: нетканні, ткані й плетені.

**Нетканні геотекстилі** – виробляють з волокон минаючи операцію

прядіння й ткацтва. Властивості нетканих геотекстилей залежать від способу зміцнення полотна:

- механічного (голкопробивного) – матеріали, зміцнені даним способом, як правило, анізотропні у двох взаємно перпендикулярних напрямках, відрізняються невисокою міцністю на розтягнення і водопроникністю, мають високу деформативність;
- хімічного – зміцнення досягається за рахунок введення в матеріал сполучного клею, що фіксує волокна в місцях контакту;
- термічного – полотно піддається гарячій обробці зі спіканням волокон. Завдяки утвореній таким способом структурі, геотекстиль має відмінну водонепроникність і високі міцнісні характеристики на розтягнення.

**Тканині геотекстилі** – (геотканина) – це геотекстиль, виготовлений у результаті прямокутного переплетення двох або більшої кількості ниток. Геотканини мають високу міцність, малу здатність до деформацій і водопроникність.

**Плетені геотекстилі** – є різновидом тканих геотекстилів, як правило, мають чітко виражену структуру, характеризуються числом ниток на одиницю довжини полотна.

Вузли тканих і плетених геотекстилів можуть бути або скріплені або прошиті синтетичними нитками. Ткани і плетені матеріали, мають високу міцність і невелику деформативність.

**Геотекстильподібні матеріали** – плоскі й об'ємні структури, що складаються з регулярно розташованих відкритих вічок розміром більше 10 мм, що мають нерухливі вузлові з'єднання.

**Геосітки** – плоскі структури, що складаються з регулярно розташованих відкритих вічок розміром більше 10 мм, що мають нерухливі вузлові з'єднання. Нерухливість вузлових з'єднань залежить від способу виготовлення геосітки.

**Георешітки** – об'ємні полімерні вироби, які в робочому розтягнутому положенні являють собою стільникову конструкцію, заповнену ґрунтом або

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалом конструктивного шару дорожнього одягу.

**Геомати** – це структури з великою кількістю пор, які добре пропускають воду й служать для водовідводу із земляного полотна. Їх застосовують для озеленення схилів, захисту від водної й вітрової ерозії насипів.

**Геомембрани** – суцільні непроникні рулонні матеріали товщиною 0,5...5 мм, механічно міцні й хімічно інертні до кислотних і лужних середовищ; виготовляються найчастіше з поліетилену.

**Геотекстильні глиномати** – матеріали, у яких геосинтетики виступають у ролі обмежуючого каркаса для бентонітових глин. Глини в обмеженому для вільного розбухання просторі утворюють щільний гель, що перешкоджає проникненню вологи в шари, що розташовані нижче.

**Геокомпозити** – двох, трьох або багат шарові структури, що складаються із плоских, об'ємних і інших матеріалів. Властивості геокомпозита залежать від властивостей компонентів і їхнього взаємного розташування.

Основними характеристиками, які повинні враховуватися при застосуванні геотекстильних матеріалів, є:

- міцність на розтягнення;
- подовження при розриві;
- повзучість;
- міцність на продавлювання;
- модуль пружності;
- водопроникність;
- хімічна й біологічна стійкість;
- стійкість до погодних умов.

Залежно від фізико-механічних показників геосинтетики діляться на 4 класи, класифікація наведена в таблиці 3.5.

					0053.160312.ДР.2021.001	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 - Класифікація геотекстильних матеріалів

Клас	Міцність при розтягненні, кН/м	Відносне подовження при розриві, %	Міцність на продавлювання, кН	Міцність на розрив, кН
1	<4	>25	0,1-0,3	0,05-0,10
2	4-6,9	>25	0,3-1,0	>0,1
3	7-12,9	>25	1,0-2,3	>0,1
4	>13	20-30	>2,3	>0,1

Класифікація геотекстильних матеріалів за місцем їх розташування в земляному полотні необхідна з точки зору визначення умов роботи цих матеріалів, в залежності від яких пред'являються вимоги до параметрів матеріалів (розтягнення, розрив, фільтрація, розмір пор, шорсткість, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт тертя по ґрунту і т.п.).

Можливості застосування геотекстильних матеріалів в залежності від їх призначення для підсилення земляного полотна показані в табл. 3.3.

Таблиця 2.6

### Застосування геотекстильних матеріалів для підсилення земляного полотна

№ п/п	Призначення матеріалу	Конструкції геотекстильних матеріалів				
		Плити	Плівки	Геотекстиль	Георешітка	Мати
1.	Армування ґрунту	—	—	+	+	—
2.	Розділення ґрунтів	+	+	+	—	—
3.	Теплоізоляція ґрунтів	+	—	—	—	+
4.	Фільтрація і відведення води від ґрунтів	—	—	+	—	+
5.	Гідроізоляція ґрунтів	—	+	—	—	+
6.	Вітрозахист конструкцій	+	—	—	—	+
7.	Протиерозійний захист ґрунтів	—	+	+	—	+

За хімічним складом геотекстильні матеріали мають широкий спектр застосування. При виборі матеріалів основна увага звертається на його



необхідну довговічність при роботі в земляному полотні з врахуванням конкретних умов взаємодії. В якості основних полімерів для виготовлення геотекстильних матеріалів використовують поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), поліефір (ПЕФ), поліамід (ПА). В плитах та матах також використовують спінені полімери (пінопласти). Основним із них є пінополістирол (ПС), пінополіуретан (ППУ) та пінополіхлорвініл (ПХВ). Композити представляють собою комбінацію кількох видів полімерів або конструктивно складаються із елементів, виготовлених із різних матеріалів.

Перелік технічних вимог до геотекстильних матеріалів, що застосовують для підсилення земляного полотна, визначаються їх призначенням, місцем укладання і типом конструктивних елементів (табл. 3.7).

