

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних конструкцій

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій
_____ Циганенко Л.А.
підпис
« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей»

Виконав (ла)	_____	Терещенко А.Ю.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Група		ЗПЦБ 2301м
(Науковий) керівник	_____	Павлюченко М.В.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Терещенко Артем Юрійович

Тема роботи: Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей

Затверджено наказом по університету №2915/ос від "30" серпня 2024р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "09" грудня 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

для виконання досліджень обрати ґрунти з високою/середньою

проникністю та з низькою проникністю; описати добавки ТМ МАРЕІ

для підсилення ґрунтів та навести склад п'яти серій зразків для

випробувань; виготовити 5 (п'ять) серій зразків ґрунтів, у

відповідності з завданням досліджень; визначити фізико-механічні

характеристики ґрунтів після підсилення матеріалами у

лабораторних умовах; провести чисельні розрахунки з отриманими

параметрами при реконструкції будівлі

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Огляд основних методів зміцнення ґрунтів основ. Аналіз різновидів

ґрунтів. Опис вихідних даних для проведення досліджень.

Виготовлення дослідних зразків для проведення досліджень.

Використання методу одноплощинного зрізу. Використання

методу компресійного стиску. Результати проведених випробувань.

Впровадження результатів досліджень в практику будівництва.

Опис методики розрахунку та розрахункова модель. Розрахункові

випадки. Результати розрахунку

Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

Аналіз пошкоджень просідання фундаментів та руйнування

будівель. Класифікація методів підсилення ґрунтів. Склад дослідних

композицій з використанням сучасних матеріалів ТМ MAPEI.

Випробування зразків методом одноплощинного зрізу в зрізних

приладах з фіксованою площиною зрізу, методом компресійного

стиску в компресійних приладах (одометрах). Розрахункова

скінченно-елементна модель будівлі. Модель ґрунту на плані з

позначенням номерів шурфів. Результати розрахунку

Керівник :

(підпис)

Павлюченко М.В.

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

Луцьковський В.М.

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

Терещенко А.Ю.

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Терещенко Артем Юрійович. Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР.

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків дає змогу підвищити жорсткість ґрунтової основи втричі та більше, а тримальну здатність – у 10 разів і більше, у відповідності до обраних складів.

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що наразі налічується безліч способів зміцнення ґрунту, кожен із яких володіє як перевагами, так і недоліками. Зазвичай застосування конкретного методу обмежується типом ґрунту.

Вибір способу закріплення ґрунту залежить від умов, що панують у районі будівництва, а також від можливостей його реалізації. До цього питання слід підходити серйозно, враховуючи всі плюси та мінуси. У кожному конкретному випадку вибір методу є індивідуальним. Важливо провести аналіз з різних аспектів – застосування, економічних факторів та переваг і недоліків. Крім того, можливе поєднання різних методів для ефективного вирішення широкого спектра ситуацій.

В основній частині проведено дослідження фізико-механічних параметрів підсиленних ґрунтів за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення. Аналіз різновидів ґрунтів. Опис вихідних даних для проведення досліджень. Виготовлення дослідних зразків для проведення

досліджень. Використання методу одноплощинного зрізу. Використання методу компресійного стиску. Наведені результати проведених випробувань. Розроблено впровадження результатів досліджень в практику будівництва. Опис вихідних даних. Опис методики розрахунку та розрахункова модель. Розрахункові випадки.

У **висновках** наведено результати експериментально-теоретичних досліджень ефективності застосування готових складів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення ґрунтів основ будівель при реконструкції. Об'єктами дослідження були прийняті ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю. Проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів природного стану та після зміцнення проводилось в лабораторних умовах. Використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків дозволяє збільшити жорсткість основи в 3 рази і більше, несучу здатність у 10 раз та більше відповідно до прийнятих композицій.

Ключові слова: ґрунти, хімічне закріплення, несуча здатність, фундамент, розрахункова модель.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Терещенко А., Павлюченков М. Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» (November 25-27, 2024. Montreal, Canada). European Open Science Space (Інтернет конференція). – 2024. – С. 49-51.

В **додатках** наведено; тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 63 сторінках, у тому числі 7 таблиць, 31 рисунку. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 22 використаних джерел, 2 додатків на 28 сторінках. Графічна частина складається з 24 слайдів мультимедійної презентації.

Зміст

Розділ 1. Загальна характеристика роботи	3
Розділ 2 Огляд основних методів зміцнення ґрунтів основ	5
2.1 Загальні відомості щодо методів зміцнення ґрунтів основ	5
2.2 Опис фізичних методів закріплення ґрунтів	7
2.3 Опис механічних методів закріплення ґрунтів	9
2.4 Опис хімічних методів закріплення ґрунтів	14
Висновки по Розділу 2	18
Розділ 3 Дослідження фізико-механічних параметрів підсилених ґрунтів	19
3.1 Аналіз різновидів ґрунтів	19
3.2 Опис вихідних даних для проведення досліджень	20
3.3 Виготовлення дослідних зразків для проведення досліджень	23
3.4 Використання методу одноплощинного зрізу	27
3.5 Використання методу компресійного стиску	32
3.6 Результати проведених випробувань	36
Висновки по Розділу 3	38
Розділ 4 Впровадження результатів досліджень в практику будівництва	39
4.1 Опис вихідних даних	39
4.2 Опис методики розрахунку та розрахункова модель	40
4.3 Розрахункові випадки	44
4.4 Результати розрахунку	46
Висновки по Розділу 4	59

Загальні висновки	60
Список використаних джерел	62
Додатки:	
Додаток 1. Матеріали конференції	64
Додаток 2. Графічні матеріали	67

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми та постановка задачі.

Експлуатаційна надійність та довговічність будівель та споруд повністю залежить від несучої здатності ґрунтів основи фундаментів.

В даний час найбільш поширеною технологією підвищення несучої здатності ґрунтової основи є змінення будівельних властивостей ґрунтів, в умовах їх природного залягання, методом ін'єкції в ґрунт різних хімічних розчинів, що закріплюють.

Для підвищення несучої здатності та зниження деформацій ґрунтових основ існує безліч способів штучного закріплення ґрунтів.

Умовно розділимо їх на фізичні – зміцнення масиву ґрунту за допомогою впливу фізичних полів, механічні – приміщення в товщу ґрунту армуючих елементів, що володіють високою міцністю на розтяг, хімічні – покращення властивостей ґрунтів за допомогою нагнітання у їхній товщі спеціальних розчинів.

У даній роботі розглядається хімічний спосіб штучного закріплення ґрунтів основ.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів після їх обробки матеріалами ТМ МАРЕІ та обґрунтування доцільності їх використання на практиці.

Для виконання поставленої мети були сформовані наступні завдання:

- для виконання досліджень обрати ґрунти з високою/середньою проникністю та з низькою проникністю;
- описати добавки ТМ МАРЕІ для підсилення ґрунтів та навести склад п'яти серій зразків для випробувань;
- виготовити 5 (п'ять) серій зразків ґрунтів, у відповідності з завданням досліджень;

- визначити фізико-механічні характеристики ґрунтів після підсилення матеріалами у лабораторних умовах;
- провести чисельні розрахунки з отриманими параметрами при реконструкції будівлі.

Об'єкт дослідження – ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю, що підлягають хімічному закріпленню сучасними матеріалами для поліпшення їх властивостей.

Предмет дослідження – фізико-механічні характеристики ґрунтів після закріплення та їх вплив на несучу здатність та жорсткість основ будівель.

Теоретичні та методологічні принципи досліджень.

Процес чисельного дослідження базувався на закордонних та вітчизняних роботах, результатах попередніх наукових досліджень, а також на діючих законодавчих і нормативних актах.

Технічна новизна одержаних результатів.

У даній роботі розглянуті результати експериментально-теоретичних досліджень ефективності застосування готових складів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення ґрунтів, що підвищують показники параметрів ґрунтів.

Практичне значення одержаних результатів.

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ робляться такі підсумки: використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків дає змогу підвищити жорсткість гуртової основи втричі та більше, а тримальну здатність – у 10 разів і більше, у відповідності до обраних складів.

Апробація та публікація результатів магістерської роботи.

Результати роботи опубліковано у збірнику матеріалів Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» (November 25-27, 2024. Montreal, Canada). European Open Science Space (Інтернет конференція) [22].

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ

2.1. Загальні відомості щодо методів зміцнення ґрунтів основ

При будівництві та експлуатації будівель і споруд у районі де здебільшого розповсюджені слабкі ґрунти безумовно постає задача змінити їх фізико-механічні властивості задля зменшення деформованості та збільшення тримальної здатності. З одного погляду, це виклик, але з іншого – шанс для впровадження інновацій і вдосконалення традиційних методів укріплення ґрунтів. Штучне підсилення несучої здатності ґрунту – перетворення властивостей ґрунту за допомогою різних конструктивних та технологічних заходів, що підвищує його несучу здатність та знижує деформації.

В даний час існує безліч методів закріплення ґрунту, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Найчастіше сфера застосування методу так чи інакше обмежена типом ґрунту.

Для збільшення несучої здатності і зниження деформацій ґрунтових основ існує безліч способів штучного закріплення ґрунтів. Умовно розділимо їх на фізичні – зміцнення масиву ґрунту за допомогою впливу фізичних полів, механічні – приміщення в товщу ґрунту армуючих елементів, що володіють високою міцністю на розтяг, хімічні – покращення властивостей ґрунтів за допомогою нагнітання у тому товщу спеціальних розчинів (малюнок).

Спосіб закріплення вибирають виходячи з ґрунтових умов району будівництва, а також виробничі можливості його виконання. До вибору методу варто підходити відповідально і врахувати всі переваги та недоліки.

У кожному окремому випадку вибір того чи іншого методу індивідуальний. Необхідно проаналізувати його з різних сторін – будь то область застосування, економічні складові або переваги та недоліки. Крім того, різні методи можуть бути об'єднані, щоб упоратися з великим діапазоном ситуацій.

Основні методи закріплення ґрунтів наведено на рисунку 2.1.

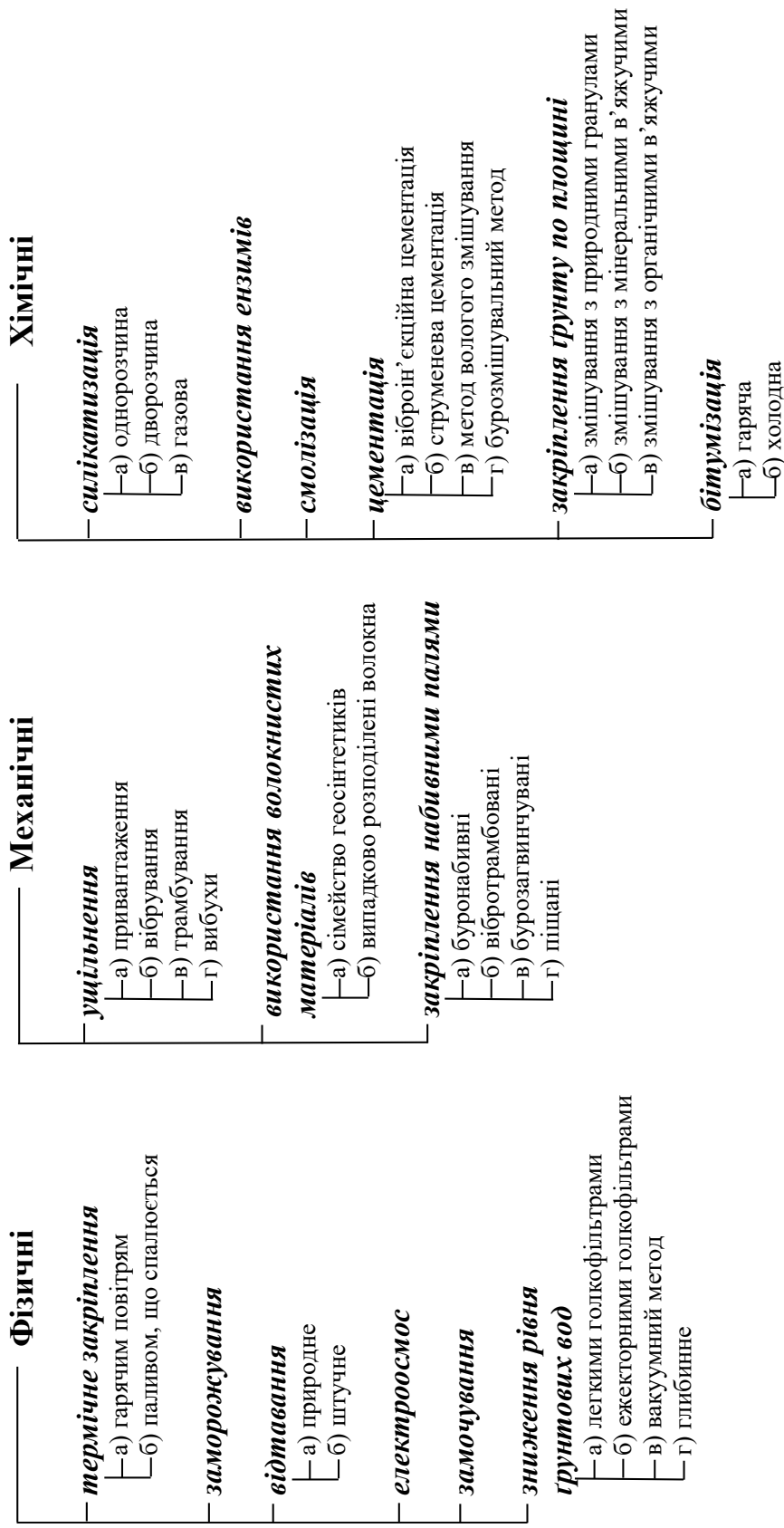


Рис. 2.1. Класифікація методів закріплення ґрунтів

2.2. Опис фізичних методів закріплення ґрунтів

Перша аналізована група – фізичні методи закріплення ґрунтів. На рисунку 2.1 представлені основні методи цієї групи: термічне закріплення, заморожування, відтавання, електроосмос та зниження рівня ґрунтових вод. Також наведено різновидність методів, рекомендовані ґрунтові умови, зазначені переваги та недоліки.

Термічне закріплення ґрунту – перетворення структурних в'язків у ґрунті під впливом високих температур. Здійснюється або нагнітання в ґрунт під тиском повітря, підігрітого до температури 600-800 °С, або в результаті спалювання палива (солярне масло, мазут, природний газ і т.д.) в герметично закритих свердловинах, пробурені для цієї мети. Після закріплення зростають міцність та водостійкість ґрунтів, а також усуваються їх просадні властивості [1]. Відповідно до технології необхідно підтримувати в свердловині тиск від 15 до 50 кПа, що досягається подачею розпеченого повітря для посилення фільтрації розпечених газів у ґрунті та підтримки необхідної температури. Діаметр свердловин приймають рівним 10-20 см, в той час як глибина коливається в межах від 6 до 15 м і більше. Залежно від навантажень та їх розподілу за прямою забудови визначають відстань між осями свердловин.

Випалення ґрунту триває період 5-10 діб. Навколо свердловини утворюється масив термічно закріпленого ґрунту діаметром 1.5–3 м при спалюванні 80-180 кг рідкого палива на 1 м глибини свердловини.

Щоб не допустити ґрунтові води або водонасичені нестійкі ґрунти у розробляемому виробку використовують штучне заморожування ґрунтів, яке створює міцну огорожу, що має в плані кругову або прямокутну форму із замороженого ґрунту. Для заморожування ґрунтів зазвичай використовують холодильний агент або холодоагент (найчастіше за допомогою охолодженого водного розчину хлористого кальцію, який називають розсолем). Головною функцією розсолу є – він залишається у рідкому стані при від'ємних температурах. По трубопроводах розсіл, який охолоджується попередньо, подається у колонки, що заморожують, які опущені в побурінні свердловини. Свердловини бурять по границі майбутнього виробітку, наскрізь всієї товщини

ґрунтів з водою. Їх кінець має бути заглиблений на 2-5 м у водотривкий ґрунт. Радіус намороженого навколо свердловини льодогрунтового циліндра становить 1.25-1.5 м, за проектом, з цих даних, розраховують відстань між свердловинами. Охолоджений розсіл, за допомогою насосів подається до розподільнику, далі розсіл розповсюджується рівними об'ємами по живильним трубам колонок, що заморожують. Після того, як розсіл опустився до дну колонки, розсіл за кільцевим простором поміж колонкою, що заморожує, та живильною трубою йде нагору, контактуючи з внутрішніми стінками колонки. Проходить процес теплообміну, який призводить до заморожування ґрунту (теплова енергія ґрунту передається розсолу), навколо колонки. Далі розсіл направляється до колектору крізь оголовки колонок, а з нього направляється до заморожувальної станції, у якій він віддає тепло та стає холодним. В останні роки для штучного заморожування ґрунтів почали використовувати новий холодоагент – рідкий азот. Він має дуже низьку температуру випаровування. На відміну від інших промислових холодоагентів рідкий азот використовують одноразово (випаровується газ випускають в оточуюче середовище).

Відтавання – метод зміцнення ґрунтів, при якому змінюється фазовий стан ґрунту (з мерзлого в тале). Природне розморожування не вимагає будь-яких технічних заходів, на відміну від штучного, для якого застосовують пар, електроди і т.д. Паропрогрівання або водопрогрів застосовується при величині глибини на яку промерзає – до 1500 мм з потужністю голок, занурених у ґрунт, і за знаходженню поряд джерела тепла (теплові мережі, котельні).

Електроосмос полягає у тому, що у процесі пропускання через ґрунт постійного електричного струму, а також введення електроліту відбувається ряд фізико-хімічних процесів, що ведуть до осушення та зміцнення ґрунту. У ґрунтах відбувається рух води до негативного електрода (електроосмос) і водночас переміщення колоїдальних зважених у воді частинок ґрунту до позитивного електрода (електрофорез) під впливом постійного струму. Для зневоднення ґрунту в нього занурюють електроди на відстані 600-1500 мм між ними. Як позитивні електродів використовують сталеві стрижні діаметром 150 мм, а як негативні – труб діаметром 100 мм з отворами діаметром 3 мм. Для

посилення ефекту електрохімічного закріплення в ґрунт (у процесі обробки) вводять хімічний розчин (силікат натрію, хлористий калій та ін), що сприяє більш швидкому та кращому його перетворення. Для проведення робіт найчастіше використовують ін'єктор (перфоровану трубу) та трансформатор.

Сутність методу водозниження ґрунтується на тому, що поверхня води у ґрунті набуває лійкоподібної форми з ухилом до місця відкачування ґрунтових вод, які надходять у свердловину.

Сутністю вакуумного методу є створення стійкого вакууму на зовнішніх поверхнях водоприймальних пристроїв. Використання цього методу дозволяє посилити ефект водозниження під час виконання робіт у складних умовах (черговість водозавязаних і водоносних шарів, у ґрунтах з малою водопроникністю, у ґрунтах неоднорідного додавання та ін).

2.3. Опис механічних методів закріплення ґрунтів

Друга група – механічні методи закріплення ґрунтів основ. Методи вважаються найбільш популярними, так як вони не припускають зміну властивостей ґрунтів під дією розчинів або фізичних полів, що досить складно контролювати. Механічні методи припускають армування ґрунту готовими елементами з різних матеріалів, що мають високу міцність на розтяг.

На рисунку 2.1 представлені основні методи цієї групи: ущільнення ґрунтів, укріплення геосинтетиками та випадково розподіленими волокнами, зміцнення палями. Також наведено різновид методів, рекомендовані ґрунтові умови, зазначені переваги та недоліки.

Ущільнення ґрунту методом привантаження викликає прискорення опади внаслідок збільшення навантаження на ґрунт. Суть методу тимчасового навантаження полягає у додатку навантаження, внаслідок чого розрахункові опади із заданим ступенем консолідації завершуються за час, значно менший, ніж час при звичайній консолідації (без прискорення опади). Ефективність тимчасового навантаження безпосередньо залежить від часу прискорення осад, а саме – від стисливості основи, величини навантаження і вимагає ступеня консолідації.

Метод віброуцільнення заснований на створенні вібрації, що передається від однієї частинки до іншої, тим самим наводить їх у рух. Машини вібраційної дії повідомляють ґрунту часті коливальні рухи, через що руйнуються зв'язки між частинками. Через різні сили інерції та імпульсів відбувається ущільнення та взаємне рух. Процес вібрації також значно зменшує умовні коефіцієнти вимушеного тертя ґрунтів, що знижує опір частинок тертя. Збільшення частоти коливань підвищує ефективність ущільнення.