Таблиця 3.7- Технічні вимоги по міцності в залежності від типу геотекстильних матеріалів

Конструктивні елементи*	Міцність при статичних випробуваннях на			Довготривала міцність	Зчеплення з ґрунтом	Модуль деформації	Морозостійкість
	Стиск	Згин	Розтяг				
Плити	+	+	–	+	–	+	+
Плівка	–	–	+	+	–	–	–
Геотекстилі	–	–	+	+	–	–	–
Георешітки	–	–	+	+	–	–	–
Мати	+	–	+	+	–	+	+

\* Примітка. Місце застосування конструктивних елементів – основна площадка

В загальному випадку технічні вимоги до геотекстильних матеріалів можна розділити на кілька груп.

I група – міцність і деформативність. Основні вимоги: міцність на стиск, розтяг, згин, продавлювання, динамічні навантаження, зчеплення з ґрунтом, модуль пружності і деформації.

II група – гідравлічні характеристики: ефективний діаметр пор,

водопоглинання, фільтрація.

III група – теплофізичні характеристики, включно вимоги до коефіцієнту теплопровідності.

IV група – стійкість до шкідливих впливів, включно вимоги хімічної стійкості до лугів та кислот, мікроорганізмів і бактерій, ультрафіолетового випромінюванню. Ці вимоги пред'являють до всіх геосинтетиків та геотекстилів.

V група – геометричні розміри і маса елементів, включно вимоги до довжини, ширини, товщини, діаметру рулонів, допусків зміни розмірів.

Вимоги до матеріалів визначаються конкретними умовами застосування і наводяться в проекті ремонту чи модернізації колії.

В табл. 3.7 наведені вимоги до геотекстилю, який використовується як розділюючий шар, в табл. 3.8. – вимоги до геосіток і георешіток.

**Таблиця 3.8 - Вимоги до геотекстилю, який розділює шари ґрунтів**

№ п/п	Показник	Значення для геотекстильного матеріалу	
		Нетканого	Тканого
1.	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	≥ 280	≥ 220
2.	Розривне навантаження на стрічку шириною 5 см, кН	≥ 0,8	≥ 1,8
3.	Відносне подовження при розриві, %	<80	≥ 20
4.	Міцність при продавлюванні кулькою, кН	≥ 1,2	≥ 1,2
5.	Коефіцієнт фільтрації при тиску 200 кПа, м/с	≥ 1·10 <sup>-4</sup>	≥ 1·10 <sup>-4</sup>
6.	Геометричні розміри: – ширина, м – довжина, м – діаметр рулону, см	4,2...4,5 Не менше 50 Не більше 38*	

\* Примітка. При укладанні без зняття рейко-шпальної решітки.

Таблиця 3.9 - Вимоги до геосіток і георешіток для армуючих елементів

№ п/п	Показник	Значення
1.	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	≥ 200
2.	Розривне навантаження в поздовжньому і поперечному напрямках, кН	≥ 20
3.	Відносне подовження при розриві, %	<15
4.	Міцність в вузлах від міцності матеріалу, кН	≥ 90
5.	Геометричні розміри: – ширина, м – довжина, м – діаметр рулону, см – розмір вічок, мм	4,0 ≥ 20 Не більше 38 ≥ 20×20

Для оцінки експлуатаційних можливостей геотекстилю при його використанні для підсилення земляного полотна повинні бути проведені випробування, метою яких є визначення наступних показників: поверхневої щільності матеріалу; розривного навантаження; відносного подовження при розриві; міцності при продавлюванні кулькою; коефіцієнт фільтрації через матеріал; фактичного діаметру пор.

Випробування виконуються на основі діючих методик і ДСТУ. До використання пропонуються матеріали, які сертифіковані в Україні.

Аналіз виконаних досліджень і досвіду використання на залізницях в різних країнах Європи дозволяє систематизувати найпоширеніші матеріали, які придатні для підсилення земляного полотна в різних умовах і конструкціях. Дані при використанні геотекстильних матеріалів наведені в табл. 3.10 і 3.11.

Таблиця 3.10

## Геотекстильні матеріали для посилення земляного полотна

№ п/п	Назва виробу	Умовно скорочена назва	Загальна характеристика	Область використання
1.	Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (140)	Поверхнева щільність – 140 г/м <sup>2</sup> . Розривне навантаження по довжині – 8,8 кН/м. Подовження при розриві – 80 %. Ширина – 180 см.	Армування ґрунтів земляного полотна, розділення шарів ґрунту.
2.	Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (180)	Поверхнева щільність – 180 г/м <sup>2</sup> , 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 системи.
3.	Геотекстильні неткані матеріали (лавсанові)	2 В 211 (250) 211 (380) 211 (470) 211 (550)	Поверхнева щільність – від 250 до 550 г/м <sup>2</sup> , розривне навантаження – від 18,5 до 22 кН/м. Подовження при розриві – від 91 до 86 %.	Армування ґрунтів земляного полотна, розділення шарів ґрунту.
4.	Поліфелт – геотекстильний нетканий матеріал	TS-10, TS-20, TS-30, TS-40, TS-50, TS-60, TS-70,	Подовжена щільність – від 17 до 28 г/м <sup>2</sup> , подовження при розриві по довжині – від 75 до 80 %. Розривне навантаження по довжині – від 9,5 до 25 кН/м.	Будівництво залізниць, укріплення земляного полотна, розділення шарів ґрунту.

№ п/п	Назва виробу	Умовно скорочена назва	Загальна характеристика	Область використання
		TS-80		
5.	Неткані голкопробивні полотнища Генком*	Геоком Д-250, Д-330, Д- 360, Д-450, Д- 500	Поверхнева щільність – від 250 до 500 г/м <sup>2</sup> , 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.
6.	Композитні фільтруючі мати Polifelt-F. Односторонній фільтр – геотекстиль.	Polifelt – F80	Поверхнева щільність – 800 г/м <sup>2</sup> , товщина – 0,5 мм. Розривне навантаження по довжині – 35 кН/м. Подовження при розриві по довжині – 85 %. Водопроникнення – 10 <sup>-3</sup> м/с.	Захист від ерозії ґрунту і фільтрування води.
7.	Polifelt Polimat Трьохмірний матеріал з поліпропіленових неорієнтованих моноволокон у вигляді трьохмірного мату.	Polifelt Polimat 810	Поверхнева щільність – 400 г/м <sup>2</sup> , міцність на розтягнення: по довжині – 1,8 кН/м <sup>2</sup> , по ширині – 0,9 кН/м <sup>2</sup> . Подовження при розриві: по довжині – 17 %, по ширині – 11 %.	Використовується для армування укосів.
8.	Polifelt Rock PEC – високоміцний композитний матеріал з нетканого голкопробивного геотекстилю.	Polifelt Rock PEC 35, 75, 100, 200	Поверхнева щільність – 280 г/м <sup>2</sup> . Міцність на розтягнення – 35 кН/м. Подовження при розриві по довжині – 13 %, водопроникнення – 10 <sup>-3</sup> м/с.	Використовується для стабілізації насипів земляного полотна.
9.	Polifelt Rock – G	Rock	Поверхнева щільність – 330...470 г/м <sup>2</sup> . Міцність	Використовується для укріп-

№ п/п	Назва виробу	Умовно скорочена назва	Загальна характеристика	Область використання
	Плоска георешітка з міцних поліефірних ниток з полімерним покриттям.	G 55/55 G80/80 G55/30	на розтягнення по довжині – 55...80 кН/м. Подовження при розриві – 15 %.	лення незв'язних ґрунтів в конструкціях земляного полотна.
10.	Kortex GT – геотекстиль.	Kortex GT	Поверхнева щільність – 300...350 г/м <sup>2</sup> . Міцність на розтягнення в поздовжньому напрямку – від 35 до 100 кН/м.	Використовується для посилення земляного полотна.
11.	Armatex G – геосітка.	Armatex G	Поверхнева щільність – 50 г/м <sup>2</sup> . Міцність на розтяг в поздовжньому напрямку – від 15 до 100 кН/м. Подовження при розриві 15 %.	Використовується для армування дамб, насипів, посилення укосів, улаштування підпірних стін.
12.	Fortrec GR – георешітки.	Fortrec	Висока несуча здатність, невелике подовження.	Використовується для армування насипів, укріплення укосів.
13.	Tensar – георешітка.		Подовження при розриві – 11 %.	Використовується для посилення земляного полотна.
14.	Typar	Typar	Поверхнева щільність – 250 г/м <sup>2</sup> . Міцність на розрив – 4...29 кН/м. Подовження при розриві 60 % і більше.	Використовується для розділення шарів ґрунту, дренажу і посилення

№ п/п	Назва виробу	Умовно скорочена назва	Загальна характеристика	Область використання
				земляного полотна.
15.	Террам PWI – нетканый матеріал		Поверхнева щільність – 80 г/м <sup>2</sup> . Міцність на розрив – 10...20 кН/м. Подовження при розриві – 15 %	Використовується для посилення земляного полотна.

**Вимоги до плит полістиролу,  
які застосовуються для розділення шарів ґрунту**

№ п/п	Показник	Значення
1.	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	≥ 35
2.	Міцність на стиск при 5 % лінійної деформації, МПа	> 20
3.	Допустима міцність при згині, МПа	≥ 0,7
4.	Деформативність при багатократному прикладенню динамічного навантаження	≤ 2
5.	Водопоглинення по об'єму за 24 год, %	≤ 0,5
6.	Геометричні розміри плит: — довжина, м — ширина, м — товщина, мм	≥ 4,0 ≥ 0,6 ≥ 40

Примітка. Плити повинні мати пази довжиною більше 20 мм для перекриття швів.

**Висновки до розділу 3**

У даному розділі ми розглянули різні схеми укладання геотекстилів (геотекстилю сітки, геотекстилю волокна та біологічного геотекстилю на укусах) та дослідили їхні технічні характеристики. Провівши аналіз, ми дійшли висновку, що варіант номер два є більш вигіднішим, хоч і трудозатратнішим.

Він дозволяє забезпечити більшу міцність та стійкість залізничної колії, її протистояння до різних видів деформацій. Щебеневий шар залишається незабрудненим, тому що колійна щебенеочисна техніка може працювати, не завдаючи ніякої шкоди геотекстилю завдяки його розміщенню під пісчаною подушкою, на відміну від першого варіанту. А також проводимо укріплення укусів за допомогою біологічного геотекстилю. Завдяки цьому продовжується строк служби земляного полотна та залізничної колії в цілому.

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



## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК АРМУЮЧОГО МАТЕРІАЛА ҐРУНТА

### 4.1. ВИПРОБУВАННЯ ҐРУНТУ НА МІЦНІСТЬ

Одноосьовий стиск – є найбільш простим способом випробування ґрунтів на міцність: велике головне напруження дорівнює вертикальному навантаженню на зразок, мале головне напруження дорівнює “0”.

Такому випробуванню можуть бути підвладні тільки зразки зв’язного ґрунту. Випробування проводиться в умовах закритої системи, при незмінній вологості ґрунту. Для цього потрібне швидке завантаження зразка (тривалість випробування не повинна перевищувати 10-15 хв).

Опір зсуву приймається незалежним від нормального навантаження та дорівнює половині від руйнівного напруження стиску. Таким чином, графік зсуву умовно проводиться паралельно осі абсцис по дотичній до кола Мора. Параметри графіка зсуву: зціплення, кут внутрішнього тертя.

Прибор для випробування на одноосьовий тиск складається з металевого диску (основи), рамки, штока та кришки, яка надівається на верх зразка. Рамка служить для кріплення індикатора та має втулку, направляючу руху штока. Прибор встановлюється на універсальний важільний прес, за допомогою якого крізь тяги з коромислом передається на шток вертикальне навантаження.

#### *Виконання роботи*

Зразок встановлюють в прилад, закріпивши індикатор на позначці “0” в стиснутому положенні. Потім передають ступені вертикального навантаження з інтервалом часу в 1 хвилину.