Наступний метод ущільнення ґрунту механічним способом – трамбування або пошарове ущільнення. Для ущільнення застосовують трамбування, які бувають механізованими та ручними. Механізоване ущільнення спеціальною будівельною технікою істотно збільшує кошторисну вартість будівництва, але за великих обсягів робіт застосування лише ручних механізмів недоцільно. Ущільнення ґрунтів за допомогою трамбування ведуть до тих пір, поки поверхня ґрунту при кожному наступному падінні не опускатиметься на одну й ту саму величину, яку називають «відмовою». Розмір відмови орієнтовно приймають рівним для пілувато-глинистих ґрунтів 1-1.5 см, для піщаних – 0,5-1 см. Відмова досягається після 8-12 ударів по одному сліду. Режим ущільнення встановлюється експериментально і залежить від ґрунтових умов на будівельному майданчику.

При застосуванні методу ущільнення просадних ґрунтів підводними та глибинними вибухами необхідне попереднє замочування, щоб наблизити ґрунт до стану, близького до повного водонасичення. Далі (відповідно в ґрунтовій або водному середовищі) виробляють вибух зарядів вибухової речовини, що сприяє зруйнування існуючої структури ґрунту і призводить до штучного ущільнення. Шар води, що знаходиться нижче заряду, розподіляє вибухову хвилю, що діє на ґрунт, у той час як стовп води, розташований вище заряду, гасить енергію вибуху, яка спрямована нагору.

Використання волокнистих матеріалів, а саме – геосинтетиків, для зміцнення ґрунтових основ в даний час стало популярним. Цьому сприяє їх велика різноманітність, простота та ефективність технології. Існує декілька різновидів геосинтетичних матеріалів, що застосовуються з метою армування

грунтових основ: геотекстиль, геосітка, георешітка, геоматриця. Залежно від способу виготовлення і, як наслідок, підсумкових технічних характеристик розрізняють геотекстиль тканий та нетканий. Нетканий геотекстиль є плоскою структурою, яка складається з синтетичних волокон, скріплених між собою механічним методом. Такий матеріал не гниє, через нього не проростає коріння рослин, а структура забезпечує хороші міцнісні та фільтруючі властивості. Неткані матеріали історично були першим типом геосинтетиків, які випускалися текстильною промисловістю. До цих пір ці матеріали продовжують використовуватися в усьому світі при різних геотехнічних робіт. Поділ, армування, фільтрація, дренаж, а також їхнє поєднання – основні функції геотекстилю. Тканинний геотекстиль – плоска і системна структура, виткана з кількох рядів синтетичних стрічок, які дозволяють отримати системні малорозмірні переплетення. Такий матеріал міцний у всіх напрямках, морозостійок. При укладанні в земляну споруду тканий геотекстиль утворює складну конструкцію, у якій діє як арматура. Геосітка – сітчаста плоска структура, утворена двома рядами волокон, що перекриваються, завтовшки від 3 до 15 мм, хрест-навхрест під кутом 60° і 90° , наступним зварюванням у точках контакту, коли полімер знаходиться ще в напіврідкому стані. Геосітки отримують екструзійним методом з термопластичних полімерів, їх також часто використовують в комбінації з геотекстилем та з геомембранами. Основні функції – фільтрації та дренажна.

Георешітка – це стільникова конструкція з поліетиленових стрічок, які з'єднані між собою зварними швами, що відрізняються високою міцністю, і мають шахову форму розташування. Вони використовуються насамперед для армування ґрунтових основ з метою зміцнення, враховуючи їх особливу будову, коли затиснутий між осередками георешітки ґрунт не може переміщатися від діючих навантажень і всі напруги, що розтягують, передаються на георешітки.

Геоматриці – новинка на вітчизняному ринку, яка ще не отримала широкої популярності в інших країнах. Конструктивно геоматриці являють

собою короб без верхньої кришки, до стін якого прикріплені геотекстильні стрічки. Перетинаючи, вони утворюють всередині короба прямокутні осередки.

Фіброармований ґрунт є сумішшю ґрунту з короткими волокнами різного походження (коріння дерев, полімерні волокна, відходи виробництва і т.д.). Окремі короткі волокна рівномірно змішують із ґрунтом для забезпечення ізотропного збільшення міцності ґрунтового композиту без площини найменшого опору. Змішування волокон з ґрунтом можна здійснювати за допомогою звичного обладнання (наприклад, за допомогою роторного змішувача).

Посилення масиву ґрунту може бути також здійснено за допомогою паль. З цією метою використовуються різні типи паль. Конструкції паль, що застосовуються для посилення ґрунтів, і технології їх влаштування постійно вдосконалюються. Посилення палями є одним з найбільш простих з технологічної точки зору способів і дозволяє забезпечити значну економію матеріалів порівняно з повним вилученням слабких ґрунтів та заміною їх на більш міцні. Загалом технологія посилення масиву ґрунту палями полягає у влаштуванні свердловин, утворених в результаті примусового витіснення ґрунту, та заповнення їх бетонною сумішшю, великоуламковим ґрунтом або піском. Залежно від способу пристрою та конструкції палі можуть відігравати роль несучих елементів, що сприймають навантаження від споруди, або застосовуватися для ущільнення і поліпшення будівельних властивостей, які належать слабким водонасиченим ґрунтам.

Першочергове пробурення свердловин до певної глибини є характерною особливістю влаштування буронабивних паль. У свердловину, яка пробурена до значення запроектованої величини опускається труба діаметром 250-400 мм і завантажується бетонна суміш. Після того як свердловина заповнюється на величину 1000 мм, бетонна суміш ущільнюється, а обсадна труба не швидко піднімається догори, до тих пір як значення висоти суміші у трубі не досягне 300-400 мм. На наступному етапі повторюється цей процес. Площина ґрунту, що буриться є з нерівною шорсткістю, так як значення діаметру свердловин не менше значення діаметру обсадної труби. Наповнюючи обсадну трубу

бетонною сумішшю, її піднімають та ущільнюють суміш, бетон заповнює весь вільний об'єм, включаючи значення зазору поміж поверхнями свердловини і обсадною трубою. Міцність бетону підвищується у зв'язку з тим, що частина бетону та цементного молока поступає у ґрунт. Щоб зв'язати палю з ростверком, виробляють армування паль на глибину до 2 м.

Вібротрамбовані палі влаштовують у сухих зв'язкових ґрунтах. У ґрунт занурюють обсадну трубу з черевиком, далі занурюють порцію бетонної суміші, яку трамбують трамбуючою штангою, підвішеною до віброзанурювача; при трамбуванні з'являється поширена п'ята палі, далі укладають і трамбують наступні шари і витягають обсадну трубу при працюючому віброзанурювачі. Для того щоб зв'язати палю із ростверком, встановлюють арматурний каркас.

Наступний аналізований метод – використання паль, що бурозгвинчуються.

Піщана паля сприймає навантаження спільно з навколишнім ущільненим ґрунтом, так як при влаштуванні стисливість палі незначно відрізняється від стискання мости ущільненого навколишнього ґрунту. Такі палі працюють як дрени, виштовхуючи воду із ґрунтів, які є водонасиченими на поверхню, в цьому полягає їхня особливість.

Технологія влаштування піщаних паль полягає в наступному: у слабкий ґрунт за допомогою вібромолотів або віброзанурювачів занурюють інвентарну металеву трубу діаметром $d = 0.325 \dots 1.5$ м, яка забезпечена наконечником, що розкривається. У процесі занурення труби ґрунт навколо порожнини, що утворилася, ущільнюється, далі в трубу порціями засипається пісок великої фракції і труба поступово витягується (при цьому відбувається розкриття наконечника) із ґрунту до повного заповнення стовбура палі.

У плані піщані палі розміщують в порядку шаховому, у цей же час важлива умова: щільність ґрунту в міжпальному просторі повинна досягати проектного значення в всім масіві, що ущільнюється. Товщиною від півметра до метра поверх піщаних паль влаштовується ущільнена піщана подушка. Її основним призначенням є рівномірний розподіл тиску від споруджуваної

споруди на ущільнений масив, а також прискорення фільтрації та відведення віджимається з масиву ґрунту порової води за межі майданчики будівництва.

2.4. Опис хімічних методів закріплення ґрунтів

Третя група – хімічні методи закріплення ґрунтів, які досить популярні у наш час. Всі хімічні процеси відбуваються внаслідок хімічної взаємодії реагентів, що вводяться в ґрунт між собою, а також з мінеральними частинками. Економічна доцільність методів неоднозначна та вимагає ретельного аналізу у кожному конкретному випадку: з одного боку, досить дешеві розчини, з іншого – дороге обладнання.

На рисунку 2.1 представлені основні методи цієї групи: силікатизація, смолізація, використання ензимів, струминна цементация та бітумізація. Також наведено різновид методів, рекомендовані ґрунтові умови, зазначені переваги та недоліки.

Технологія хімічного закріплення і двох основних етапів. На першому етапі нагнітається водний розчин клеючої речовини (у більшості випадків силікату натрію) або смоли. Нагнітання відбувається під тиском через спеціалізовані пристрої (ін'єктори) або свердловини. Другий етап передбачає застигання розчину. Ґрунт і клеюча речовина утворюють масив з покращеними характеристиками (твердий, однорідний). Як клеючі використовують різні речовини, від яких залежить назва методу: смолізація чи силікатизація.

Склеювання ґрунтів може здійснюватися різними методами: послідовно – першим закачують клей (розчин смоли або рідке скло), далі – затверджувач, і одночасно – закачування в ґрунт клею та затверджувача, змішаних до початку процесу.

Зміцнення ґрунтів шляхом силікатизації досить поширене в Україні. Сутність методу силікатизації полягає в нагнітанні в ґрунт розчину рідкого скла, в результаті чого відбувається хімічна реакція і випадає кремнієвий гель кислоти, яка, у свою чергу, пов'язує частинки ґрунту на кшталт цементу. Найбільш міцне закріплення досягається при послідовній подачі компонентів. У ґрунті існує природний затверджувач; при подачі рідкого скла, яке має

велику проникаючу здатність, між ними відбувається процес схоплювання. При послідовній подачі компонентів відбувається значна економія часу, а також спрощення технології подачі розчину, оскільки тиск подачі значно нижчий. При одночасному поданні основного компонента клею та затверджувача необхідно збільшити швидкість подачі розчину в ін'єктор, а також збільшити тиск, щоб композит досягнув заданої глибини ін'єктування, адже при з'єднанні компонентів починається процес схоплювання компонентів клею, отже, збільшується в'язкість розчину та знижується його плинність. Область застосування силікатизації та смолізації досить велика: наприклад, при підготовці ґрунтових основ для складних будівель та споруд, а також для зміцнення ґрунтів під існуючими будинками та спорудами.

Газова силікатизація використовується для сильно зволжених ґрунтів. Як затверджувача використовується вуглекислий газ CO_2 . Є кілька різновидів цього способу – без попередньої та з попередньою обробкою ґрунту вуглекислим газом. Газова силікатизація дає можливість закріплювати ґрунти, ступінь вологості яких різна ($k_f = 0,1 \dots 0,2$ м / добу).

Метод зміцнення ґрунтів за допомогою ензимів використовується для зміцнення ґрунтів під лінійні об'єкти будівництва (дороги, залізниці, трубопроводи тощо). Ензими можна віднести до високомолекулярних білків. У полімерній структурі ензимів є порожнини, які включають гідрофобні та гідрофільні радикали та угруповання. Поверхневий натяг води зменшується, якщо розчинити у ній фермент, оскільки ензими мають властивості пав і діють як гідрофобізатори. В результаті молекулярна та електростатична взаємодія між частинками ґрунту посилюється. Створюється щільніший ґрунт, оскільки структура води змінюється, що сприяє її інтенсивного видалення. Через особливу будову ензимів при їх осіданні на частках ґрунту формуються міцні водневі зв'язки. Водний розчин з ензимами виготовляють із розрахунку 2 мл на 1 л води.

В даний час зустрічається все більше інформації про застосування методу струминної цементації (Jet-grouting). Сутність технології полягає в одночасному руйнуванні тиском. В результаті після затвердіння цементного

розчину утворюється новий матеріал – ґрунтобетон, який має якісні характеристики (міцнісні та деформаційні). Влаштування ґрунтоцементних паль проводиться за допомогою двох етапів – під час руху бурової колони в прямому та зворотному напрямках. У процесі руху в прямому напрямку бурять лідерну свердловину до проектної позначки. У процесі зворотного ходу подають цементний розчин під високим тиском у форсунки монітора, розташованого на нижньому кінці бурової колони і піднімають колону, одночасно обертаючи її. Можна виділити три різновиди технології:

1. Однокомпонентна розробка (Jet 1). Ґрунт руйнують струменем цементного розчину під тиском 400-500 атм. Ця технологія вимагає мінімального комплексу обладнання і вважається на порядок простіше, але діаметр паль також є найменшим (600 мм для глин та 700–800 для піщаних ґрунтів) у порівнянні з іншими варіантами технології.

2. Двокомпонентна технологія (Jet 2). Для того, щоб збільшити довжину водоцементного струменя, в цьому варіанті використовують енергію стисненого повітря. З метою уникнення перемішування стиснутого повітря та цементної суміші використовують спеціальні подвійні порожнисті штанги (за зовнішньою порожниною подають цементний розчин, а за внутрішнім – стиснене повітря). Діаметр паль у глинах становить близько 1200 мм, а в пісках – 1500 мм.

3. Трикомпонентна технологія (Jet 3) складається із двох етапів. На першому етапі відбувається розмив ґрунту водоповітряним струменем для утворення порожнин. Другий етап передбачає заповнення отриманих порожнин цементно-піщаним розчином. Основною перевагою даного варіанту є отримання колон з чистого цементного розчину. До недоліків відносимо складність схеми, необхідність застосування потрійних штанг, а також додаткове технологічне обладнання. В результаті можливі палі діаметром 2500 мм.

Технологічне обладнання, необхідне даного методу, складається з міксерної станції, цементувального насоса високого тиску, силосу для зберігання цементу та бурової установки. Для технології Jet 2 додатково

необхідний компресор, а для технології Jet 3 – компресор та другий насос для нагнітання цементу.

Метод бітумізації відрізняється від цементації тим, що в ґрунти нагнітається рідкий бітум (гарячий чи холодний). Для нагнітання гарячого бітуму в ґрунт бурят свердловини діаметром 80-100 мм за контуром котловану на відстані 0.7-1.0 м одна від одної. Кожну свердловину необхідно заглибити до водоупору чи глибини, перевищує закладення котловану на 60-100 см, а потім прочистити і промити. У бурову свердловину опускають трубу - ін'єктор ($d=40$ мм) з перфорованими отворами ($d = 15$ мм), через які бітум проникає у свердловину. У свердловині нижче зони, що підлягає бітумізації, влаштовують пробку (тампон) із цементу або дерева. Заповнюють тріщини породи гарячим бітумом (при температурі 200-220 ° С) під тиском до 8 атм. Для того щоб у свердловинах температура бітуму не зменшилася (необхідна температура 180-220 ° С) і він не змінив свій агрегатний стан, в ін'єкторі на спеціальних фарфорових ізоляторах закріплюється металевий стрижень, з'єднаний із мережею постійного електричного струму.

Найчастіше гаряча бітумізація поєднується з холодною, оскільки гарячий бітум не може проникнути у дрібні тріщини (менше 1 мм). Холодна бітумізація вважається тим успішнішою, ніж дрібніші частки бітуму в емульсії.

Сутність способу холодної бітумізації полягає в тому, що ґрунт через свердловини нагнітають тонкодисперсні бітумні емульсії. Даний метод застосовують для ущільнення як скельних порід, і піщаних ґрунтів. Концентрація емульсії залежить від фракції піску. До складу бітумної емульсії входять електроліти, які викликають процес коагуляції, і надають ґрунтам водонепроникність, заповнюючи пори та тріщини.

Висновки по Розділу 2

Наразі налічується безліч способів зміцнення ґрунту, кожен із яких володіє як перевагами, так і недоліками. Зазвичай застосування конкретного методу обмежується типом ґрунту.

Вибір способу закріплення ґрунту залежить від умов, що панують у районі будівництва, а також від можливостей його реалізації. До цього питання слід підходити серйозно, враховуючи всі плюси та мінуси. У кожному конкретному випадку вибір методу є індивідуальним. Важливо провести аналіз з різних аспектів – застосування, економічних факторів та переваг і недоліків. Крім того, можливе поєднання різних методів для ефективного вирішення широкого спектра ситуацій.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДСИЛЕНИХ ҐРУНТІВ

3.1. Аналіз різновидів ґрунтів

Склад ґрунту є одним із найголовніших критеріїв, за якими вибирається ділянка під забудову. Існує велика кількість різновидів ґрунтів, які відносять до різних груп. Оскільки геодезичні роботи здійснюються переважно згідно з будівельним проектом, то найбільш затребуваною стане саме ця класифікація. Будівельна класифікація ґрунтів є найпоширенішим методом вивчення властивостей ґрунту та дозволяє виділити його основні характеристики. Від особливостей ґрунту залежить можливість подальшого використання ділянки для певних цілей, тому без ретельного дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів не обійтись.

Виділяють два основні класи ґрунтів: скельні та нескельні.

Жорсткі структурні зв'язки в скельних ґрунтах роблять складним забудову ділянок з таким типом ґрунтів. Щільна структура ускладнює закріплення несучих елементів майбутнього об'єкта. Хоча міцність у нескельних ґрунтів значно нижча, ніж у скельних, але будівництво на ділянках з таким типом ґрунтозмішування найбільше переважно.

Залежно від складу та властивості ґрунтів розраховується вартість та технологія будівельних робіт, а також трудомісткість земельних робіт. Основними властивостями ґрунтів виступають:

Вологість. Залежно від насиченості ґрунту водою розрізняють два типи ґрунтів: сухі та мокрі. Сухі ґрунтосуміші містять у своєму складі не більше 5% вологи. Мокрі ґрунти можуть мати показник вологості понад 30%, а також мати різний розмір пір.

Щільність. Щільність матеріалу розраховується шляхом виміру маси одного кубічного метра ґрунту. У середньому нескельні породи мають щільність не більше 1.5-2 т/м³, а скельні – до 3 т.

Розпушеність. Кожен ґрунт під час розробки збільшується обсягом і відновлює свої початкові розміри протягом багато часу. При будівництві розрізняють два типи розпушування. Початкове розпушування вимірюється відразу після розробки ґрунту. Піщані ґрунтосуміші мають початковий коефіцієнт у межах 1.08-1.17, суглинки та глинисті – 1.14-1.3. Якщо ґрунт вивозиться за територію ділянки, цей показник дозволяє ефективно використовувати транспорт. Залишкове розпушування для ґрунтів на основі піску дорівнює 1.01-1.025, для глинистих та суглинистих – 1.015-1.09.

Зчепленість. Від зчепленості ґрунтів залежить складність проведення робіт. Мерзлий ґрунт має найбільший показник зчепленості та є досить складним для розробки. Піщані ґрунти мають силу зчеплення 0.003-0.05 МПа, глинисті ґрунти – 0.005-0.2 МПа.

Кут природного відкосу. Цей показник має велике значення при влаштуванні відвалів та насипів.

Класифікація ґрунтів дозволяє зробити будівельно-земельні роботи більш простими завдяки відомим властивостям ґрунту. Вибір відповідної техніки та устаткування дозволяє заощадити як матеріальні ресурси, а й зробити працю робітників простішим.

3.2. Опис вихідних даних для проведення досліджень

Для виконання досліджень були обрані ґрунти з високою/середньою проникністю та з низькою проникністю:

- у якості ґрунту, у якого спостерігається висока/середня проникність використовувався пісок з Безлюдівського кар'єру (Харківська область, Харківський р-н, смт. Безлюдівка);

- у якості ґрунту, у якого спостерігається низька проникність, використовувався супісок.

Основні характеристики ґрунтів, які були застосовані у дослідженнях, (стан природній) занесені в таблицю 3.1.

При випробуваннях використовувалися матеріали ТМ МАРЕІ, перелічені нижче (таблиця 3.2.), що використовують для підсилення ґрунтових шарів.

Таблиця 3.2. Опис добавок ТМ МАРЕІ та склад п'яти серій зразків
для випробувань

№	Назва композиції	Опис добавки	Склад композиції
1	Expanjet Ground	Однокомпонентна цементуюча суміш на основі спеціальних гідравлічних в'язучих з високим вмістом дрібного заповнювача, що володіє властивістю розширення більш ніж на 70% по відношенню до обсягу закачування	Expanjet – 1 кг Пісок – 0.01 м ³ Вода – 0.00055 м ³
2	Expanfluid Ground	Порошкова добавка з властивістю розширення, яка додається в цемент для приготування безусадочних і пластичних суспензій для ін'єктування	Expanfluid – 43 гр. Пісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1.43 кг Вода – 0.00051 м ³
3	Dynamon Easy Ground	Модифікований суперпластифікатор на основі акрилу для готового бетону, сумішей або ґрунту	Dynamon Easy 11 – 10 гр. Пісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1 кг Вода – 0.0008 м ³
4	Microcem Ground	Мікротонке гідравлічне в'язуче (з розміром часток до 25 мкм) з пуцолановою дією для ущільнення і гідроізоляції ґрунту при закачуванні цементних сумішей.	Microcem 8000 – 0.75 кг Супісок – 0.01 м ³ Вода – 0.00075 м ³ Dynamon Easy 11 – 7.5 гр.
5	Viscofluid Jet Ground	Модифікатор в'язкості цементних ін'єкційних составів у вигляді рідкого натурального целюлозного полімеру	Viscofluid Jet 5000–10гр. Супісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1 кг Вода – 0.0008 м ³

3.3. Виготовлення дослідних зразків для проведення досліджень

Задля оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтових шарів за умови їх зміцнення матеріалами ТМ МАРЕІ було підготовлено п'ять серій зразків ґрунтів (таблиця 3.2), у відповідності з завданням досліджень, у наступних пропорціях:

піщаний ґрунт взятий за основу:

- пісок – 0.01 м^3 ; вода – 0.00055 м^3 ; Ехранjet – 1 кг;

- пісок – 0.01 м^3 ; цемент (ПЦ I-500 марка) - 1.43 кг; вода – 0.00051 м^3 ; Ехранfluid – 43 гр;

- пісок – 0.01 м^3 ; цемент (ПЦ I-500 марка) - 1000 гр.; вода – 0.0008 м^3 ; Dynamon Easy 11 – 10 грам;

- глинистий ґрунт (супісок) взятий за основу:

супісок – 0.01 м^3 ; вода – 0.00075 м^3 ; Мігросет 8000 – 0.75 кг; Dynamon Easy 11 – 7.5 гр;

- супісок – 0.01 м^3 ; цемент (ПЦ I-500) - 1 кг; вода – 0.0008 м^3 ; Viscofluid Jet 5000 – 10 гр.

Для формування пропорційних складових та масових частин компонентів природних ґрунтів, вони проходили підготовку методом просіювання, для очистки від негативних домішок за допомогою набору сит (рисунок 1).



Рис. 3.1. Набір сит для ґрунтів

Випробувальні зразки повинні були відповідати за своєю геометричною формою відповідним розмірам для укладання у лабораторних пристроях, для визначення відповідних параметрів та конкретним геометричним розмірам для випробовування на стиск.

У зв'язку з вище сказаним, була підібрана пластикова труба відповідного діаметру. Шляхом її розрізання на кільцеві елементи отримано п'ятдесят кільцевих форм для закладання зразків підсиленого ґрунту (рисунок 3.2).

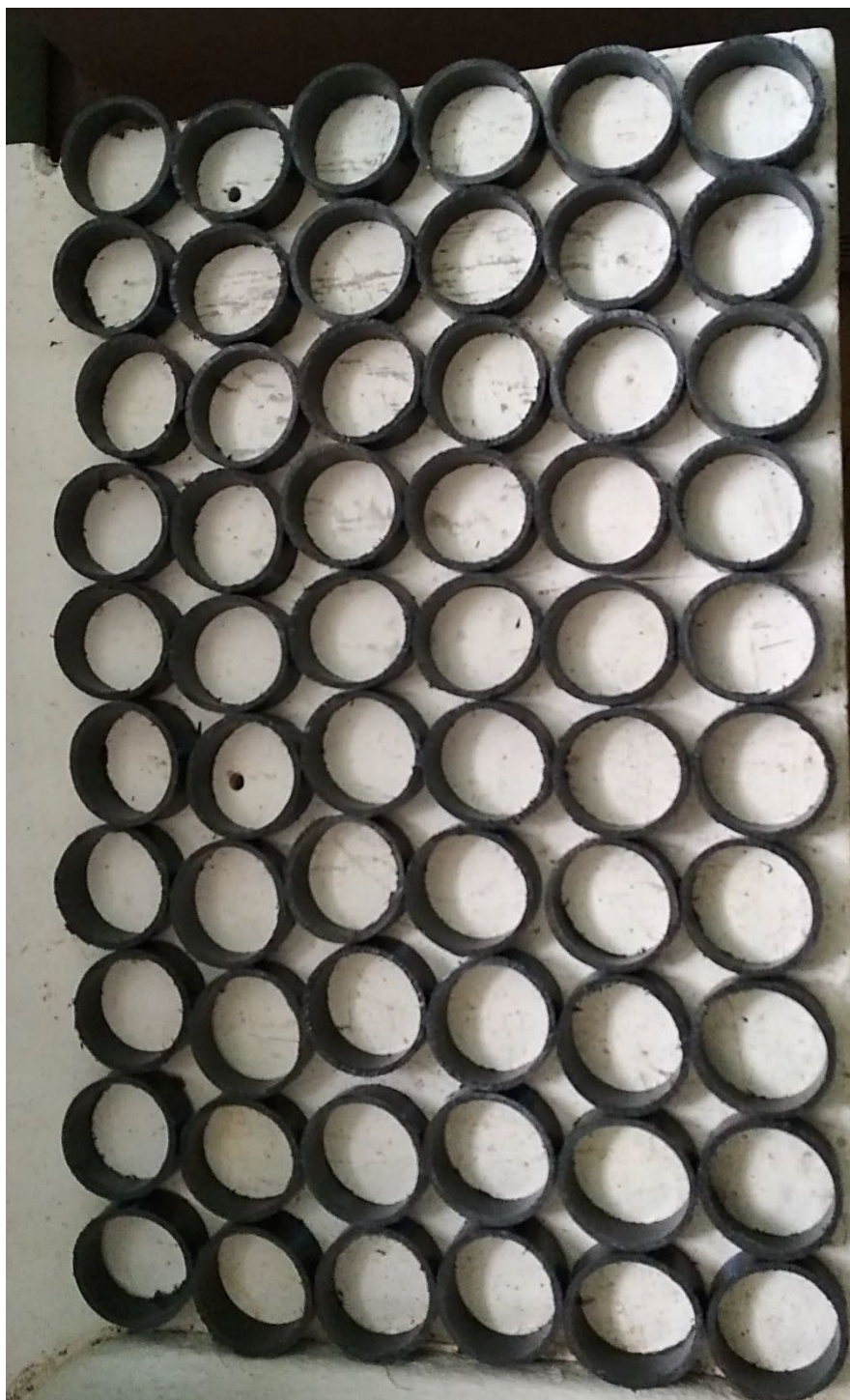


Рис. 3.2. Заготовлені форми для створення дослідних зразків

Іншими дослідними зразками є призматичні кубики, для виготовлення яких використані металеві форми, у яких виготовляються балочки з цементного розчину (рис.3.3)



Рис. 3.3. Форма для виготовлення цементних зразків



Рис. 3.4. Сформовані зразки ґрунтів згідно складів



Рис. 3.5. Сформовані зразки ґрунтів згідно складів

Відповідно до пропорційних складів були сформовані дослідні зразки для проведення випробувань у лабораторних умовах – циліндричної форми (рис. 3.4) та призматичного виду (кубики) (рис.3.5). Кубики формувались у формах для виготовлення цементних балочок шляхом розбиття балочки у одному відсіку форми пластиковою перегородкою, таким чином, щоб отримати кубічну форму зразка (рис.3.3). Виготовлені зразки зберігалися зі збереженням їхньої вологості.



Рис. 3.6. Отримані кубічні зразки

3.4. Використання методу одноплощинного зрізу

Метод одноплощинного зрізу є одним із найстаріших методів лабораторного визначення параметрів опору зсуву дисперсних ґрунтів. Це пояснюється його зрозумілою схемою, високої універсальністю і простотою реалізації. У ході досвіду у зразку формується фіксована поверхня ковзання, на якій діють нормальні (σ) та дотичні (τ) напруження, що підкоряються закону Кулону. Таким чином, встановивши в ході досвіду граничне значення дотичної сили, можна визначити параметри опору дисперсного зсуву ґрунту – кут внутрішнього тертя φ і питоме зчеплення c .

На жаль, просте аналітичне обґрунтування який завжди гарантує простоту конструкції, оскільки реалізація описаного методу випробування стикається з низкою труднощів. Історично першою конструкцією є прилад з рухомою верхньою кареткою. У даних приладах нижня каретка зафіксована на підставі, а верхня переміщається під дією сили, що зсуває. Зі зростанням переміщень каретки виникає деяке відхилення чинної нормальної сили від перпендикуляра до поверхні ковзання, що призводить до похибки визначення зусиль. Для компенсації цього недоліку доводиться застосовувати складні вузли застосування нормального зусилля.

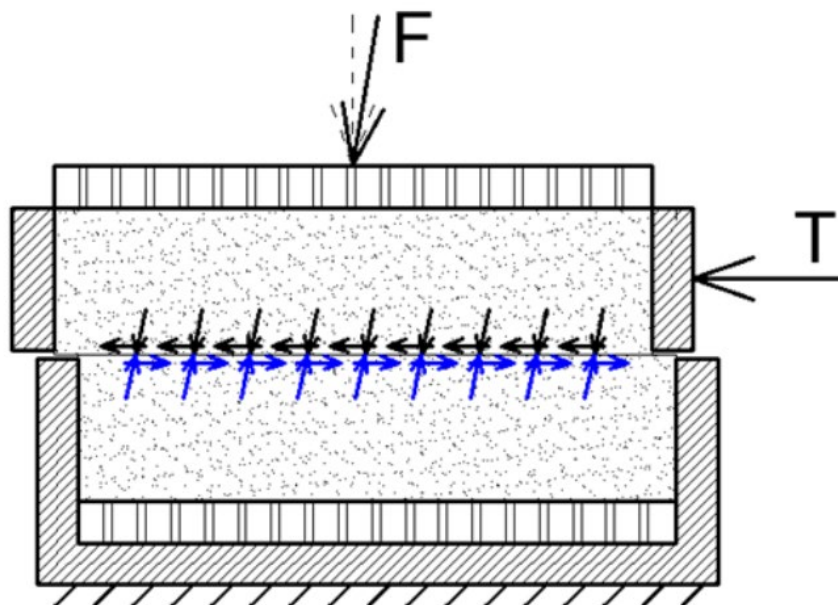


Рис. 3.7. Схема приладу одноплощинного зрізу з верхньою рухомою кареткою

Даного недоліку позбавлена конструкція з нижньою рухомою кареткою, що розташовується на підшипниках. В цьому випадку вертикальна сила, що прикладається до верхнього штамп, завжди залишається перпендикулярною в ході досвіду, і для її створення може використовуватися будь-яка стандартна рама навантаження. Виникає поняття «зрізної коробки» – оснастки для проведення випробувань одноплощинного зрізу.

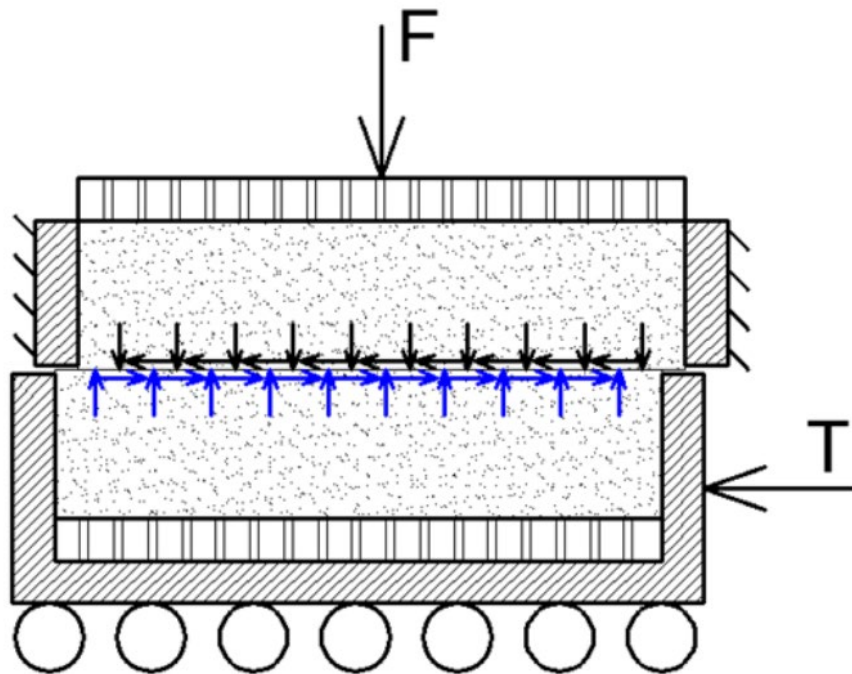


Рис. 3.7. Схема приладу одноплощинного зрізу з нижньою рухомою кареткою

У таких приладах принципове значення має конструкція підшипників: з одного боку, вони не повинні чинити суттєвого опору зсуву нижньої каретки, з іншого – сприймати значне вертикальне зусилля, що передається через зразок та нижній штамп. Використовується в конструкціях зрізних коробок кулькові лінійні підшипники, що дозволяє також забезпечувати сувору прямолінійність переміщень нижньої каретки.

При проведенні досвіду важливо встановити достатню величину зазору між рухомою і нерухомою каретками. Його величина повинна бути достатньою, щоб унеможливити паразитне тертя і не допустити заклинювання приладу при попаданні частинок. З іншого боку, занадто велика величина зазору призводить до порушення схеми випробування – замість поверхні зрізу

може утворитися невеликий шар товщини в стані простого зсуву, що призведе до спотворення результатів.

Загальним недоліком для всіх приладів одноплощинного зрізу є зміна площі зіткнення верхньої та нижньої частин зразка поверхнею ковзання. Зі зростанням переміщення каретки фактична площа зменшується, що призводить до помилки розрахунку діючих напружень – у той час як нормальна напруга вважається постійною, її фактичне значення збільшується. У зв'язку з цим не рекомендується визначення опору зсуву при переміщенні каретки, що перевищують 10% діаметра зразка.

Консолідовано-дреновані випробування – «повільний зріз» – проводяться для ґрунтів, консолідація яких у природних умовах завершилася, а передача навантаження відбувається поступово. Зразки консолідовано-дренованих випробувань піддаються попередньому ущільненню до стабілізації деформацій, а додаток навантаження відбувається повільно. У результаті таких випробувань визначаються ефективні значення параметрів опору зсуву φ' і c' .

Неконсолідовано-недреновані випробування – «швидкий зріз» – проводяться для ґрунтів з числом плинності $IL > 0.5$ і перебувають у нестабілізованому стані. У таких ґрунтах завжди присутній поровий тиск, що не дозволяє повною мірою реалізуватися внутрішньому тертю в скелеті ґрунту. Відповідно, зразки перед випробуванням не ущільнюються, а застосування навантаження здійснюється з високою швидкістю, щоб не допустити розсіювання порового тиску. Випробування в даному режимі широко використовуються для оцінки стійкості слабких основ, насамперед у дорожньому будівництві. Тим не менш, з принципової точки зору до цього методу виникають деякі питання.

По-перше, конструкція приладу одноплощинного зрізу не дозволяє забезпечити недренований режим в ході випробування, так як надлишковий поровий тиск може розсіюватися через проміжок між верхньою і нижньою каретками. При цьому, зі зрозумілих причин неможливо використовувати для герметизації зазору еластичну мембрану, як це робиться в приладах перекошування і простого зсуву, про які ми розповімо пізніше. По-друге, в ході

досвіду вимірювання порового тиску поблизу поверхні ковзання вкрай утруднене і ніколи не виконується, отже неможливо перейти до ефективних значень напружень і отримати параметри опору зсуву. Замість нього слід застосовувати випробування тривісного стиснення в неконсолідовано-недренованому режимі або випробування крильчаткою.



Рис. 3.8. Лабораторні випробування зразків



Рис. 3.9. Ґрунтові зразки (природній вигляд) опісля проведення випробувань (одноплщинний зріз)



Рис. 3.10. Ґрунтові зразки (підсиленний ґрунт) опісля проведення випробувань (одноплщинний зріз)

Значення результатів випробувань підсиленого та природного ґрунту за допомогою вище вказаного методу зведені до таблиці 3.3.

3.5. Використання методу компресійного стиску

Компресійний стиск – один із видів інженерних спостережень, спрямований на вивчення властивостей ґрунту. Дослідження проводяться в лабораторних умовах за допомогою спеціального приладу – одометра (є безліч різних модифікацій приладу, здатних надавати різне навантаження на ґрунт). У процесі досліджень зразок ґрунту міститься на спеціальну порожнину і потім на неї впливає вертикальне навантаження.

Метод компресійного стиску дозволяє проаналізувати та встановити технічні параметри ґрунту та спрогнозувати можливі деформації споруд. Це затребуваний вид досліджень вивчення деформаційних властивостей ґрунту біля під забудову. У процесі експерименту на зразок діє наростаюче навантаження і витісняється повітря з пір ґрунту.

Компресійне стискування ґрунту проводиться для визначення: параметрів стисливості та міцності порід; ступеня деформації при первинному та вторинному стисканні; коефіцієнтів консолідації; суффозійного стиску; первинного стиску.

Компресійне стиск – один із найстаріших методів визначення параметрів дисперсних ґрунтів. За свою столітню історію він використовувався найбільшими дослідниками і застосовується на практиці інженерних досліджень багатьох країн. Простий та доступний вид випробувань дозволяє оцінити стисливість, швидкість консолідації, параметри переущільнення.

Механіка ґрунтів в абсолютній більшості випадків нехтує стисливістю окремих частинок у скелеті. Дане припущення цілком обґрунтовано: навіть з урахуванням концентрації напруги в точці контакту, при інженерних рівнях навантажень деформації мінеральних частинок мізерно малі порівняно із загальною деформацією скелета. Основний внесок робить стисливість порового простору – зміна обсягу пор внаслідок перерозподілу твердих частинок. Ця обставина зумовила використання приладів компресійного стискування з метою оцінки стисливості.

Компресійне стиск є окремим випадком одновісного стиску з додатковою граничною умовою – неможливістю бічного розширення. В результаті в

випробуваному зразку формується досить однорідний напружено-деформований стан (НДС), в якому радіальні (поперечні) напруження σ_r пов'язані з осьовими (поздовжніми) σ_z величиною коефіцієнта бічного тиску K_0 , поперечні деформації ε_r відсутні, а поздовжні деформації ε_z кількісно співпадають з об'ємними ε_v (рис.3.11).

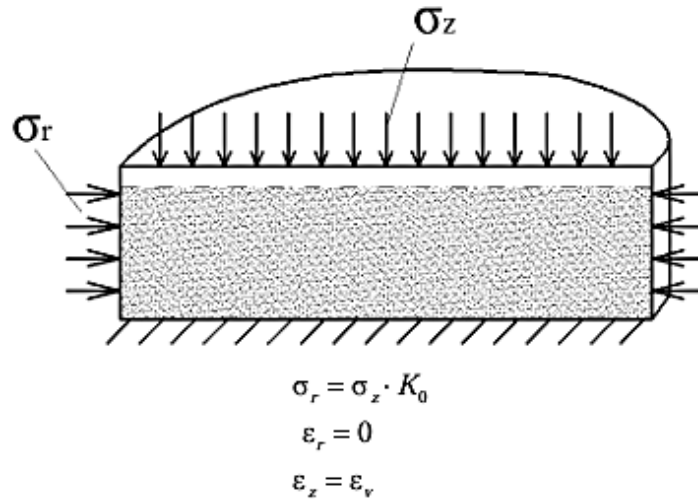


Рис.3.11. НДС при компресійному стиску

Слід зазначити, що це НДС не змінюється під час досліду, співвідношення між компонентами зберігаються, а формозміною зразка можна знехтувати. Це вигідно відрізняє даний метод від більшості інших видів випробувань, де в ході випробувань зі зростанням деформацій зростає відхилення НДС від передбачуваного. Траєкторія навантаження при компресійному стисканні так само стала, співвідношення між об'ємним і зсувним стисненням визначається коефіцієнтом бічного тиску середовища. У процесі компресійного стиску відбувається зменшення обсягу порового простору та збільшення щільності скелета ґрунту. У разі заповнення пір тільки газом цей процес проходить практично миттєво, а у водонасичених ґрунтах - вимагає часу для відтискання вільної води з пір. Об'єм твердих частинок при цьому вважається постійним. Найбільш зручним методом опису даного процесу є оцінка зміни коефіцієнта пористості e (миттєвого або часу). Відповідно, результатом досвіду буде залежність коефіцієнта пористості від напруження, що діє – *компресійна крива*. Зміна коефіцієнта пористості в часі при постійній

напрузі (або на окремому ступені навантаження p) характеризується *кривою консолідації*.