Рекомендуються наступні ступені тиску на зразок в залежності від консистенції ґрунту: для м’якопластичної консистенції –  $0,125 \text{ кгс/см}^2$ , для полутвердої та тугопластичної консистенції –  $0,25 \text{ кгс/см}^2$ , для твердої консистенції –  $0,625 \text{ кгс/см}^2$ . Вищевказані ступені тиску робляться установкою вагів 0,1; 0,2 и 0,5 кг на підвіску важіля. Ступені навантаження прикладаються через кожну хвилину до руйнування зразка.

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

В журнал випробувань заносяться деформації ґрунту, які фіксуються індикатором в момент часу перед прикладанням кожного нового ступеня навантаження.

Таблиця 4.1 – Виміри абсолютної деформації зразків

Навантаж. На важіль Н	Тиск	Абсол. Деформ. Зразка без нічого 1	Абсол. Деформ. Зразка без нічого 2	Абсол. Деформ. Зразка РЕС 55/50F(2 шари)	Абсол.деф орм. зразка РЕС 55/50F(1 шар)	Абсол.де форм. зразка С40/17(2 шари)	Абсол.де форм. зразкаС4 0/17(1ша р)	Абсол.де форм. зразка TS- 65(2шар и)	Абсол.деф орм. зразкаTS- 65(1шар)
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0000	0,0250	0,0700	0,0500	0,8500	0,5700	0,3900	0,1100	0,3900	0,6000
4,0000	0,0500	0,2600	0,1900	1,6000	1,2000	1,0800	0,2000	1,1000	1,2500
6,0000	0,0750	0,5200	0,4200	2,6000	1,9300	1,9200	0,4800	1,9000	2,0000
8,0000	0,1000	0,8600	0,7400	3,6500	2,7000	2,9000	1,0500	2,9100	2,7500
10,000 0	0,1250	1,2400	1,4000	4,8500	3,5800	4,0500	1,8800	4,1500	3,5500
12,000 0	0,1500	1,7100	1,9500	6,1600	4,5300	5,3800	2,9600	5,8500	4,5500
14,000 0	0,1750	2,2500	3,0000	8,2000	5,7500	7,1500	4,2000		5,9200
16,000 0	0,2000	2,8500	5,0000		6,8000	11,0000	5,6800		
18,000 0	0,2250	3,5000					7,6800		

Продовження таблиці 4.1

$\epsilon$ (для зразка без нічого 1)	$\epsilon$ (зразка без нічого 2)	$\epsilon$ ( для зразка РЕС 55/50F(2 шари))	$\epsilon$ (зразка РЕС 55/50F( шар))	$\epsilon$ (для зразка С40/17(2шари))	$\epsilon$ (для зразка С40/17(1 шар))	$\epsilon$ (для зразка TS-65(2шари))	$\epsilon$ (для зразка TS-65(1шар))
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0009	0,0007	0,0113	0,0076	0,0052	0,0015	0,0052	0,0080
0,0035	0,0025	0,0213	0,0160	0,0144	0,0027	0,0147	0,0167
0,0069	0,0056	0,0347	0,0257	0,0256	0,0064	0,0253	0,0267
0,0115	0,0099	0,0487	0,0360	0,0387	0,0140	0,0388	0,0367
0,0165	0,0187	0,0647	0,0477	0,0540	0,0251	0,0553	0,0473
0,0228	0,0260	0,0821	0,0604	0,0717	0,0395	0,0780	0,0607
0,0300	0,0400	0,1093	0,0767	0,0953	0,0560		0,0789
0,0380	0,0667		0,0907	0,1467	0,0757		
0,0467					0,1024		

По результатам розрахунків будуюмо графік  $\epsilon=f(\sigma)$ .

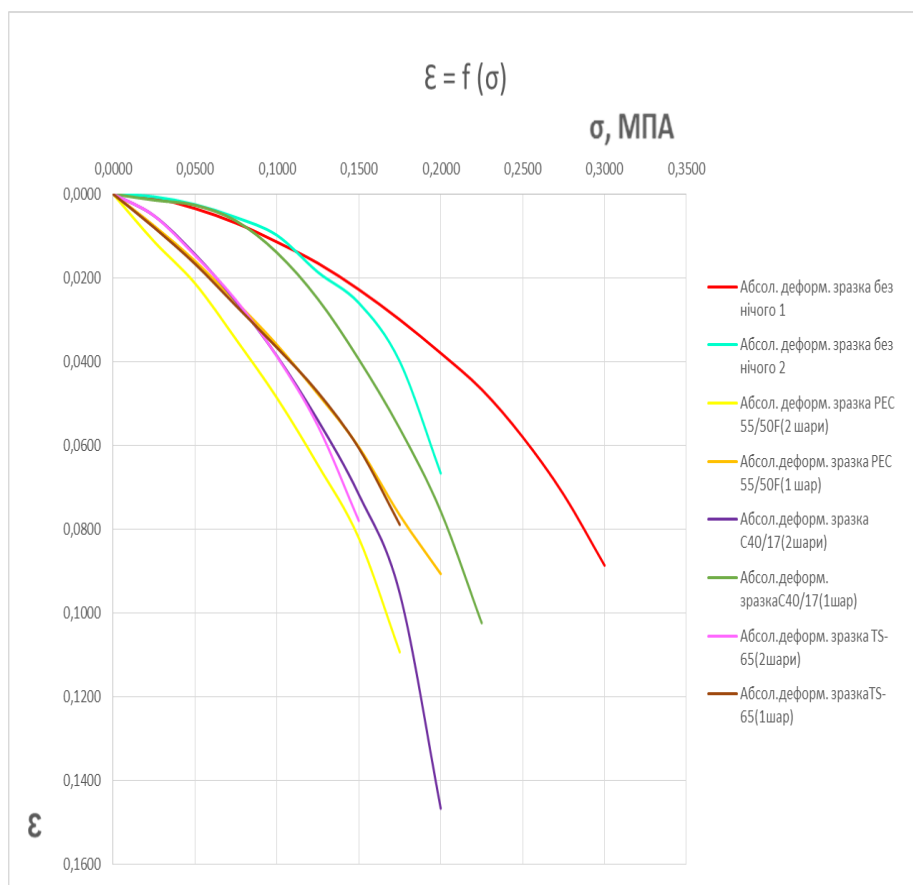


Рисунок 4.1 - залежності  $\epsilon=f(\sigma)$  кожного зразка

Графіки залежності  $\epsilon=f(\sigma)$  кожного окремого зразка винесені в Додаток А.