Для реалізації даного методу використовується особливий прилад – одометр. Виходячи із заданих граничних умов, даний прилад повинен забезпечувати неможливість бічного розширення зразка та рівномірний розподіл тиску на його поверхні. Крім того, для забезпечення можливості відтоку рідини з порового простору повинна передбачатися перфорація штампів або стінок приладу, використання фільтрувальних елементів. Конструктивні рішення можуть бути різними, основна умова – висока жорсткість бічних стінок та штампів. Щоб уникнути перекосу штампів і можливого підклинювання в більшості сучасних конструкцій, застосовується напрямний шток, що забезпечує плоскопаралельне переміщення штампів - саме це переміщення є величиною, що вимірюється в ході досвіду.

Наявність тертя в приладі надає деякий вплив на НДС у ході досвіду – тертя зразка об бічні стінки призводить до передачі частини поздовжнього напруження на них, внаслідок чого в пристінних областях зразок розвантажується. Для зниження впливу цього ефекту результат випробування діаметр зразків для компресійних випробувань зазвичай у кілька разів перевищує висоту. Сили тертя в горизонтальному напрямку, що виникають між зразком і штампом, так само спотворюють розподіл горизонтальних напружень, проте це не суттєво впливає на результат досвіду. Також діє обмеження на максимальний розмір окремих включень – не більше $1/5$ від діаметра зразка.

У вітчизняній практиці єдиним регламентованим методом проведення досвіду є ступінчасте статичне навантаження. Вертикальне навантаження прикладається ступенями, початкове значення визначається різновидом ґрунту, а кожне наступне зазвичай дорівнює подвоєному значенню попереднього. На кожному щаблі виробляється витримка до стабілізації деформацій – за цей час розсіюється надлишковий поровий тиск u_w , і подальше ущільнення скелета на даному ступені або припиняється повністю, або триває з низькою швидкістю внаслідок повзучості. Після стабілізації деформацій фіксується значення переміщень, далі прикладається черговий ступінь, аж до досягнення

навантаження, зазначеного у завданні на випробування. Таким способом може бути отримана необхідна кількість стабілізованих точок, що належать кривій компресійної. Побудова можна проводити як коефіцієнта пористості, так відносної деформації.

При необхідності оцінки структурної міцності – міцності жорстких зв'язків між частинками в скелеті ґрунту – на початку досвіду навантаження здійснюється мінімально можливими ступенями аж до досягнення величини відносної деформації 0.5%. Передбачається, що жорсткі зв'язки не дозволяють пористості суттєво змінюватися, а після їх руйнування починається ущільнення скелета. За величину структурної міцності приймається та величина навантаження, за якої було досягнуто зазначеної відносної деформації. Подальше навантаження продовжується з поступовим збільшенням ступенів.

У проведених дослідженнях цим методом визначено: коефіцієнт стисливості m_0 та модуль деформації E_k .



Рис.3.12. Випробування ґрунтів (метод компресійного стиску)

3.6. Результати проведених випробувань

Значення результатів дослідів та фізико-механічні характеристики ґрунтів наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Зведена таблиця результатів випробувань

Піщаний ґрунт				
природний стан		E =	10.486	МПа
		φ =	30.964	град.
		C =	0.020	МПа
зразок серії №	1	E =	31.097	МПа
		φ =	38.66	град.
		C =	0.16	МПа
зразок серії №	2	E =	11.978	МПа
		φ =	45.00	град.
		C =	0.12	МПа
зразок серії №	3	E =	10.952	МПа
		φ =	67.38	град.
		C =	0.06	МПа
Глинистий ґрунт				
природний стан		E =	12.281	МПа
		φ =	10	град.
		C =	0.0013	МПа
зразок серії №	4	E =	20.260	МПа
		φ =	45.00	град.
		C =	0.02	МПа
зразок серії №	5	E =	13.391	МПа
		φ =	30.96	град.
		C =	0.2	МПа

Після проведення випробувань виконана обробка результатів та порівняльний розрахунок середньостатистичних значень отриманих характеристик ґрунтів (рисунки 3.13, 3.14, 3.15).

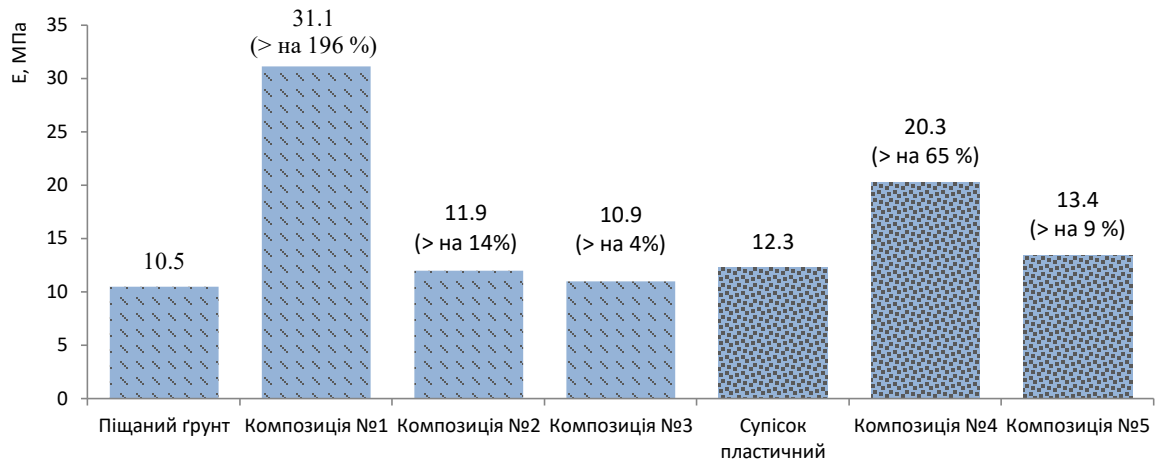


Рис. 3.13. Результати визначення модуля деформації

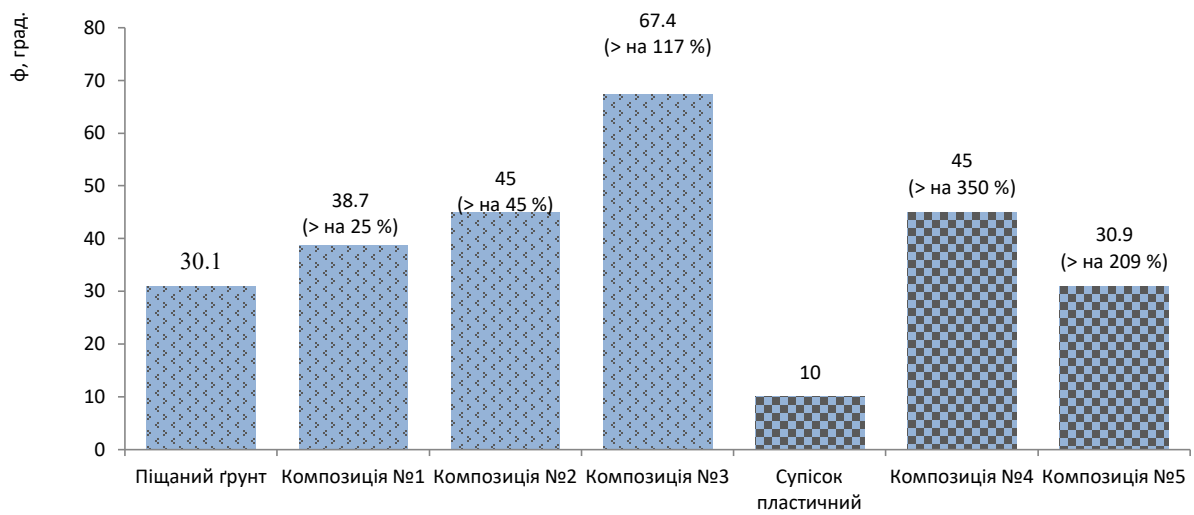


Рис. 3.14. Числове значення кута внутрішнього тертя у експериментальних серіях ґрунту

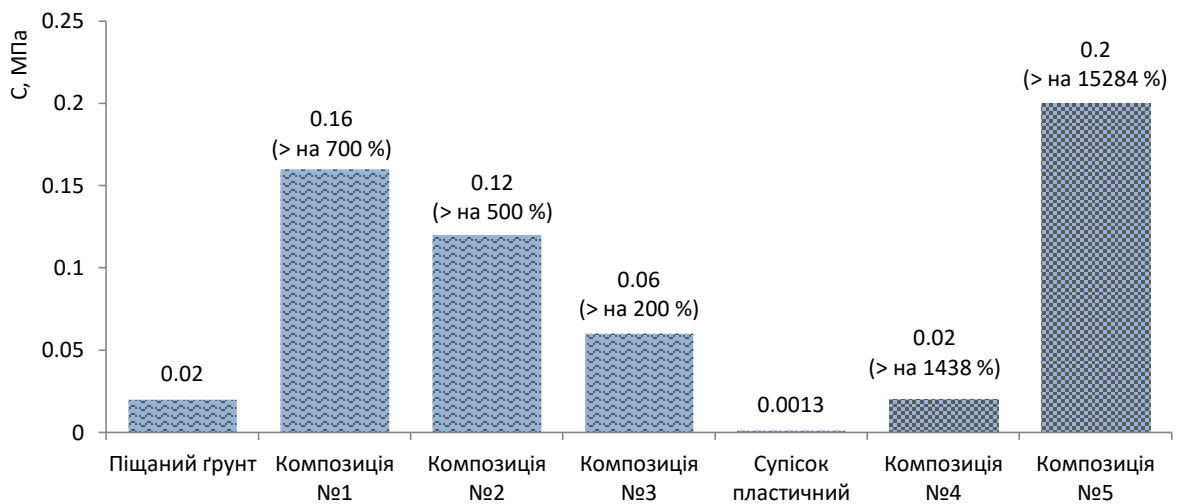


Рис. 3.15. Значення питомого зчеплення у експериментальних серіях ґрунту

Висновки по Розділу 3

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ робляться такі підсумки:

1. Використання суміші 1 Expanjet для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; вода – 0.00055 м³; Expanjet – 1 кг, призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 25 %;
- модуль пружності E на 196 %;
- питоме зчеплення C на 700 %.

2. Використання добавки 2 Expanfluid для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ I-500) - 1.43 кг; вода – 0.00051 м³; Expanfluid – 43 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 45 %;
- модуль пружності E на 14 %;
- питоме зчеплення C на 500 %.

3. Використання добавки 3 Dynamon Easy 11 для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ I-500) – 1 кг; вода – 0.0008 м³; Dynamon Easy 11 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 117 %;
- модуль пружності E на 4 %;
- питоме зчеплення C на 200 %.

4. Використання добавки 4 Microcem 8000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; Microcem 8000 – 0.75 кг; вода – 0.00075 м³; Dynamon Easy 11 – 7.5 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 350 %;
- модуль пружності E на 65 %;
- питоме зчеплення C на 1438 %.

5. Використання добавки 5 Viscofluid Jet 5000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ I-500) - 1 кг; вода – 0.0008 м³; Viscofluid Jet 5000 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 209 %;
- модуль пружності E на 9 %;
- питоме зчеплення C на 15284 %.

РОЗДІЛ 4

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ В ПРАКТИКУ БУДІВНИЦТВА

4.1. Опис вихідних даних

Експлуатаційна надійність та довговічність будівель та споруд повністю залежить від несучої здатності ґрунтів основи фундаментів.

В даний час найбільш поширеною технологією підвищення несучої здатності ґрунтової основи є перетворення будівельних властивостей ґрунтів, в умовах їх природного залягання, методом ін'єкції в ґрунт різних хімічних розчинів, що закріплюють.

Для підвищення несучої здатності та зниження деформацій ґрунтових основ існує безліч способів штучного закріплення ґрунтів.

Умовно розділимо їх на фізичні – зміцнення масиву ґрунту за допомогою впливу фізичних полів, механічні – приміщення в товщу ґрунту армуючих елементів, що володіють високою міцністю на розтяг, хімічні – покращення властивостей ґрунтів за допомогою нагнітання у їхній товщі спеціальних розчинів.

У даному випадку застосовано хімічний спосіб штучного закріплення ґрунтів основ.

Об'єктом для впровадження є фундаменти чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків.

Вирішуваним завданням є хімічне закріплення ґрунтів основи під фундаментами, які додаються при реконструкції.

Опис завдання. Розглянутий об'єкт являє собою чотирьох поверховий будинок (включаючи підземний поверх) з мансардою і трьома секціями на кожному поверху, що включають приміщення соціально-культурного призначення загального користування. Конструктивне рішення будинку до реконструкції – безкаркасна конструктивна схема, у якій є несучі зовнішні та внутрішні стіни із цегли. Конструктивна схема будівлі після реконструкції – неповна каркасна з самонесучими зовнішніми і внутрішніми стінами і

внутрішнім каркасом з монолітного залізобетону. Спільна робота балок і плит перекриттів, діафрагм жорсткості, колон, сходів та фундаментної плити, що об'єднані у просторовій системі, забезпечує загальну стійкість та жорсткість каркасу.

Реконструкція полягає у виконанні нових конструкцій у середині будинку у вигляді комбінованих фундаментів, що представляють плиту на природному ґрунтовому шарі (для колон та сходів вхідної секції) і стовпчастих фундаментів плитного типу (у двох інших секціях), при цьому оберття колон відбувається у центральній частині приміщень (колони розташовуються центрально). Основою для додаткових фундаментів є суглинки з початковим тиском для просідання 12.2 т/м^2 (0.12 МПа), які будуть підсилюватися хімічним закріпленням.

4.2. Опис методики розрахунку та розрахункова модель

Мета розрахунку полягає у розрахунку несучої здатності ґрунтів основи до і після хімічного закріплення різними матеріалами ТМ МАРЕІ.

Опис методики розрахунку. Розрахунок будівлі виконаний методом скінчених елементів у програмному комплексі Ліра-САПР 2018.

Скінченно-елементна модель будинку представлена на рисунку 4.1. Стіни, елементи покриття і плити перекриття ідеалізовані та змодельовані плоскими скінченними елементами – для цього у програмному комплексі використані універсальні скінченні елементи оболонки. Вертикальні колони та горизонтальні балки (ригелі) виконані зі стержневих скінченних елементів, які моделюють лінійний напружений стан та сприймають зусилля від скінченних елементів, які задаються у вигляді оболонки.

Фундаменти моделюються із застосуванням універсальних скінченних елементів оболонки, які можуть враховувати параметри, що описують пружну основу, та ці параметри обчислюються за результатами розрахунків на тривимірній моделі ґрунту.

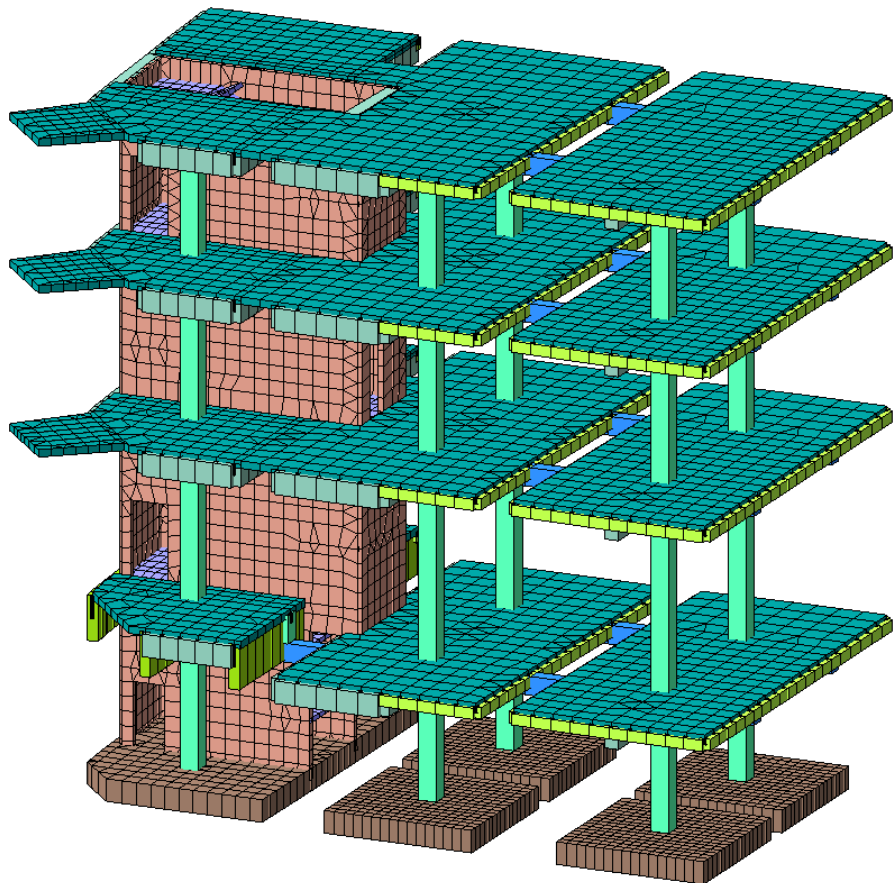
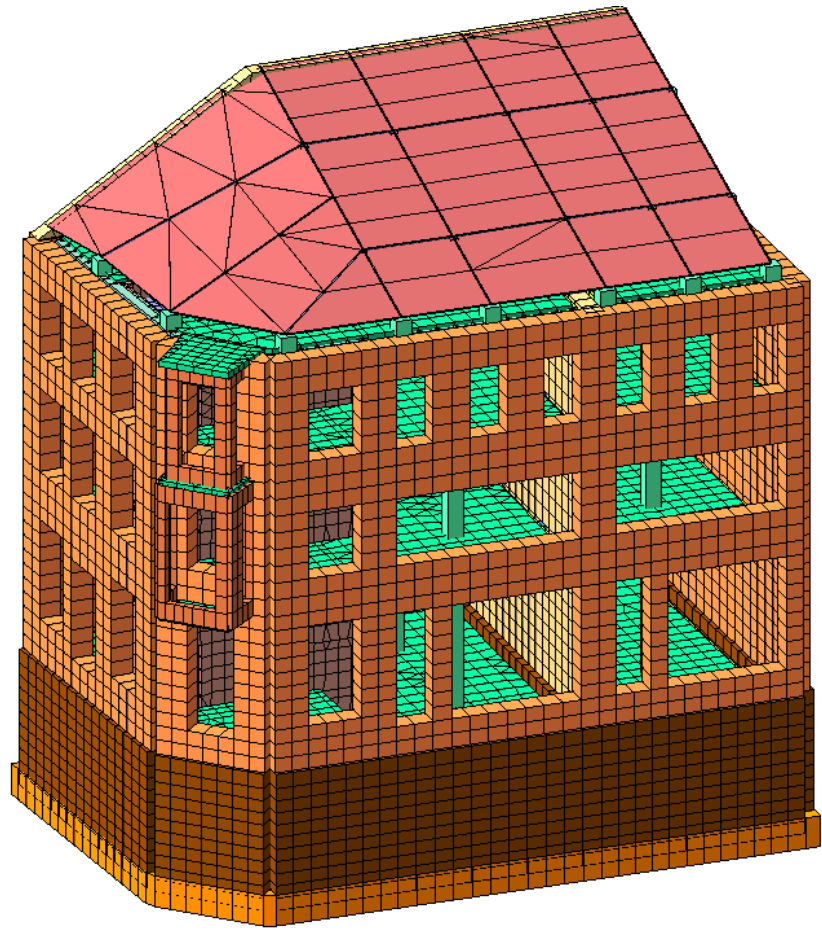


Рис. 4.1. Скінченно-елементна модель будинку

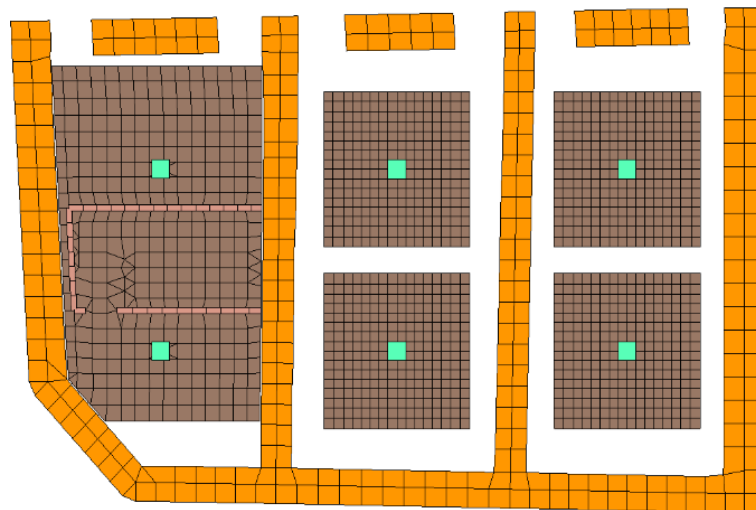
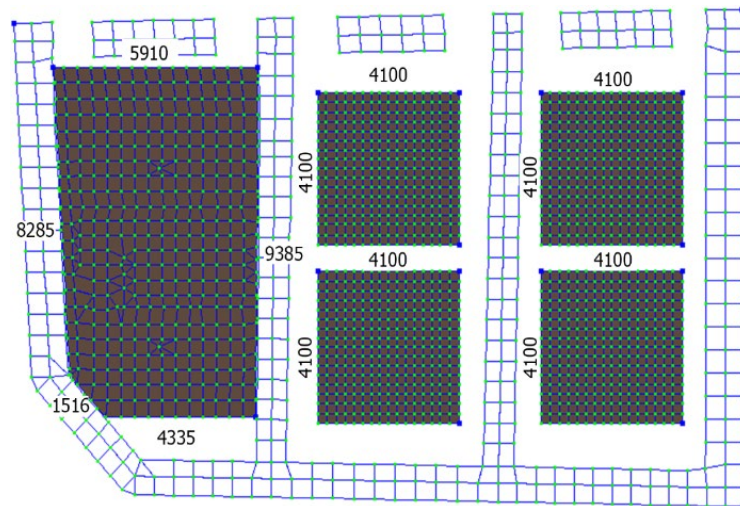
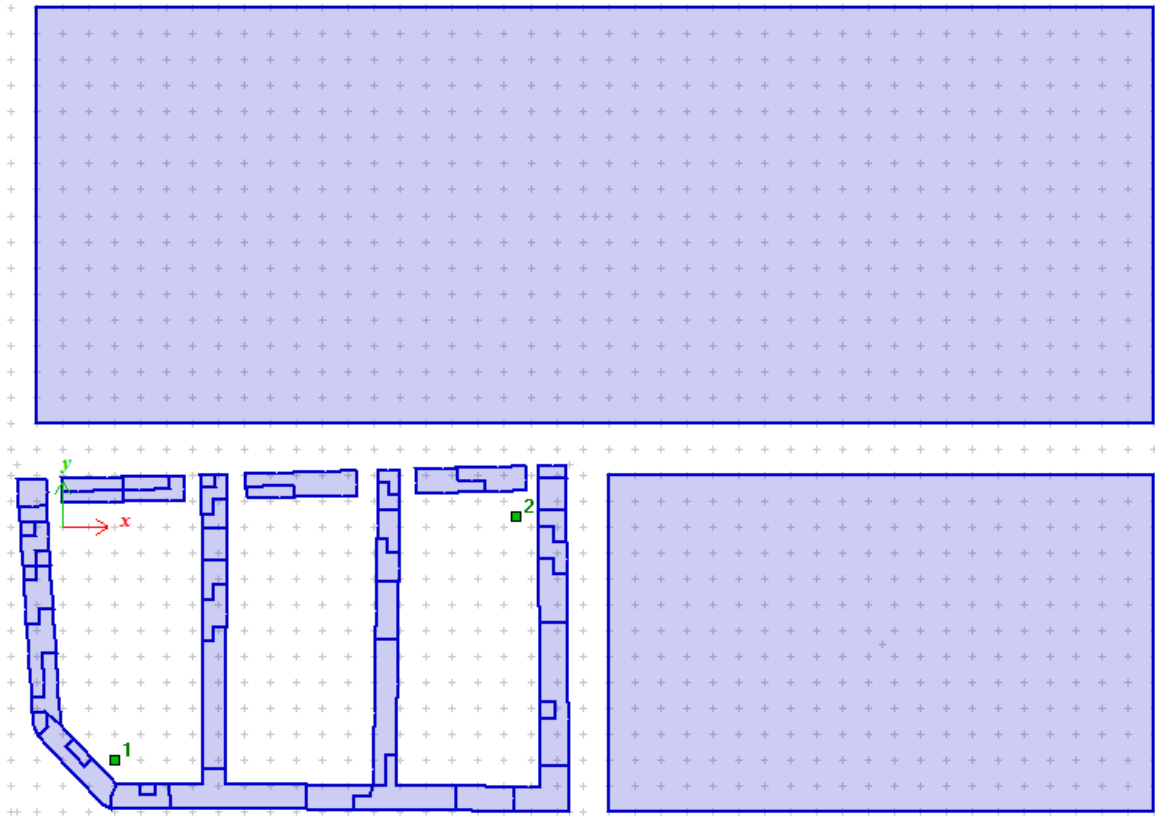


Рис. 4.2. Модель ґрунту на плані з позначенням номерів шурфів

У розрахунковій схемі враховані такі види навантажень: постійні навантаження (вага несучих і не несучих конструкцій) і розрахункові тимчасові навантаження. Власна вага конструкцій приймалася з коефіцієнтом надійності 1.1. Питома вага цегляної кладки прийнята 1.65 т/м^3 , для монолітного залізобетону – 2.4 т/м^3 . Корисне навантаження на підземному поверху (нормативне навантаження без урахування власної ваги) прийнята – 300 кг/м^2 , на другому та третьому поверхах – 300 кг/м^2 , на четвертому поверху і мансарді – 200 кг/м^2 . Коефіцієнт надійності для корисної навантаження дорівнює 1.2. Відповідно, розрахункове навантаження на підземному, другому та третьому поверхах – 360 кг/м^2 , на 4-му поверху і мансарді – 240 кг/м^2 .

Розрахункова модель ґрунтів (рис. 4.2) побудована за результатами інженерно-геологічних досліджень майданчика будівництва, в результаті яких розкриті три шари ґрунту в двох свердловинах (таблиця 4.1). Значення фізико-механічних характеристик ґрунтів показані в таблиці 4.2.

Визначення значень які відображають коефіцієнти постелі С1 та С2 виконується за допомогою ітераційного методу згідно з законами розповсюдження тиску по площі основи та моделлю ґрунтової основи. При розрахунках також враховано наближено визначений тиск на ґрунт від будинків, що знаходяться поруч із цим об'єктом.

Таблиця 4.1. Характеристики шурфів

№	Найменування	Абсолютна відмітка підшви шурфу №		Потужність шару ґрунту шурфу №		Глибина залягання шару ґрунту шурфу №	
		1	2	1	2	1	2
1	суглинок просадочний	96.30	96.30	3.70	3.70	3.70	3.70
2	суглинок	93.80	94.44	2.50	2.30	6.20	6.0
3	пісок середньої щільності	92.20	92.40	1.60	1.60	7.80	7.6

Таблиця 4.2. Характеристики ґрунтів

номер ПГЕ	Найменування	Модуль деформації, т/м ²	Коефіцієнт Пуассона	Питома вага, т/м ³	Природна вологість, частки	Показник плинності	Коефіцієнт пористості	Питоме зчеплення, т/м ²	Кут внутрішнього тертя, °
1	суглинок просадочний	500	0.35	1.77	0.16	0.1	0.74	3.1	17
2	суглинок	1100	0.35	1.83	0.21	0.14	0.76	3.7	14
3	пісок середньої щільності	3630	0.3	1.8	0.09	-	0.57	0.004	32

За модифікованій моделлю Пастернака обчислюються характеристики пружної ґрунтової основи.

4.3. Розрахункові випадки

Розрахунки тримальної здатності ґрунтових основ зроблені для 6-и варіантів, у які закладені характеристики підсилених ґрунтів у відповідності до використаного матеріалу. Для першого розрахункового варіанту передбачається застосування ґрунту у природному вигляді.

Параметри для ґрунтових основ у варіантах для розрахунків, що використовуються у подальших розрахунках та з урахуванням властивостей, які отримані дослідним шляхом наведено в таблиці 4.3

Таблиця 4.3. Параметри для ґрунтових основ у варіантах для розрахунків

Розрахунковий випадок	Найменування	Модульдеформації, т/м ²	Питоме зчеплення, т/м ²	Кут внутрішнього тертя, °	Розрахунковий опір, т/м ²
1	Суглинок просадочний в заданому стані	500	3.1	17	12.2
2	Закріплений ґрунт. Композиція 1. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; вода - 0.55 л; Ехранjet - 1 кг.	1485	24.8	21.2	246.6
3	Закріплений ґрунт. Композиція 2. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; цемент (ПЦІ І-500)-1.43 кг; вода-0.51 л; Ехранfluid-43 гр.	570	18.6	24.6	231.5
4	Закріплений ґрунт. Композиція 3. Пропорції: ґрунт-0.010 м ³ ; цемент (ПЦІ-500)-1 кг; вода-0.8 л; Dynamon Easy 11-10гр.	520	9.3	37.0	266.1
5	Закріплений ґрунт. Композиція 4. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; Microset 8000 - 0.75 кг; вода-0.75 л; Dynamon Easy 11-7.5 гр.	825	47.6	76.5	1230.4
6	Закріплений ґрунт. Композиція 5. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; цемент (ПЦІ-500)-1 кг; вода-0.8 л; Viscofluid Jet 5000-10гр.	545	476.9	52.7	10083

4.4. Результати розрахунку

Кінцеві результати обчислень наведені за допомогою ізополів, які відображають коефіцієнти постелі C1 та C2, навантаження (тиск) на ґрунт P_z та вертикальні деформації (рисунки 4.4-4.15) для розрахункових випадків, представлених в таблиці 5. Кожного разу виконувалася оцінка несучої здатності підсиленого ґрунту у відповідності до розрахункового опору ґрунтів при стисненні (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Результати розрахунку

Розрахунковий випадок	Найменування	Тиск на ґрунт	Коефіцієнти постелі		Осадка	Запас несучої здатності основи
			C1	C2		
		т/м ²	т/м ³	т/м	мм	
1	Незакріплений ґрунт в основі	13.7	112-158	1750-2470	116	0.89
2	Закріплений ґрунт. Композиція 1.	12.5	331-469	5210-7340	37.2	19.6
3	Закріплений ґрунт. Композиція 2.	13.5	127-180	2000-2820	101	17.1
4	Закріплений ґрунт. Композиція 3.	13.6	116-164	1820-2570	111	19.5
5	Закріплений ґрунт. Композиція 4.	13.1	184-261	2890-4080	68.3	93.8
6	Закріплений ґрунт. Композиція 5.	13.6	122-172	1910-2690	106	740

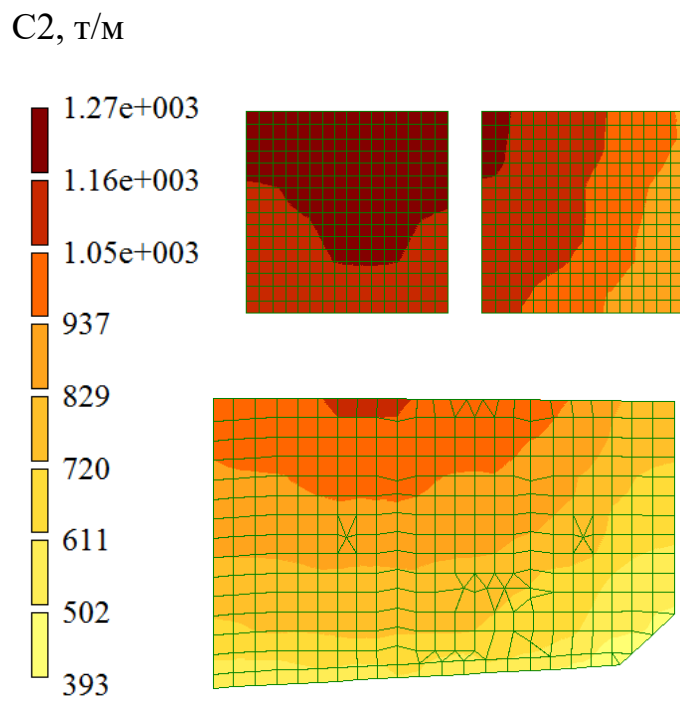
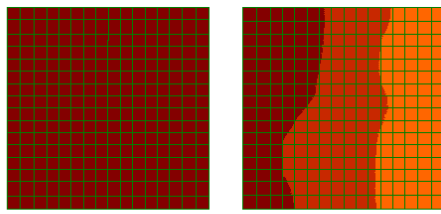
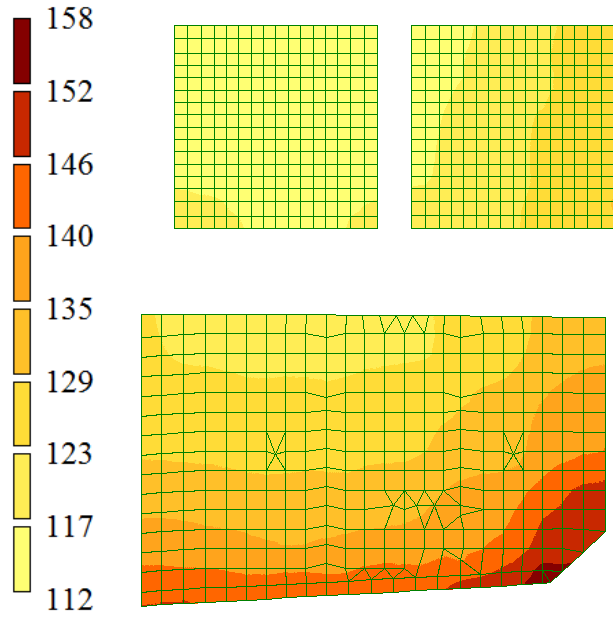
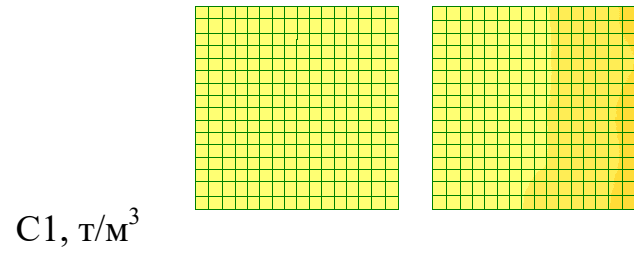


Рис. 4.4. Ґрунтово-рослинний шар в заданому стані

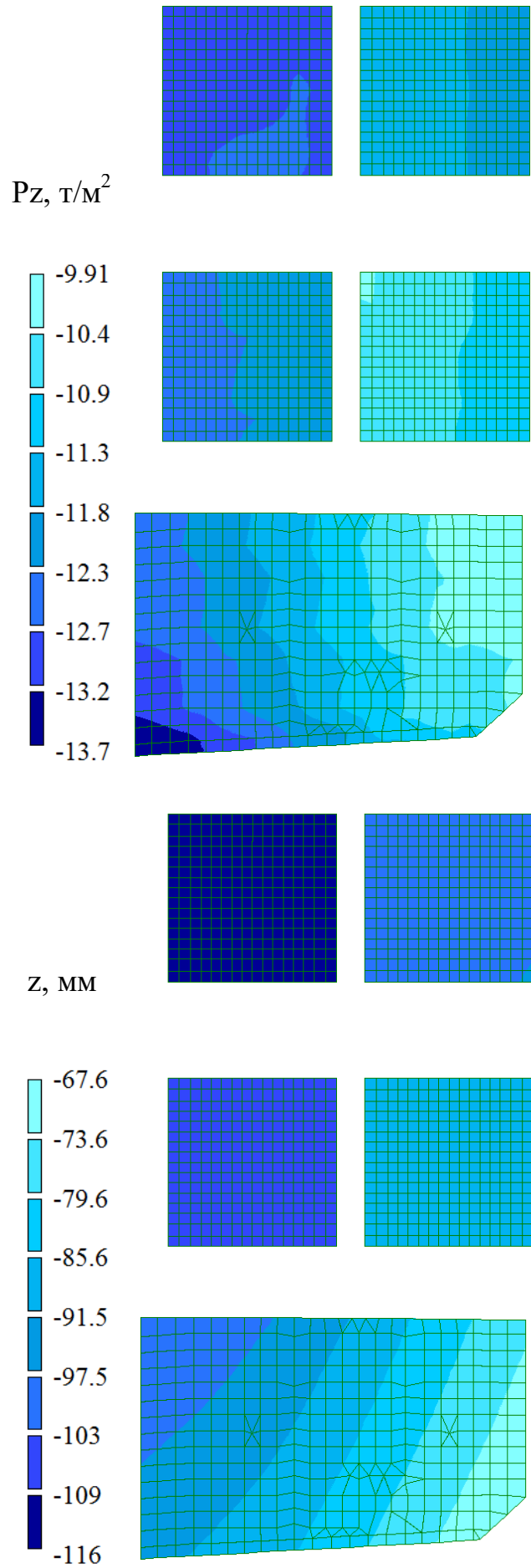


Рис. 4.5. Ґрунтово-рослинний шар в заданому стані

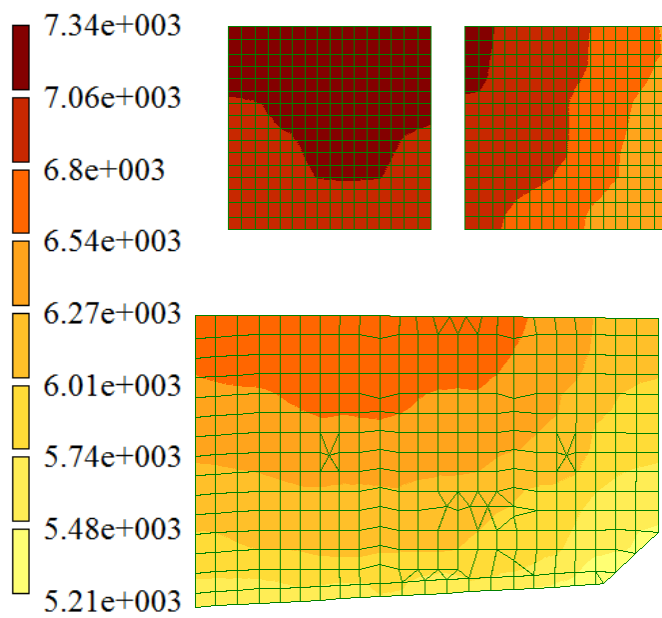
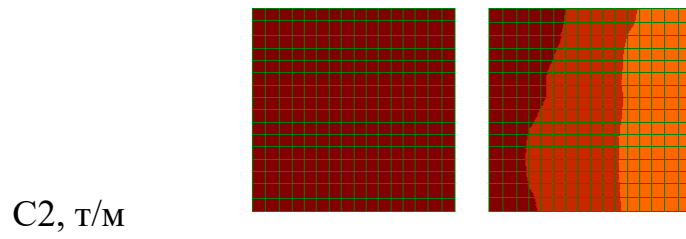
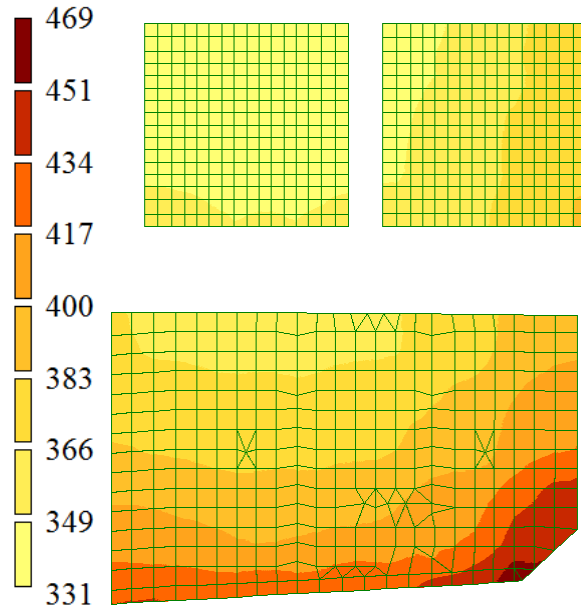
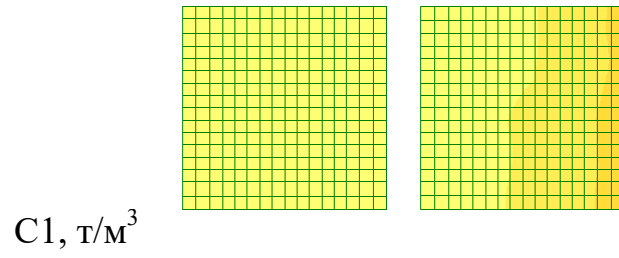