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

Таблиця 4.2 – Залежність  $Q$  рушення від  $E$ 

	$Q_{\text{рушен.}}$	$Q_{\text{рушен./з}}$	$\epsilon_0$	$E$
Зразок без геотекстилю 1	0,30	0,10	0,01	8,33
Зразок без геотекстилю 2	0,20	0,07	0,01	9,52
РЕС 55/50F(2)	0,18	0,06	0,03	2,08
РЕС 55/50F(1)	0,200,15	0,07	0,01	11,11
C40/17(2)	0,20	0,07	0,02	3,51
C40/17(1)	0,23	0,08	0,01	15,00
TS-65(2)	0,15	0,05	0,02	3,33
TS-65(1)	0,17	0,06	0,02	2,83

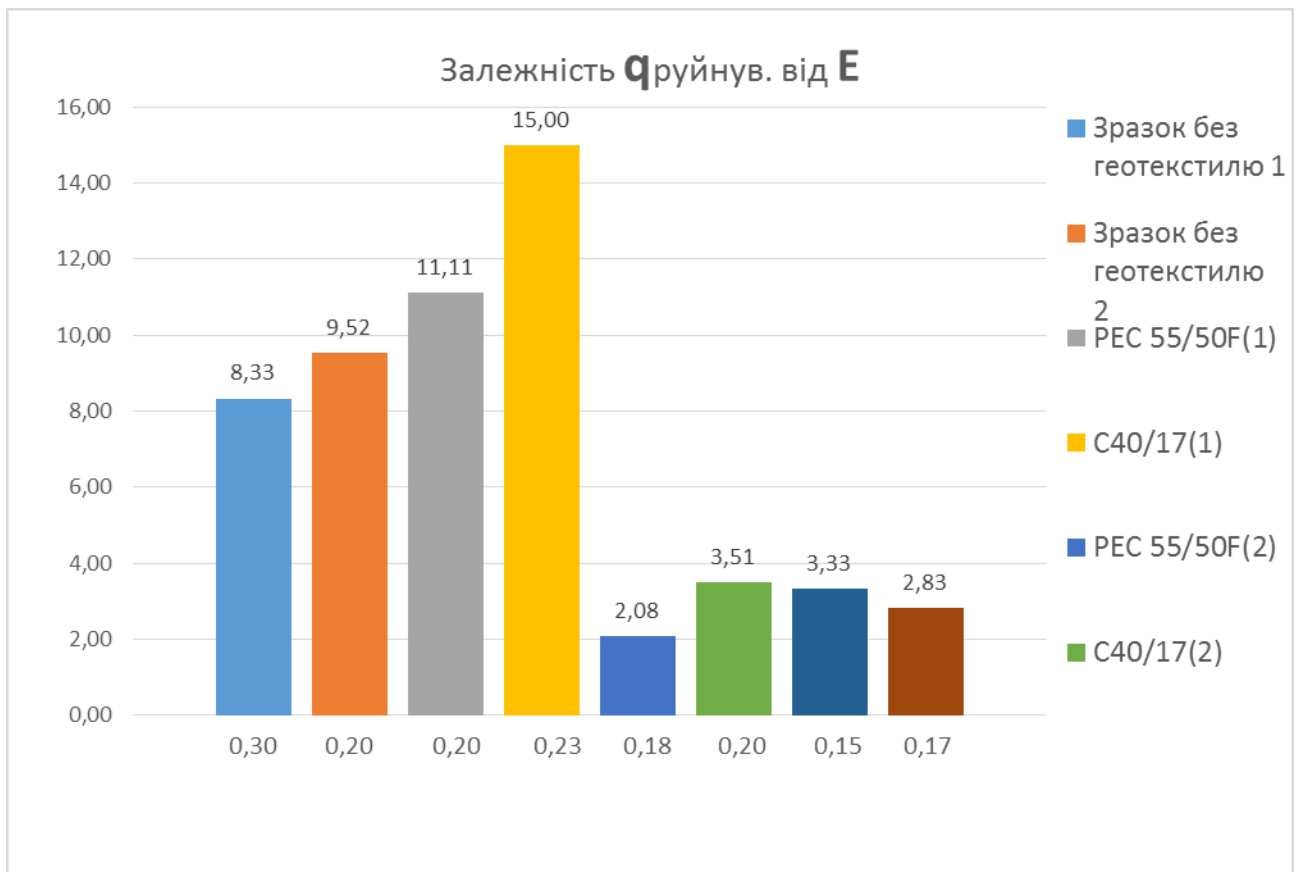


Рисунок 4.2 – Залежність  $Q$  рушення від  $E$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

До несучих шарів земляного полотна висувають певні вимоги по відношенню до розмірів, виду ґрунту, його щільності, вологості та фільтраційної здатності. При цьому слід віддавати перевагу полотну і ґрунту, що має достатню несучу здатність.

Проедений аналіз використання геосинтетичних матеріалів для посилення ґрунтів насипів виявив наступне:

При проведенні статичних досліджень неармованих та армованих зразків ґрунту  $Q_{руйн.неармованих}$  знаходиться в межах (0,20-0,30), а армованих – (0,15-0,20).

Абсолютна деформація – неармованих зразків – 2,25 – 3,00; армованих- 5-11.

Побудовані графіки залежності  $Q_{руйн}$  від  $E$ , та  $\varepsilon=f(\sigma)$ .

Армовані ґрунти збільшують несучу здатність на 20-30% від неармованих.