Рис. 4.6. Закріпленний ґрунт. Композиція 1

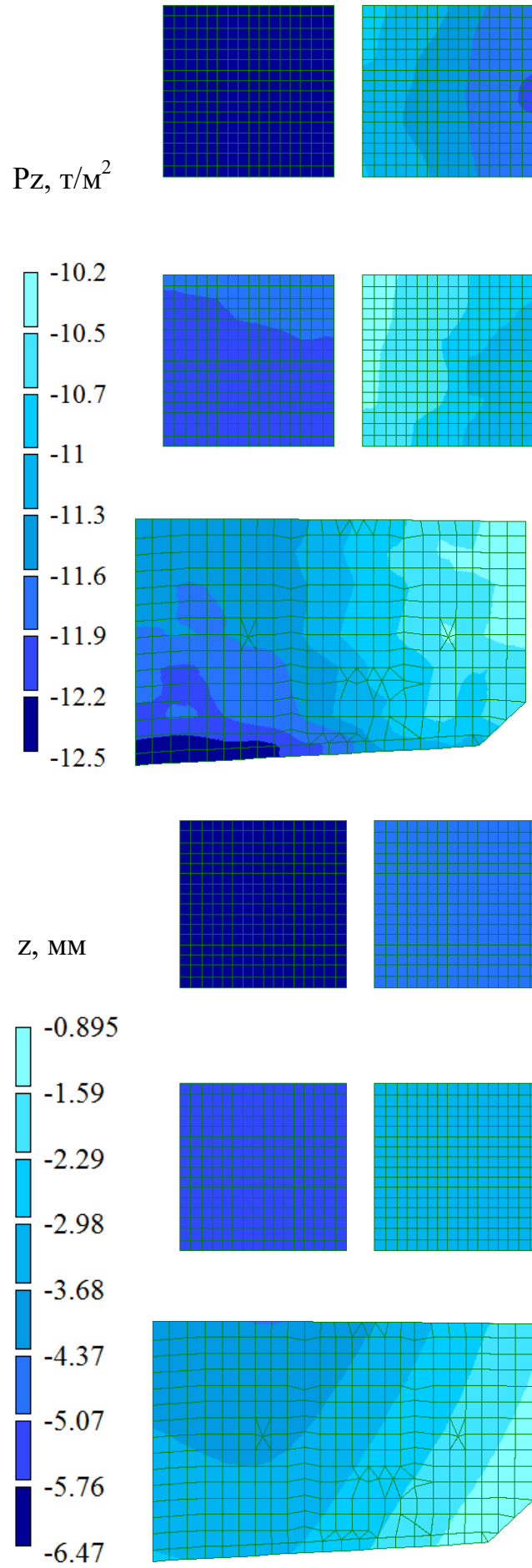


Рис. 4.7. Закріпленний ґрунт. Композиція 1

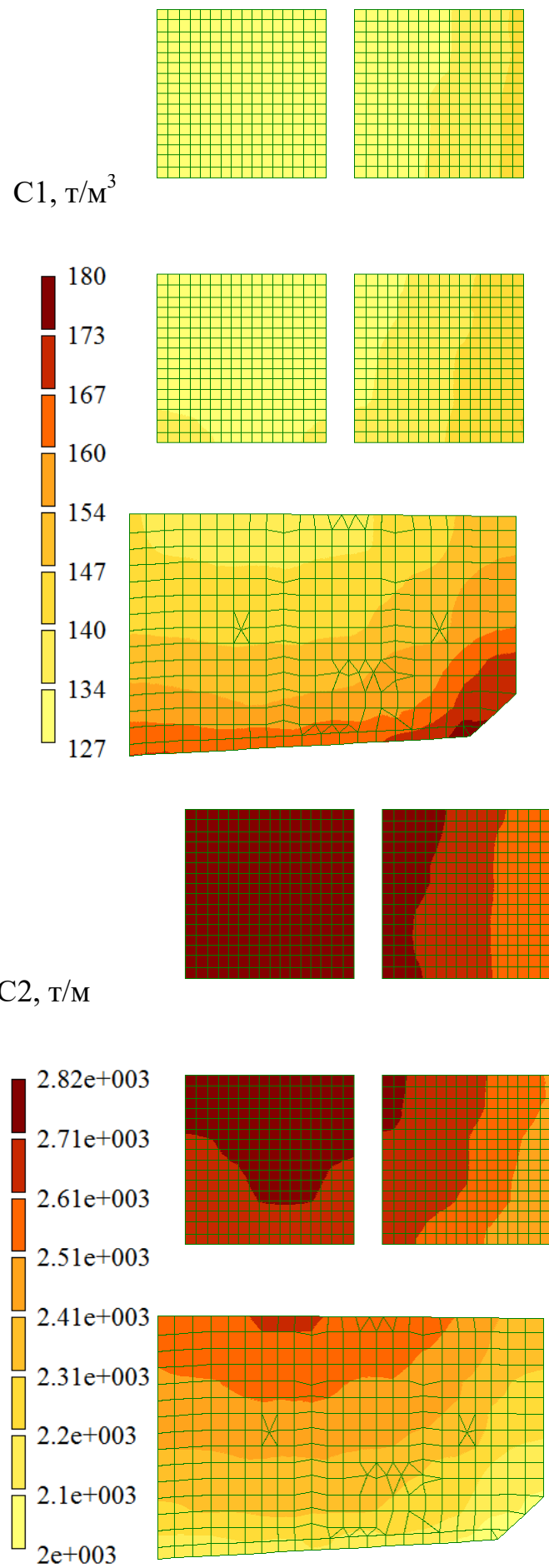


Рис. 4.8. Закріпленний ґрунт. Композиція 2

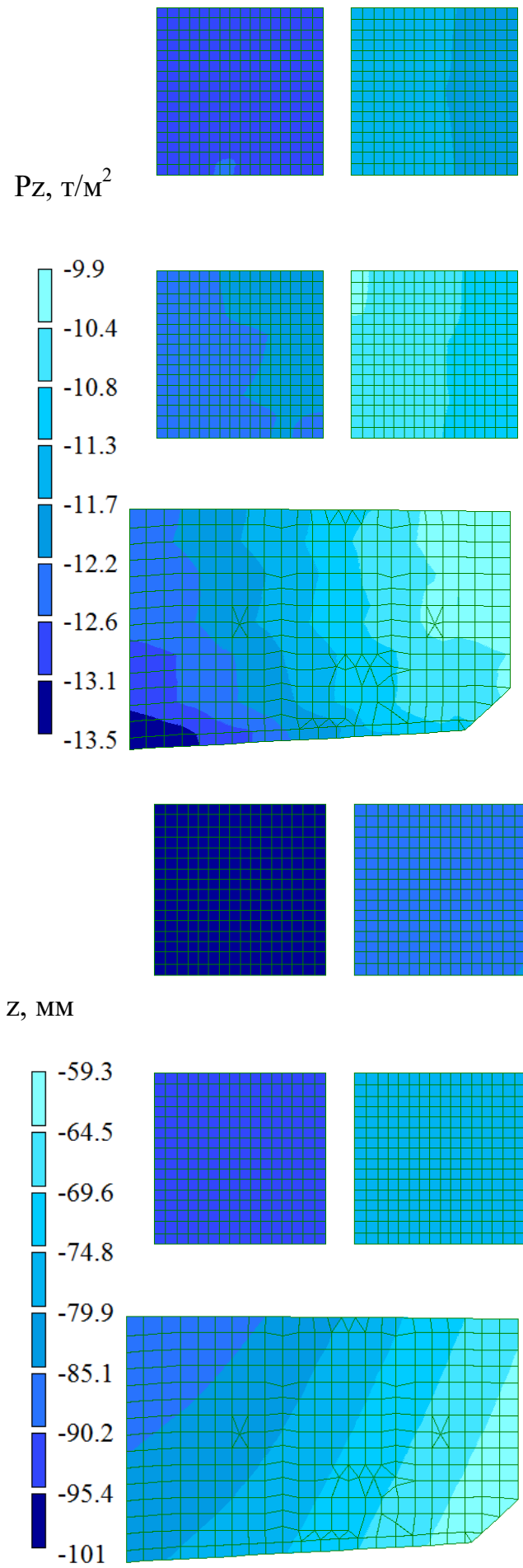
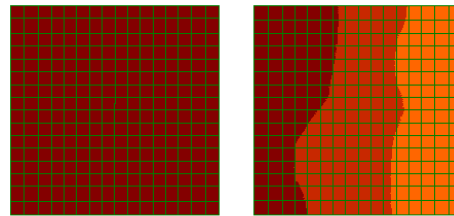
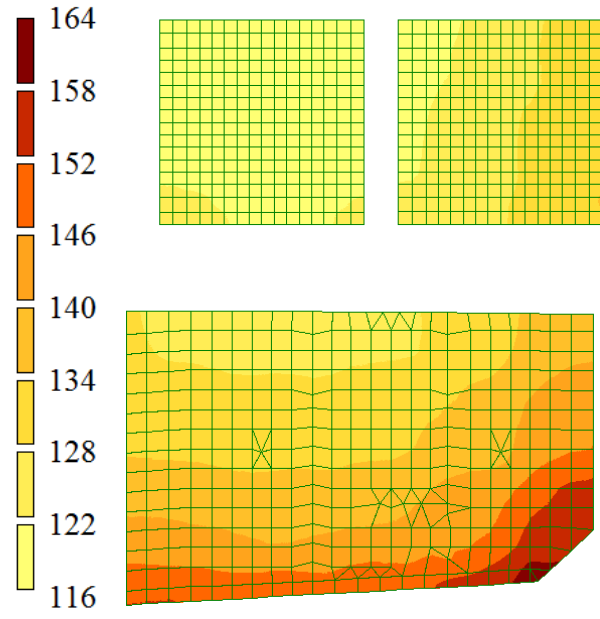
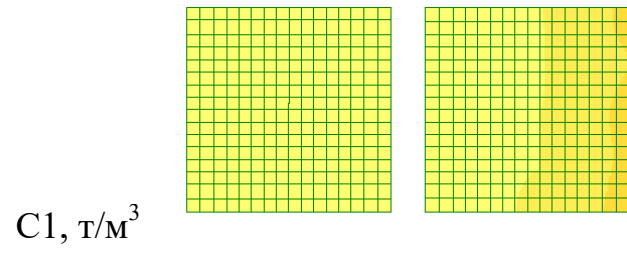


Рис. 4.9. Закріплений ґрунт. Композиція 2



$C2, \text{T/M}$

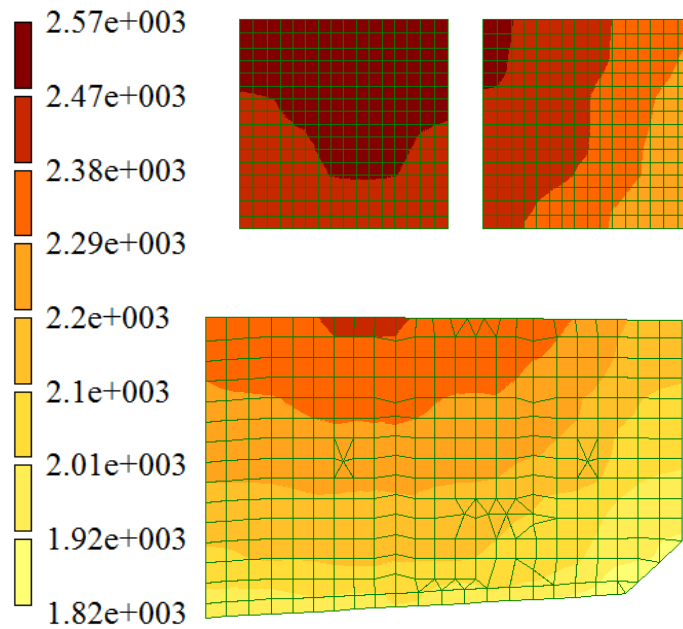


Рис. 4.10. Закріплений ґрунт. Композиція 3

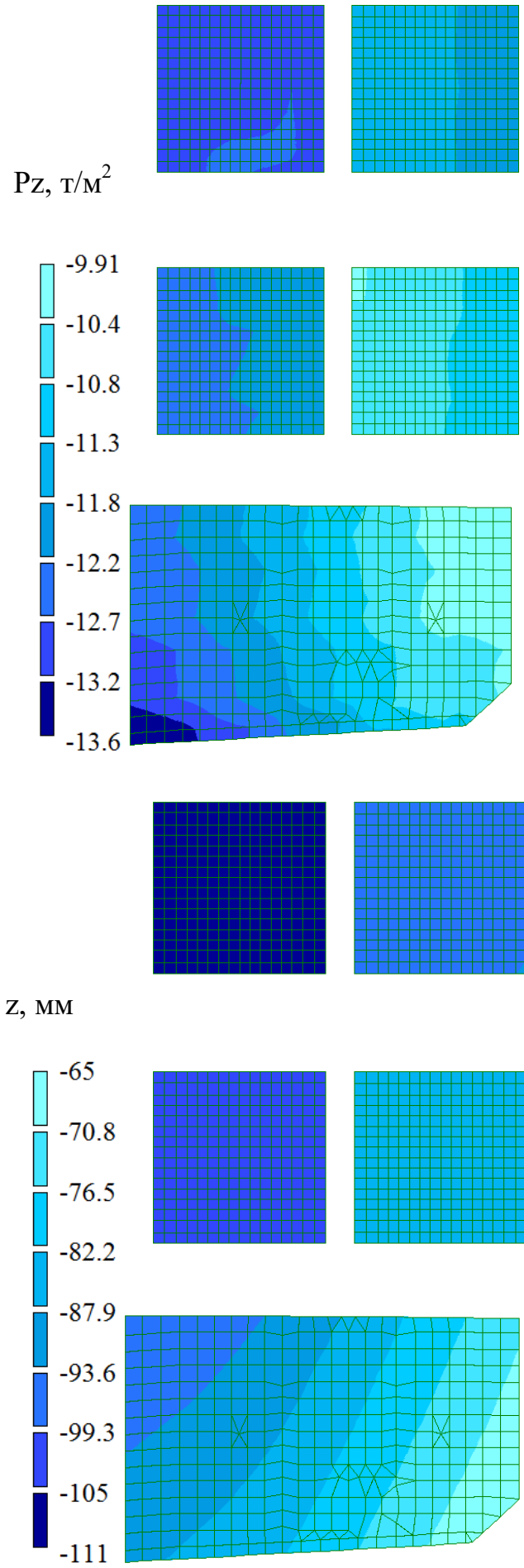


Рис. 4.11. Закріпленний ґрунт. Композиція 3

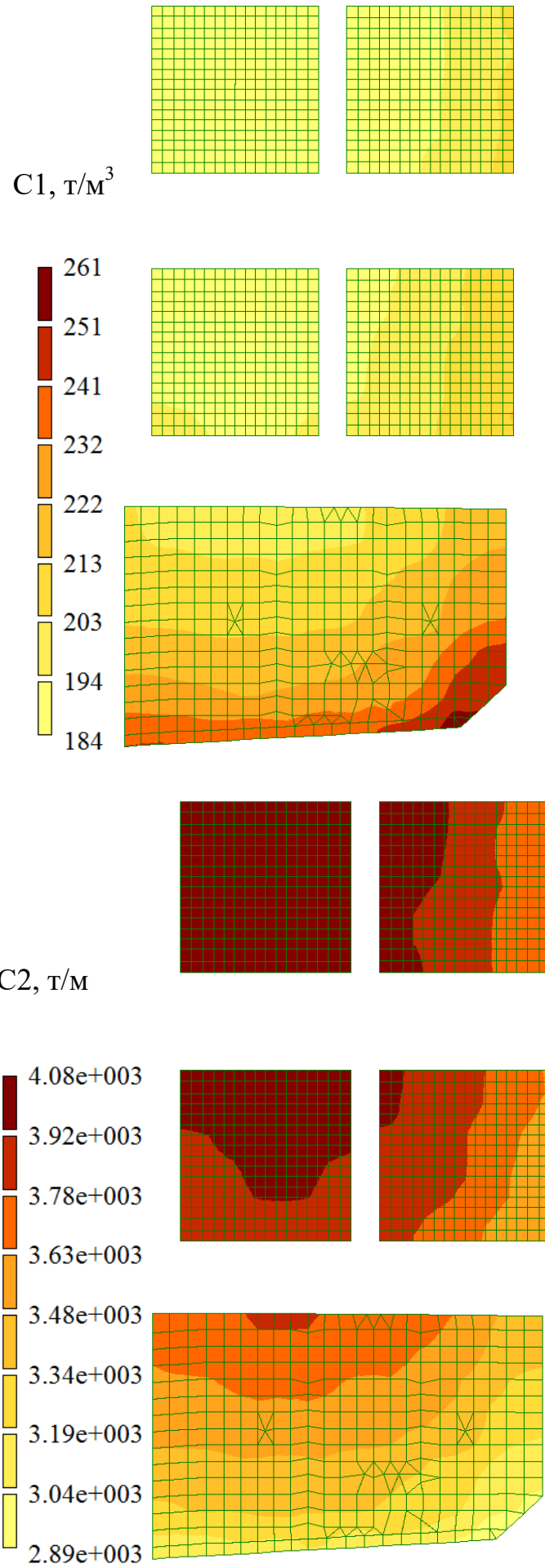


Рис. 4.12. Закріпленій ґрунт. Композиція 4

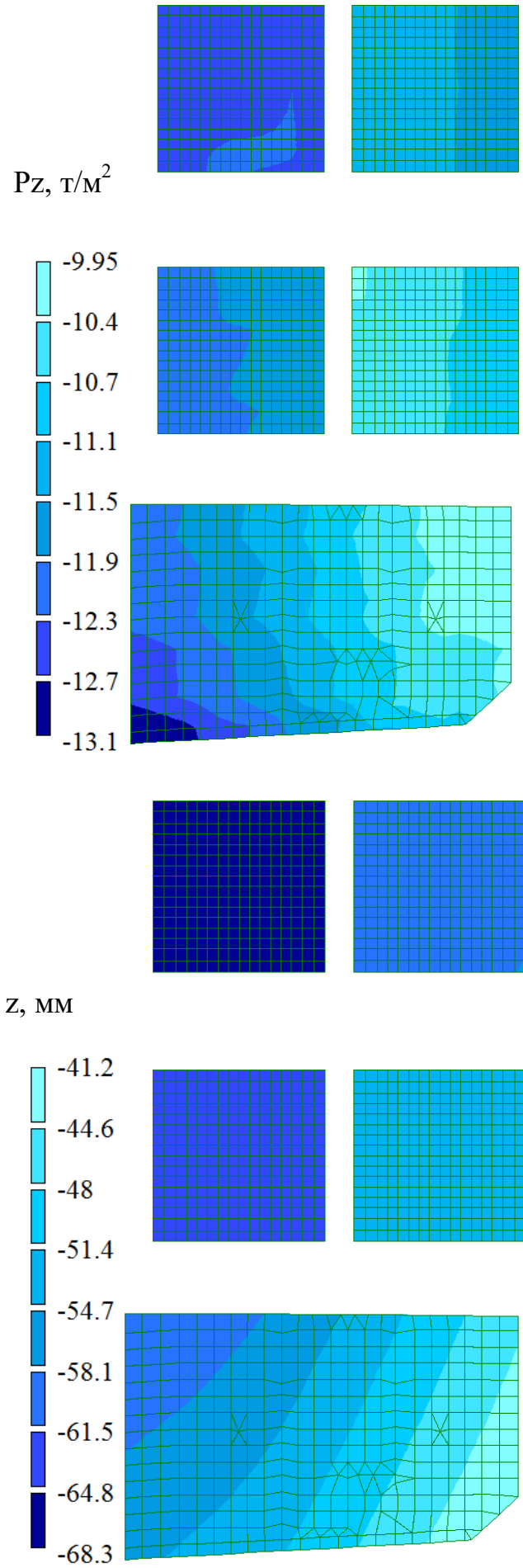
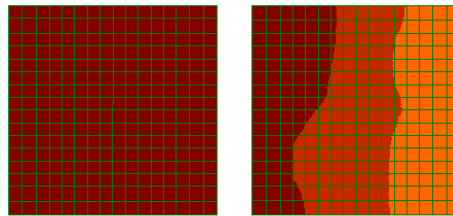
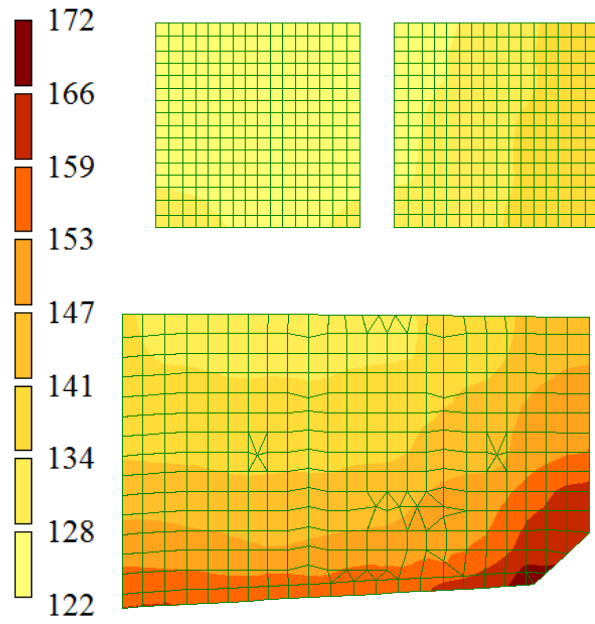
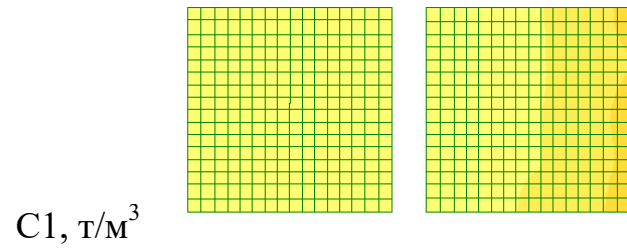


Рис. 4.13. Закріплений ґрунт. Композиція 4



$C2, \text{T/M}$

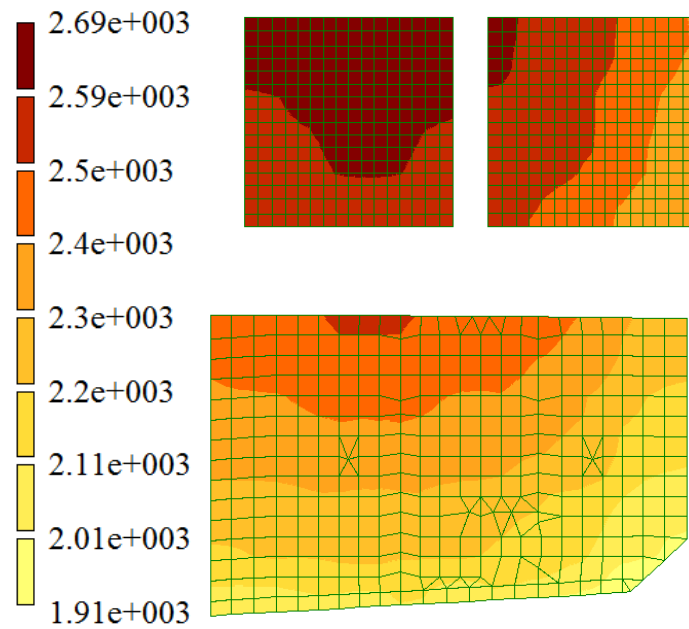


Рис. 4.14. Закріплений ґрунт. Композиція 5

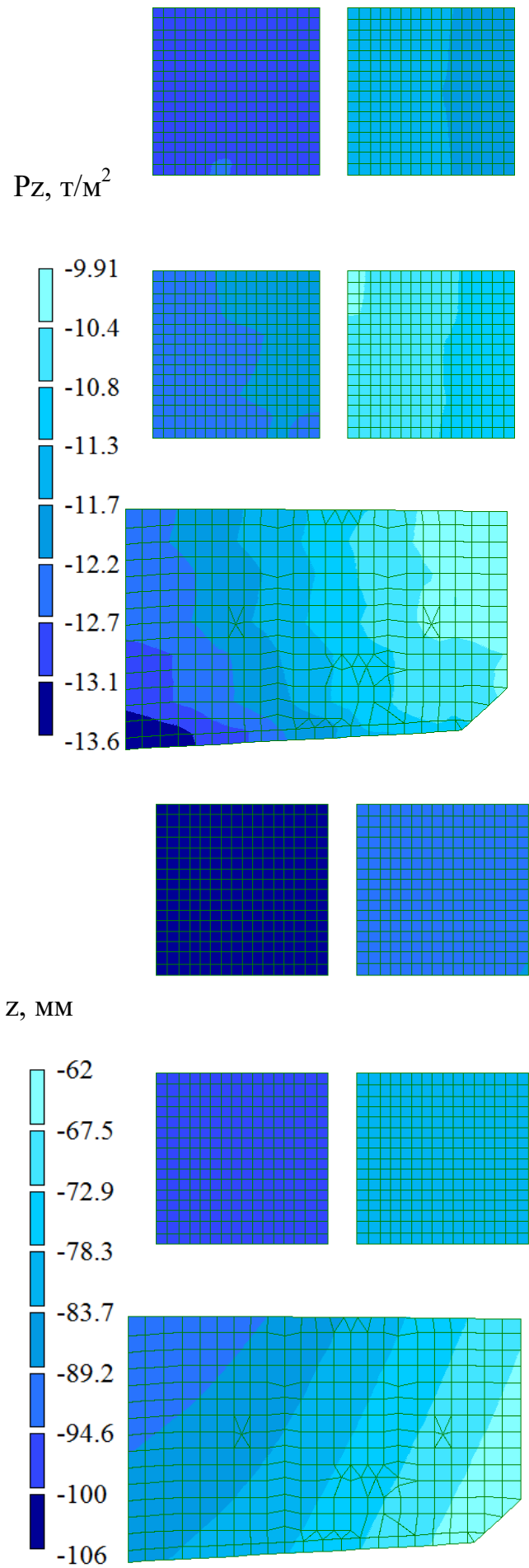


Рис. 4.15. Закріпленій ґрунт. Композиція 5

Висновки по Розділу 4

Проаналізувавши результати розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ робляться такі підсумки:

Використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції (таблиця 4.4) дає змогу підвищити жорсткість гуртової основи втричі та більше, а тримальну здатність – у 10 разів і більше, у відповідності до обраних складів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуті результати експериментально-теоретичних досліджень ефективності застосування готових складів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення ґрунтів основ будівель при реконструкції. Об'єктами дослідження були прийняті ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю. Проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів природного стану та після зміцнення проводилось в лабораторних умовах.

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ робляться такі підсумки:

1. Використання суміші 1 Еханґет для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; вода – 0.00055 м³; Еханґет – 1 кг, призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 25 %;
- модуль пружності Е на 196 %;
- питоме зчеплення С на 700 %.

2. Використання добавки 2 Еханфлuid для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) - 1.43 кг; вода – 0.00051 м³; Еханфлuid – 43 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 45 %;
- модуль пружності Е на 14 %;
- питоме зчеплення С на 500 %.

3. Використання добавки 3 Динамон Еазі 11 для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) – 1 кг; вода – 0.0008 м³; Динамон Еазі 11 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 117 %;
- модуль пружності Е на 4 %;
- питоме зчеплення С на 200 %.

4. Використання добавки 4 Мікросет 8000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; Мікросет 8000 – 0.75 кг; вода – 0.00075 м³; Динамон Еазі 11 – 7.5 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 350 %;

- модуль пружності E на 65 %;
- питоме зчеплення C на 1438 %.

5. Використання добавки 5 Viscofluid Jet 5000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) - 1 кг; вода – 0.0008 м³; Viscofluid Jet 5000 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 209 %;
- модуль пружності E на 9 %;
- питоме зчеплення C на 15284 %.

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення матеріалами ТМ МАРЕІ можна зробити наступні висновки:

- використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків дозволяє збільшити жорсткість основи в 3 рази і більше, несучу здатність у 10 раз та більше відповідно до прийнятих композицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформації. Київ: НДІОСП, 1997. 102с. (Національний стандарт України: інформація та документація).
2. Зоценко М.Л. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом / Зоценко М.Л., Винников Ю.Л., Зоценко В.М. Монографія – Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. – 94 с.
3. Lobiak, O., Vatulia, G., Pavliuchenkov, M., Petrenko, D., Voskobiinyk, O. Using mathematical modeling for stabilization of soil foundations of buildings with the injection technique. AIP Conference Proceedings, 2023, 2684, 030023.
4. S V Panchenko, G L Vatulia, O V Lobiak, M V Pavliuchenkov, O S Herasymenko and S M Bohdan. Soil stabilization with modern TM MAPEI materials in reconstruction of buildings and structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Volume 708. 012066
5. A. Gorodetsky, Computer models of structures, Fact, Kyiv, 394 (2007)
6. ДБН В.2.1-10-2009 (Зміна № 2) «Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування» (Національний стандарт України: інформація та документація).
7. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». (Національний стандарт України: інформація та документація).
8. Ігошева Л.А., Гришина А.С. Огляд основних методів зміцнення ґрунтів основи. Вісник ПНДПУ. Будівництво та архітектура Т. 7, №2 (2016) С. 5-21.
9. Допомога з хімічного закріплення ґрунтів ін'єкцією. НДІОСП ім. Герсеванова, М.: Будвидав, 1986. 128 с.
10. ДБН В. 1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». (Національний стандарт України: інформація та документація)
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану». (Національний стандарт України: інформація та документація)

12. ДБН В.2.1-10-2009 (Зміна № 2) «Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування». (Національний стандарт України: інформація та документація).

13. ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції». (Національний стандарт України: інформація та документація).

14. ДБН В. 1.2-6-200.8 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість». (Національний стандарт України: інформація та документація).

15. ДБН В. 1.2-9-2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації». (Національний стандарт України: інформація та документація).

16. СОУ 35417345 91.080.40-002:2017 «Гідроізоляція бетонних та залізобетонних споруд із застосуванням матеріалів системи ПЕНЕТРОН».

17. ДБН В.1.1-45:2017 «Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах». (Національний стандарт України: інформація та документація).

18. ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». (Національний стандарт України: інформація та документація).

19. ДСТУ Б Д.2.2-4:2012 «Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Свердловини (Збірник 4) (ДБН Д.2.2-4-99, MOD)». (Національний стандарт України: інформація та документація).

20. ДСТУ Б В.2.7-61:2008 «Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови (EN 771-1:2003, NEQ). (Національний стандарт України: інформація та документація).

21. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю». (Національний стандарт України: інформація та документація).

22. Терещенко А., Павлюченков М. Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» (November 25-27, 2024. Montreal, Canada). European Open Science Space (Інтернет конференція). – 2024. – С. 49-51.

Додаток 1. Матеріали конференції

Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference
"Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives"
November 25-27, 2024
Montreal, Canada



Отримані результати чисельних досліджень обґрунтовують потребу в подальших практичних експериментах, які мають на меті визначення оптимальних форм перерізів легких сталевих тонкостінних конструкцій у відповідності до різних рівнів силових зусиль, оцінку ступеня зчеплення матеріалів під час тестів на відривання, а також поліпшення та раціоналізацію технологій створення таких конструкцій.

Список використаних джерел

1. Семко В.О. Сталеві холодноформовані тонкостінні конструкції: монографія / В. О. Семко. – Полтава: ТОВ “АСМІ”, 2017. – 325 с.
2. Юрченко В.В. Розробка аналітичних залежностей для оцінки значень критичних сил втрати місцевої стійкості та втрати стійкості форми перерізу тонкостінних стержнів відкритого профілю / В.В. Юрченко // Металеві конструкції. – 2012. – Том 18, №3. – С. 185–196.
3. Семко О.В. Експериментальні дослідження з'єднання тонкостінних оцинкованих конструкцій / О.В. Семко, В.О. Сіробаба, Є.О. Загорюлько // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: збірник наукових праць. – Одеса: ОДАБА, 2017. – Вип. 69 – С. 58–63.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКРІПЛЕНИХ ҐРУНТІВ ОСНОВ ІЗ ПОКРАЩЕННЯМ ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Терещенко Артем¹

здобувач вищої освіти

Павлюченков Михайло^{1,2}

к.т.н., доцент

¹Кафедра будівельних конструкцій

Сумський національний аграрний університет, Україна

²Кафедра теоретичної та будівельної механіки

Харківський національний університет міського господарства

імені О.М. Бекетова, Україна

Експлуатаційна надійність та довговічність будівель та споруд повністю залежить від несучої здатності ґрунтів основи фундаментів.

В даний час найбільш поширеною технологією підвищення несучої здатності ґрунтової основи є змінення будівельних властивостей ґрунтів, в умовах їх природного залягання, методом ін'єкції в ґрунт різних хімічних розчинів, що закріплюють.

Для підвищення несучої здатності та зниження деформацій ґрунтових основ існує безліч способів штучного закріплення ґрунтів.

Умовно розділимо їх на фізичні – зміцнення масиву ґрунту за допомогою впливу фізичних полів, механічні – приміщення в товщу ґрунту армуючих

елементів, що володіють високою міцністю на розтяг, хімічні – покращення властивостей ґрунтів за допомогою нагнітання у їхній товщі спеціальних розчинів.

У даній роботі розглядається хімічний спосіб штучного закріплення ґрунтів основ.

Розглянуті результати експериментально-теоретичних досліджень ефективності застосування готових складів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення ґрунтів основ будівель при реконструкції. Об'єктами дослідження були прийняті ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю. Проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів природного стану та після зміцнення проводилось в лабораторних умовах.

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення за допомогою матеріалів ТМ МАРЕІ робляться такі підсумки:

1. Використання суміші 1 Еханjet для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; вода – 0.00055 м³; Еханjet – 1 кг, призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 25 %;
- модуль пружності Е на 196 %;
- питоме зчеплення С на 700 %.

2. Використання добавки 2 Еханfluid для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) - 1.43 кг; вода – 0.00051 м³; Еханfluid – 43 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 45 %;
- модуль пружності Е на 14 %;
- питоме зчеплення С на 500 %.

3. Використання добавки 3 Дупамон Easy 11 для піщаного ґрунту, в пропорціях: пісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) – 1 кг; вода – 0.0008 м³; Дупамон Easy 11 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 117 %;
- модуль пружності Е на 4 %;
- питоме зчеплення С на 200 %.

4. Використання добавки 4 Міросет 8000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; Міросет 8000 – 0.75 кг; вода – 0.00075 м³; Дупамон Easy 11 – 7.5 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 350 %;
- модуль пружності Е на 65 %;
- питоме зчеплення С на 1438 %.

5. Використання добавки 5 Віскоfluid Jet 5000 для глинистого ґрунту (супіску), в пропорціях: супісок – 0.01 м³; цемент (ПЦ І-500) - 1 кг; вода – 0.0008 м³; Віскоfluid Jet 5000 – 10 гр., призводить до збільшення:

- кут внутрішнього тертя на 209 %;
- модуль пружності Е на 9 %;
- питоме зчеплення С на 15284 %.

Проаналізувавши результати чисельних розрахунків несучої здатності ґрунтів після хімічного закріплення матеріалами ТМ МАРЕІ можна зробити наступні висновки:

- використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при реконструкції чотирьох поверхового будинку, що реконструюється, в м. Харків дозволяє збільшити жорсткість основи в 3 рази і більше, несучу здатність у 10 раз та більше відповідно до прийнятих композицій.

Список використаних джерел

1. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформації. Київ: НДІОСП, 1997. 102с. (Національний стандарт України: інформація та документація).
2. Зоценко М.Л. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом / Зоценко М.Л., Винников Ю.Л., Зоценко В.М. Монографія – Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. – 94 с.
3. Lobiak A., Vatulia G., Orel Ye. Simulation of performance of circular CFST columns under short-time and long-time load. 6-th International Scientific Conference on Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings. MATEC Web of Conferences TransBud 2017. Kharkiv, Ukraine, 2017. Volume 116, 02036.

Додаток 2. Графічні матеріали

Міністерство освіти і науки України
Сумський національний аграрний університет
Кафедра будівельних конструкцій

Дослідження закріплених ґрунтів основ із покращенням їх фізико-механічних властивостей

Розробив: студент групи ЗПЦБ 2301м
спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія”
Артем Терещенко

Керівник: к.т.н., доцент
Павлюченков М.В.

Мета роботи – проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів після їх закріплення матеріалами ТМ МАРЕІ та обґрунтування доцільності їх використання на практиці

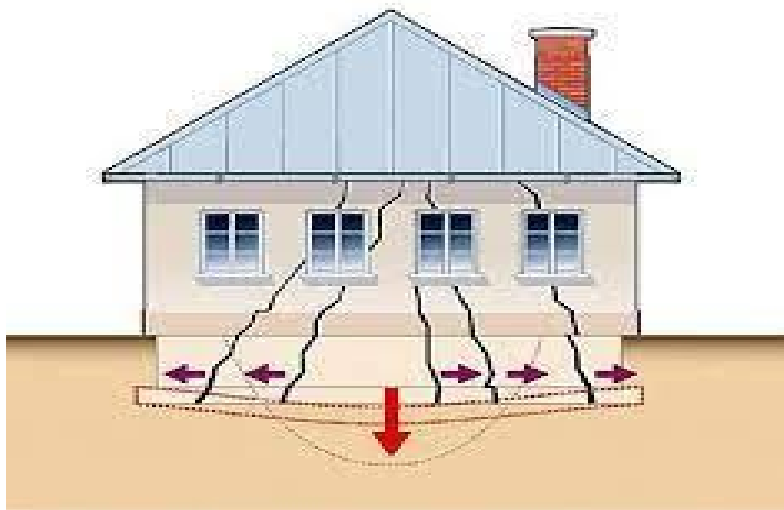
Об'єкт дослідження – ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю, що підлягають хімічному закріпленню сучасними матеріалами для поліпшення їх властивостей

Предмет дослідження – фізико-механічні характеристики ґрунтів після закріплення та їх вплив на несучу здатність та жорсткість основ будівель

Для досягнення мети було поставлено **наступні завдання**:

- для виконання досліджень обрати ґрунти з високою/середньою проникністю та з низькою проникністю;
- описати добавки ТМ МАРЕІ для підсилення ґрунтів та навести склад п'яти серій зразків для випробувань;
- виготовити 5 (п'ять) серій зразків ґрунтів, у відповідності з завданням досліджень;
- визначити фізико-механічні характеристики ґрунтів після підсилення матеріалами у лабораторних умовах;
- провести чисельні розрахунки з отриманими параметрами при реконструкції будівлі.

Просідання фундаментів та руйнування будівель



Основні причини підсилення фундаментів будівель і споруд та штучного покращення властивостей ґрунтів основ

- 1. Розвиток інфраструктури міст**, пов'язаний з висотним будівництвом, підземним будівництвом переходів, станцій метро, паркінгів, прокладки інженерних комунікацій і т.д. – призводить до зовнішніх силових динамічних впливів та суттєвій зміні рівня підземних вод
- 2. Реконструкція будівель та споруд**, пов'язана зі збільшенням навантаження на фундаменти
- 3. Руйнування матеріалу фундаменту**, пов'язано з помилками при проектуванні та будівництві об'єктів
- 4. Неякісно виконані інженерно-геологічні вишукування**
- 5. Порушення технології виконання земляних робіт**, пов'язане з заморожуванням та замочуванням котлованів
- 6. Порушення в експлуатації будівель та споруд**, пов'язані з перевантаженням конструкцій, порушенням температурно-вологісного режиму
- 7. Природні впливи**, пов'язані з механічною та хімічною суфозією, карстовими утвореннями, зволоженням просадних ґрунтів

Фізичні

термічне закріплення

- а) гарячим повітрям
- б) паливом, що спалюється

заморожування

відтавання

- а) природне
- б) штучне

електроосмос

замочування

зниження рівня

ґрунтових вод

- а) легкими голкофільтрами
- б) ежекторними голкофільтрами
- в) вакуумний метод
- г) глибинне

Механічні

ущільнення

- а) привантаження
- б) вібрування
- в) трамбування
- г) вибухи

використання волокнистих матеріалів

- а) сімейство геосінтетиків
- б) випадково розподілені волокна

закріплення набивними палями

- а) буронабивні
- б) вібротрамбовані
- в) бурозагвинчувані
- г) піщані

Хімічні

силікатизація

- а) однорозчина
- б) дворозчина
- в) газова

використання ензимів

смолізація

цементация

- а) віброін'єкційна цементация
- б) струменева цементация
- в) метод вологого змішування
- г) бурозмішувальний метод

закріплення ґрунту по площині

- а) змішування з природними гранулами
- б) змішування з мінеральними в'язучими
- в) змішування з органічними в'язучими

бітумізація

- а) гаряча
- б) холодна

Склад дослідних композицій з використанням сучасних матеріалів ТМ МАРЕІ

№	Назва композиції	Опис добавки	Склад композиції
1	Expanjet Ground	Однокомпонентна цементуюча суміш на основі спеціальних гідравлічних в'язучих з високим вмістом дрібного заповнювача, що володіє властивістю розширення більш ніж на 70% по відношенню до обсягу закачування	Expanjet – 1 кг Пісок – 0.01 м ³ Вода – 0.00055 м ³
2	Expanfluid Ground	Порошкова добавка з властивістю розширення, яка додається в цемент для приготування безусадочних і пластичних суспензій для ін'єктування	Expanfluid – 43 гр. Пісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1.43 кг Вода – 0.00051 м ³
3	Dynamon Easy Ground	Модифікований суперпластифікатор на основі акрилу для готового бетону, сумішей або ґрунту	Dynamon Easy 11 – 10 гр. Пісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1 кг Вода – 0.0008 м ³
4	Microcem Ground	Мікротонке гідравлічне в'язуче (з розміром часток до 25 мкм) з пуцолановою дією для ущільнення і гідроізоляції ґрунту при закачуванні цементних сумішей.	Microcem 8000 – 0.75 кг Супісок – 0.01 м ³ Вода – 0.00075 м ³ Dynamon Easy 11 – 7.5 гр.
5	Viscofluid Jet Ground	Модифікатор в'язкості цементних ін'єкційних составів у вигляді рідкого натурального целюлозного полімеру	Viscofluid Jet 5000 – 10гр. Супісок – 0.01 м ³ ПЦ I-500 – 1 кг Вода – 0.0008 м ³