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

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. Вопросы проектирования и расчета: Учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. – М.:Трансжелдориздат, 1953.
2. Ашпиз Е.С. Опыт применения геосинтетических материалов при усилении и реконструкции земляного полотна железных дорог: М-лы второй междунар. науч.-техн. конф. «Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов» / Под ред. А.В. Петряева, Е.С. Свинцова – СПб.: ПГУПС, 2002. – С. 7 – 14.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
4. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов и др.; Под ред. Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.
5. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України 0072.
6. Ланис А.Л., Овчинников С.А. Усиление грунтов земляного полотна армирующими конструкциями // Тр. IX междунар. конф. «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». – М: Изд-во МГУПС, 2012. – С. 111-113.
7. Правила технічної експлуатації залізниць України 25 лютого 1997 р. за N 50/1854.

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

## ДОДАТОК А

Рисунок А.1 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації без нічого

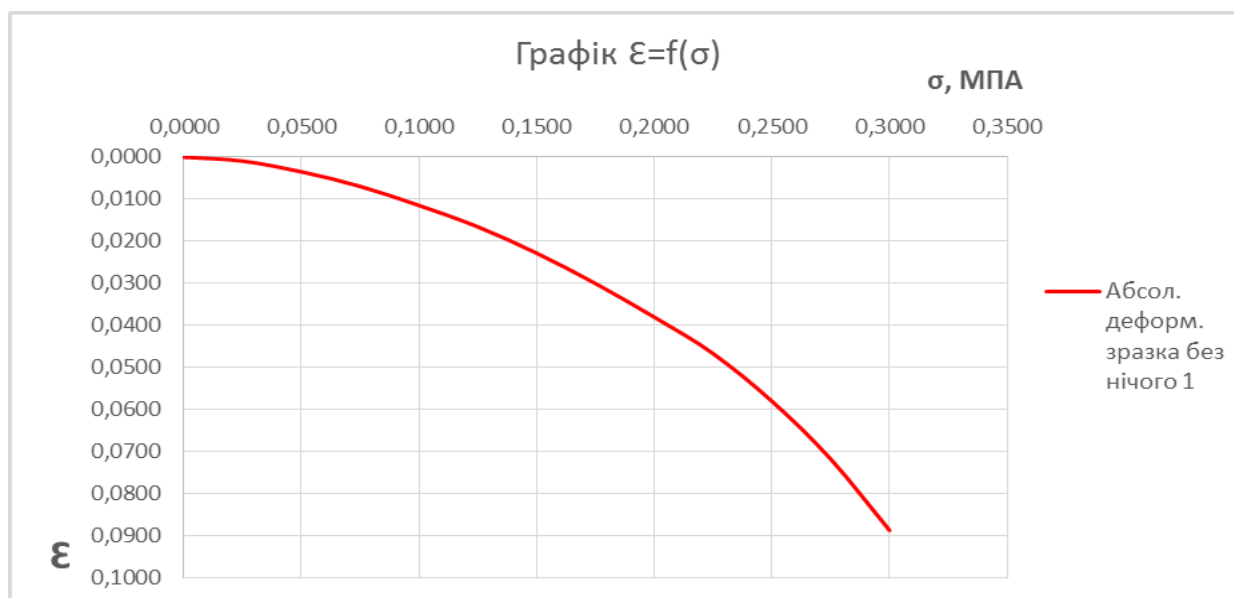
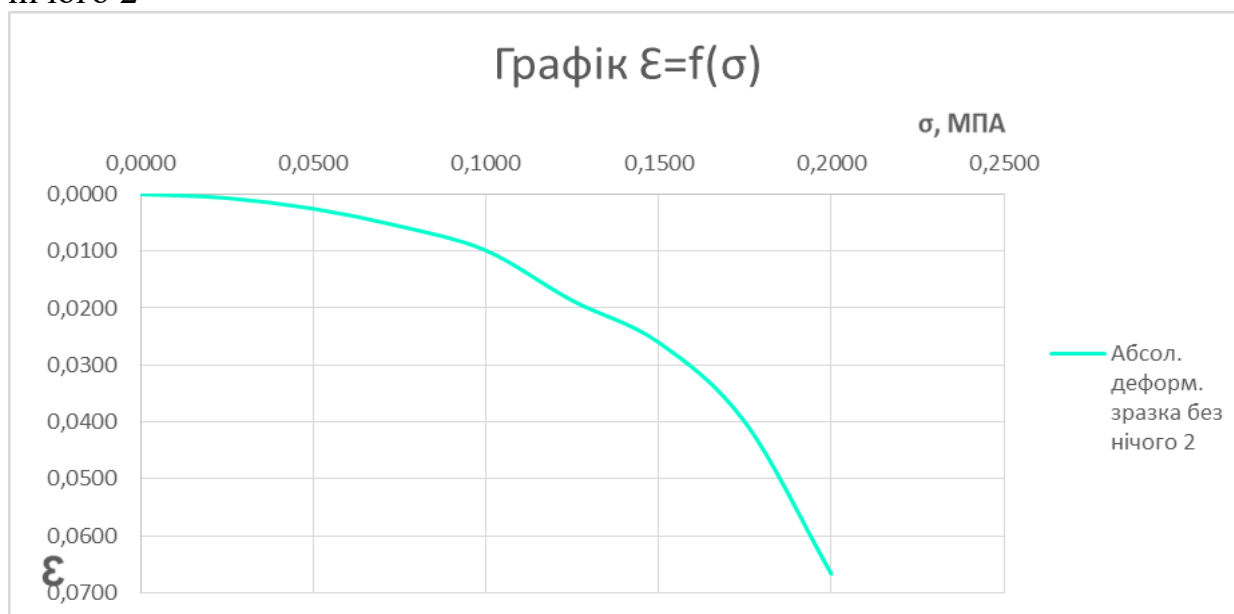


Рисунок А.2 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації без нічого 2



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0053.160312.ДР.2021.001

Арк.



Рисунок А.3 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації РЕС 55/50F (2 шари)

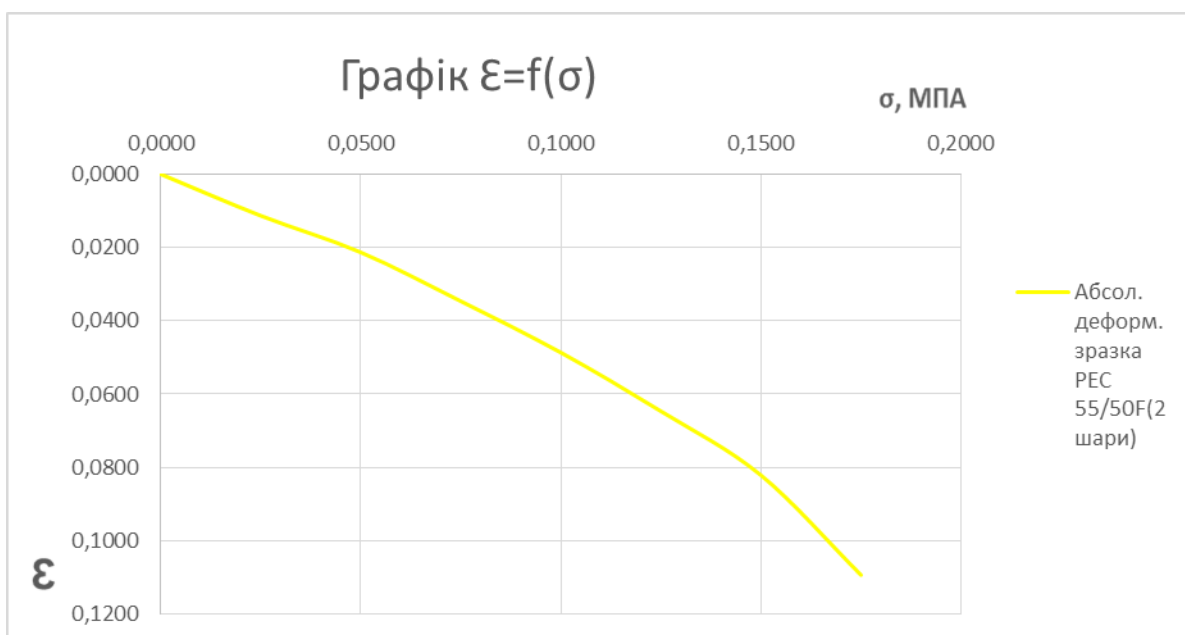


Рисунок А.4 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації РЕС 55/50F (1 шар).

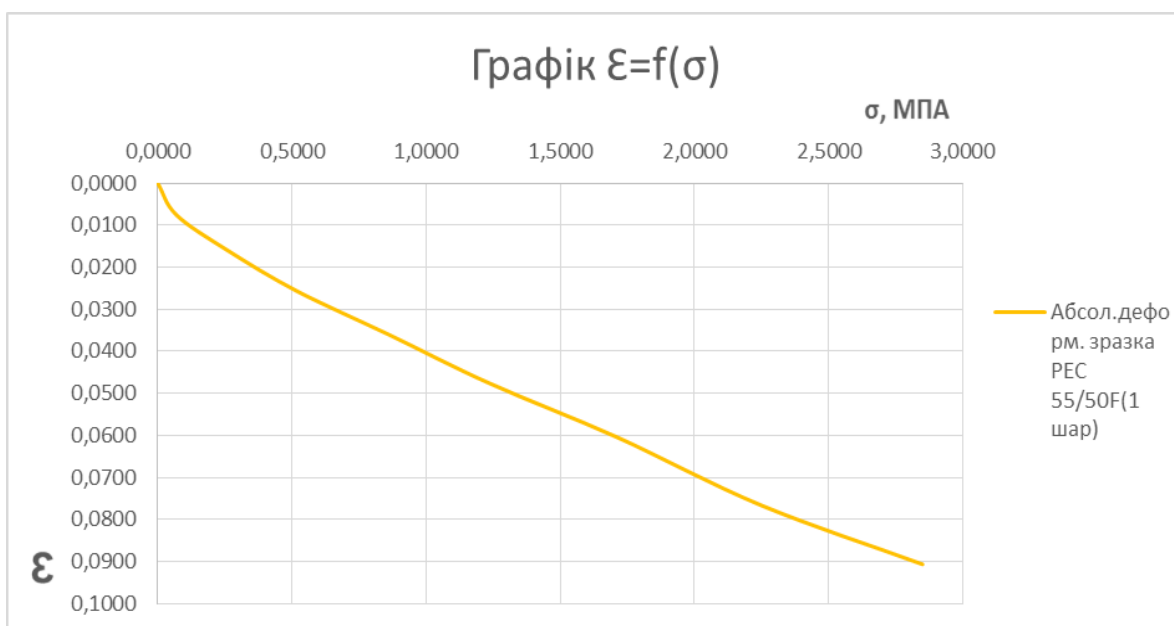


Рисунок А.5 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації С40/17 (2 шари)

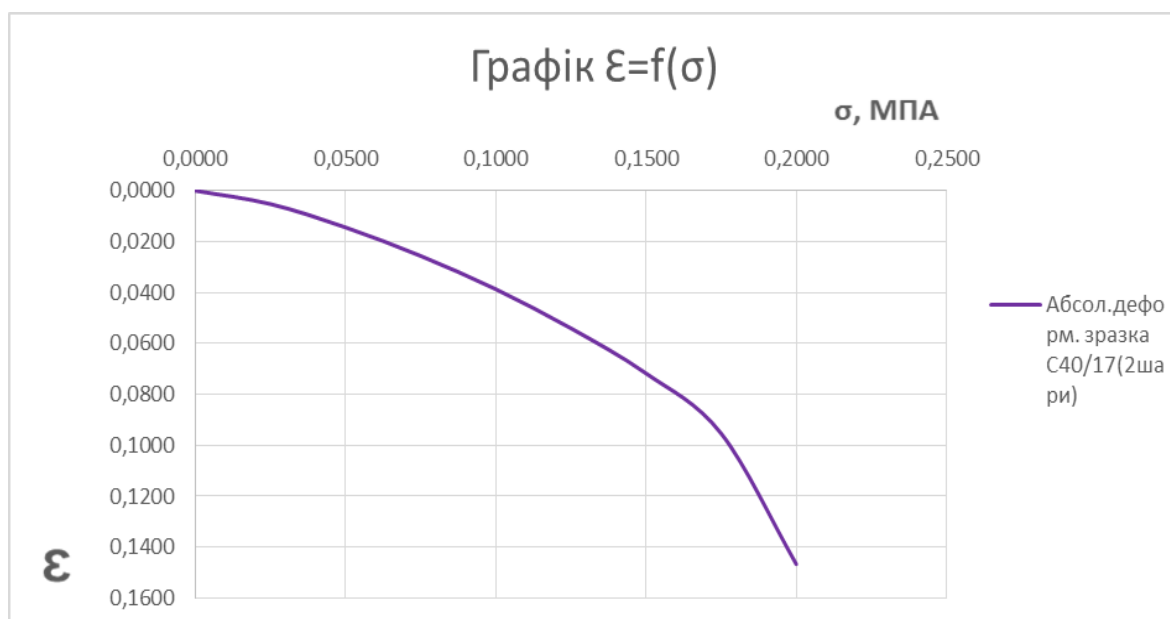


Рисунок А.6 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації С40/17 (1 шар).

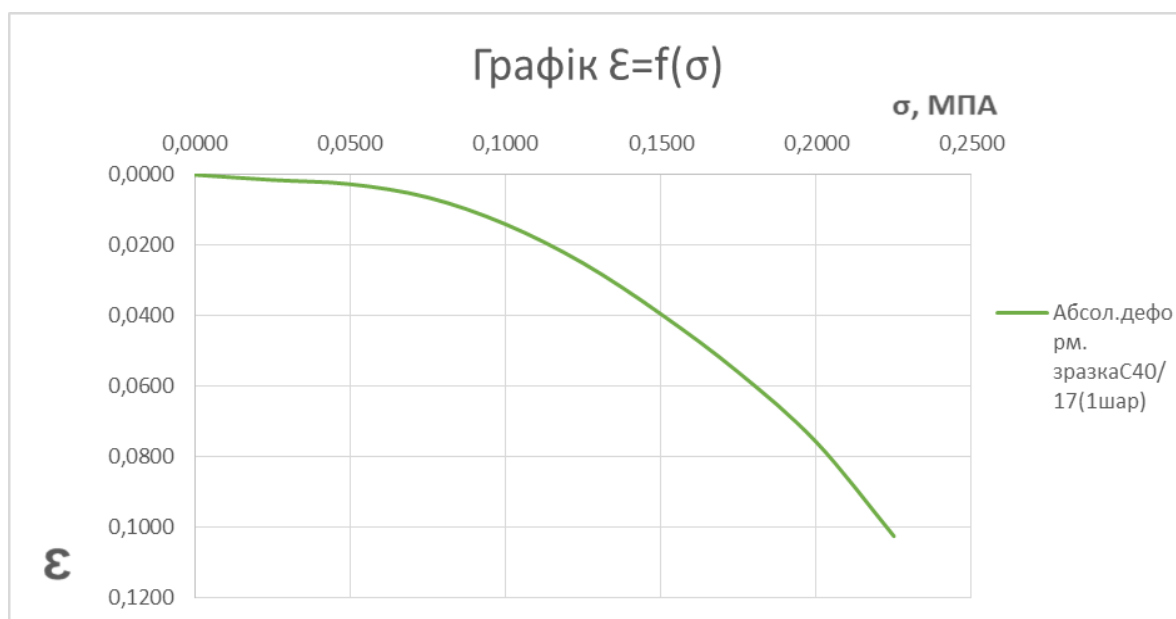


Рисунок А.7 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації TS-65 (2 шари).

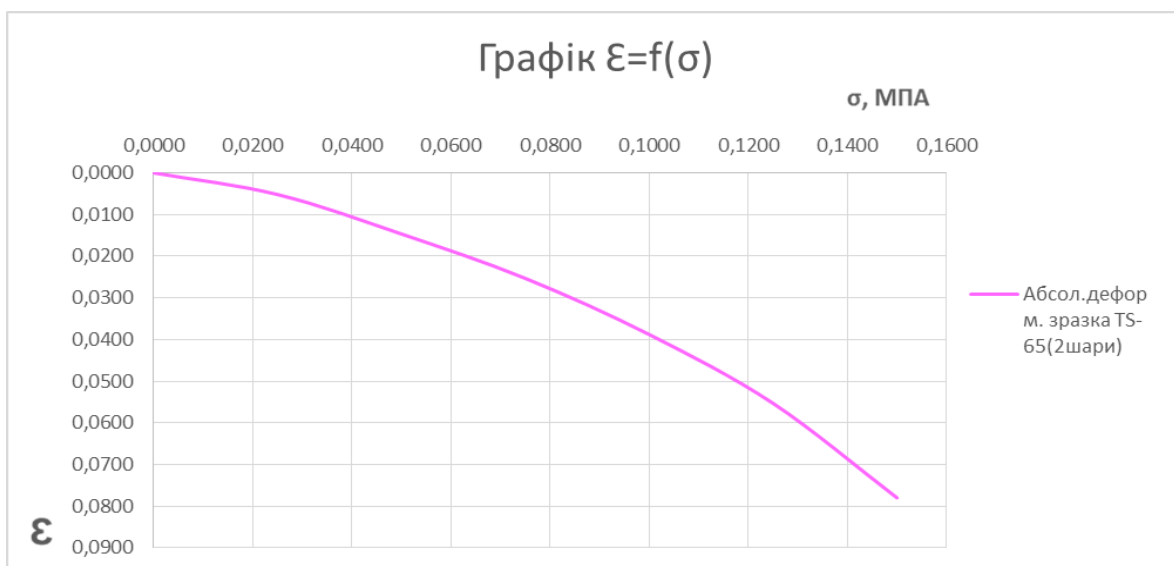


Рисунок А.8 – залежність  $\varepsilon = f(\sigma)$  зразка абсолютної деформації TS-65 (1 шар).