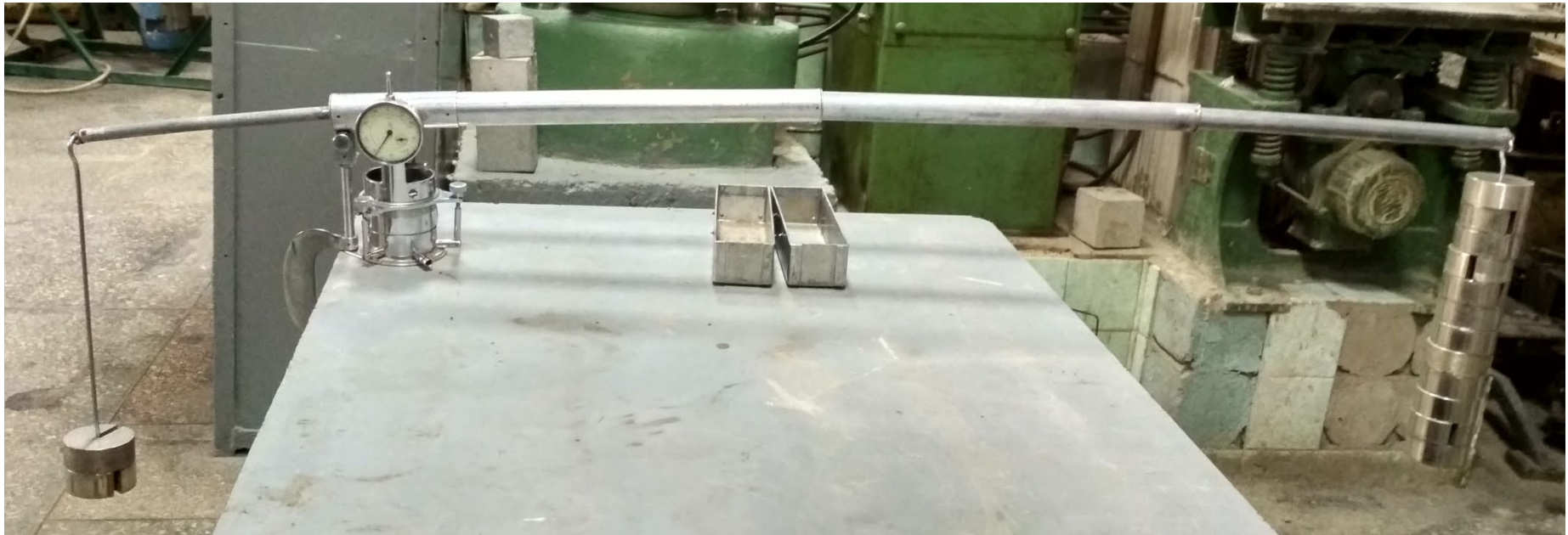
Виготовлення п'яти серій композицій закріплених ґрунтів
по 10 зразків у кожній



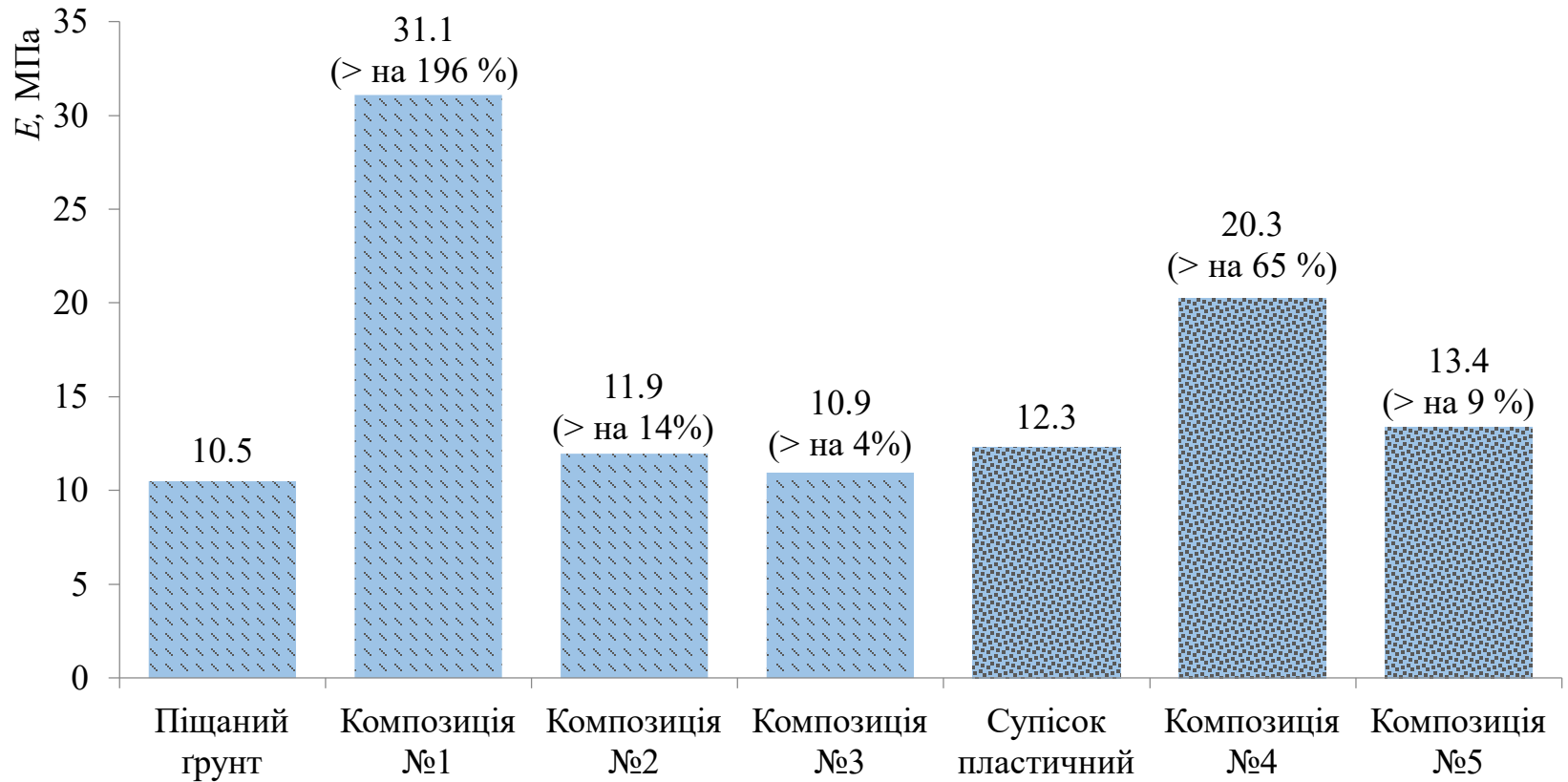
Випробування зразків методом одноплощинного зрізу в
зрізних приладах з фіксованою площиною зрізу



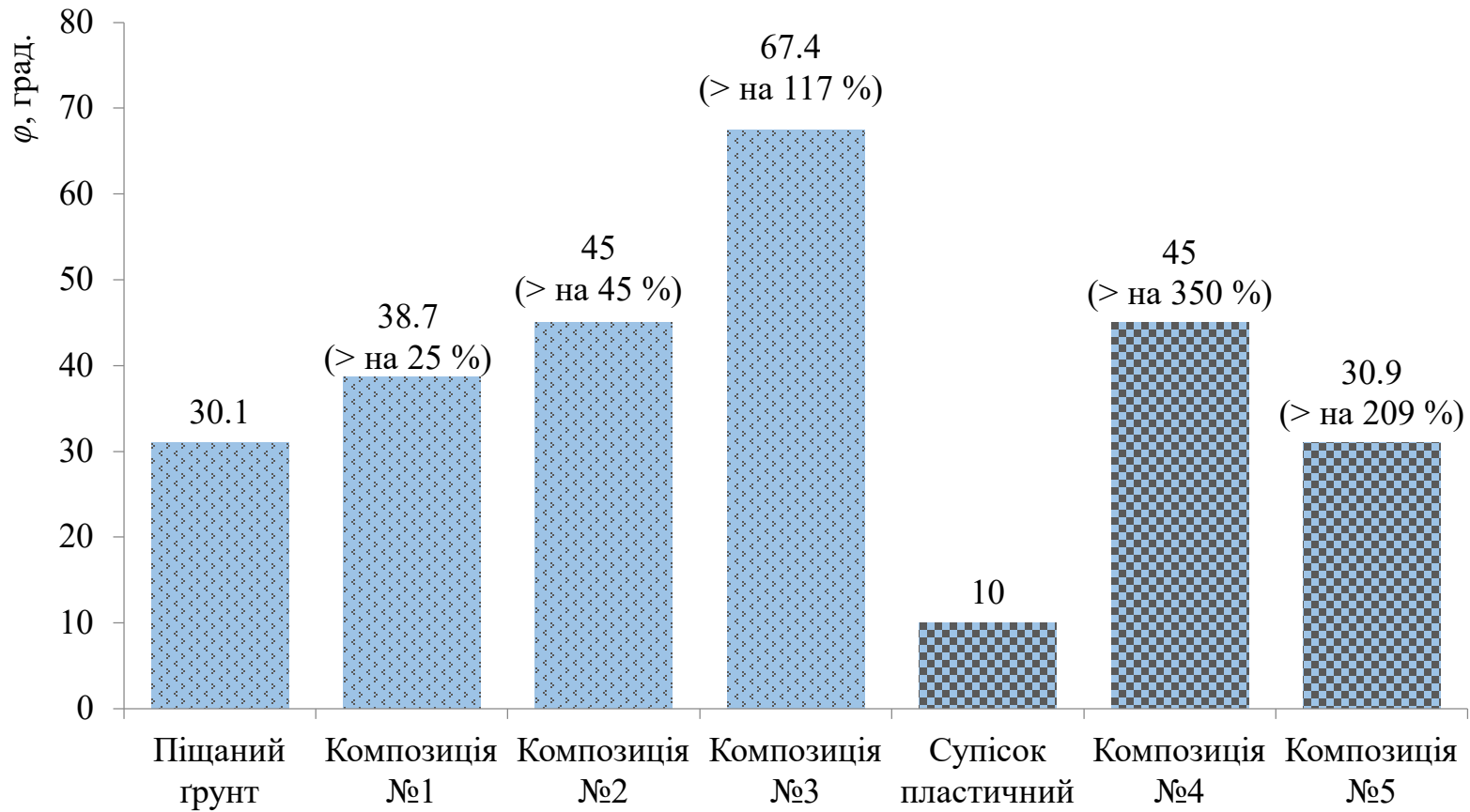
Випробування зразків методом компресійного стиску в компресійних приладах (одометрах)



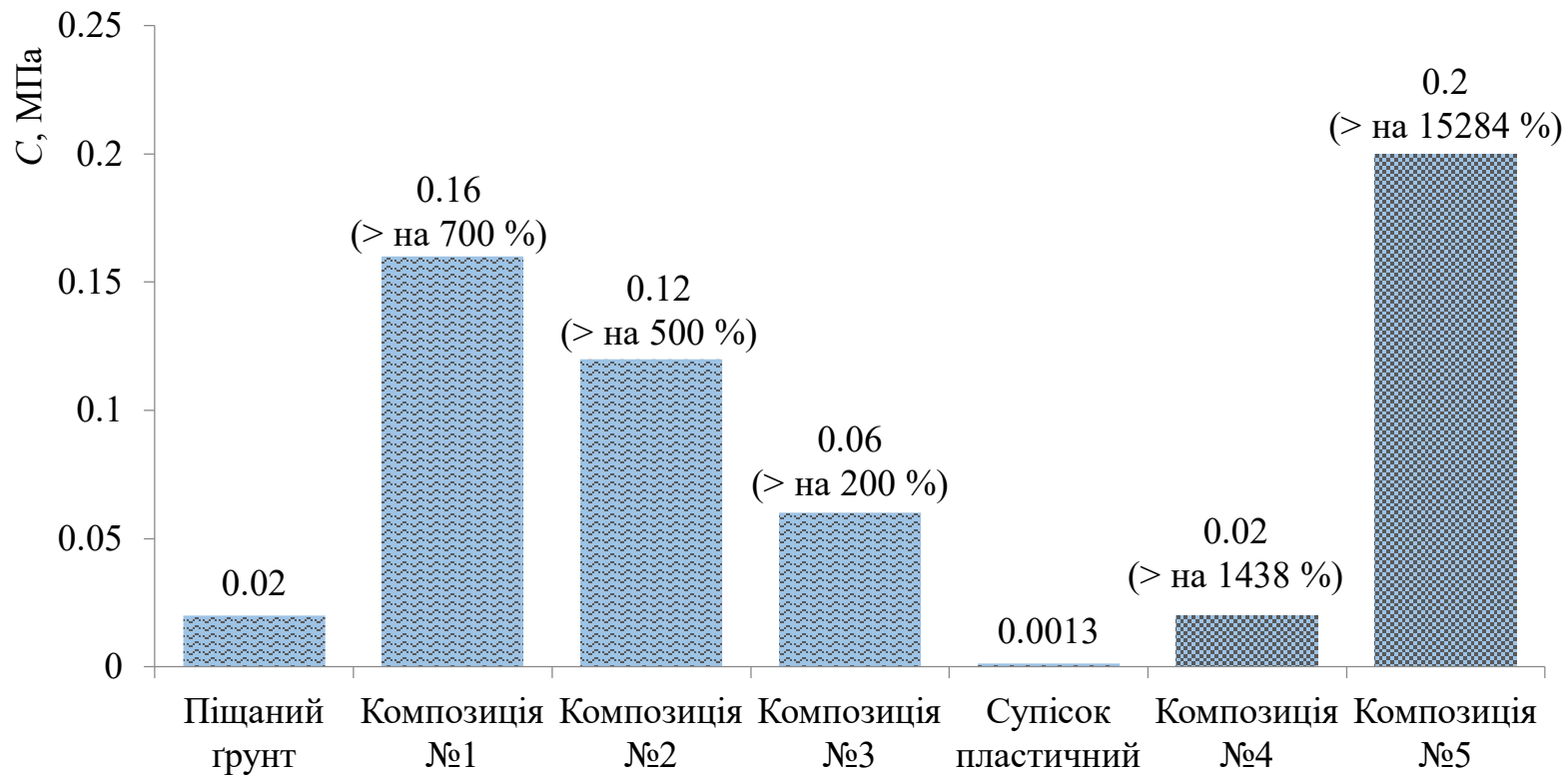
Результати визначення модуля деформації у експериментальних серіях ґрунту

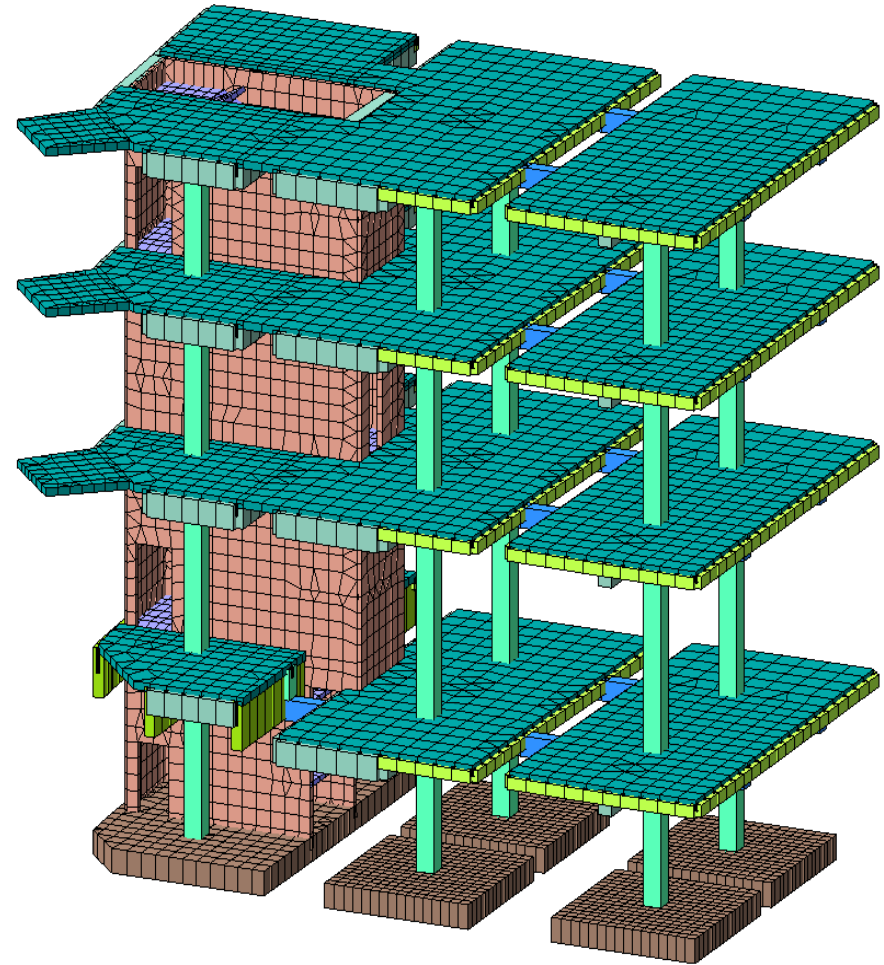
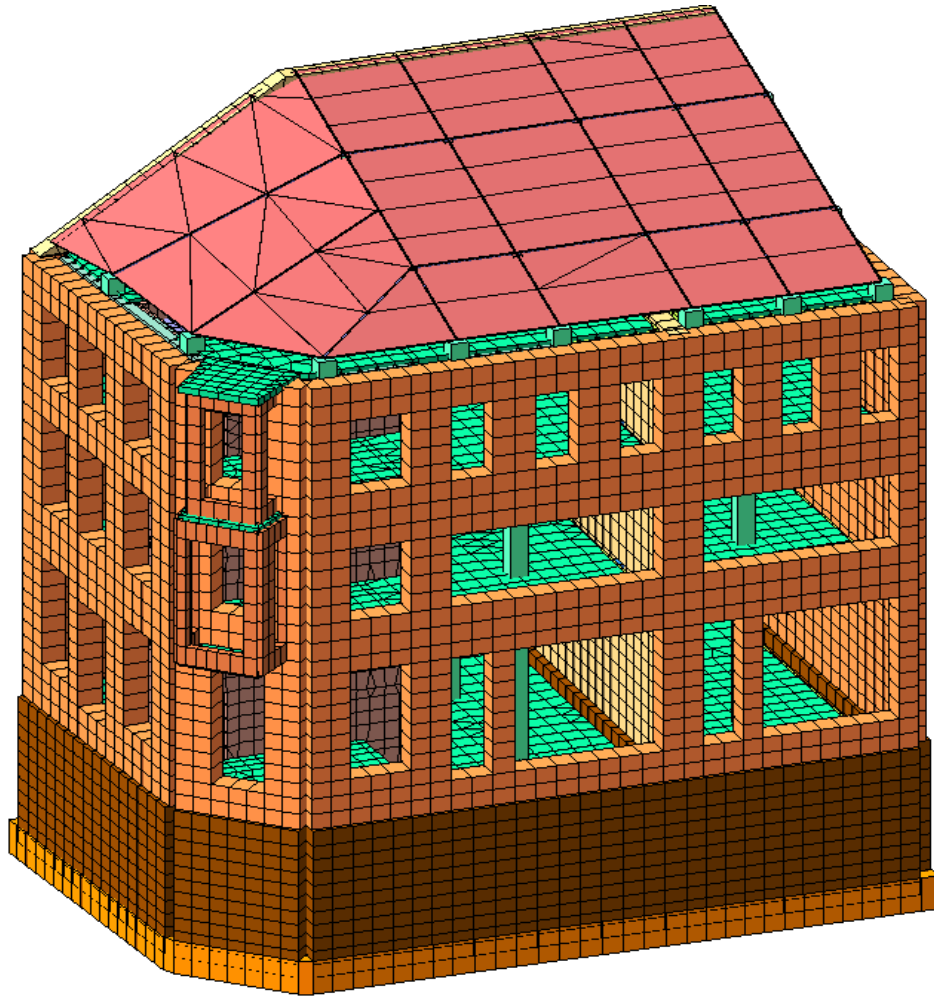


Значення кута внутрішнього тертя у експериментальних серіях ґрунту



Значення питомого зчеплення у експериментальних серіях ґрунту





Модель ґрунту на плані з позначенням номерів шурфів

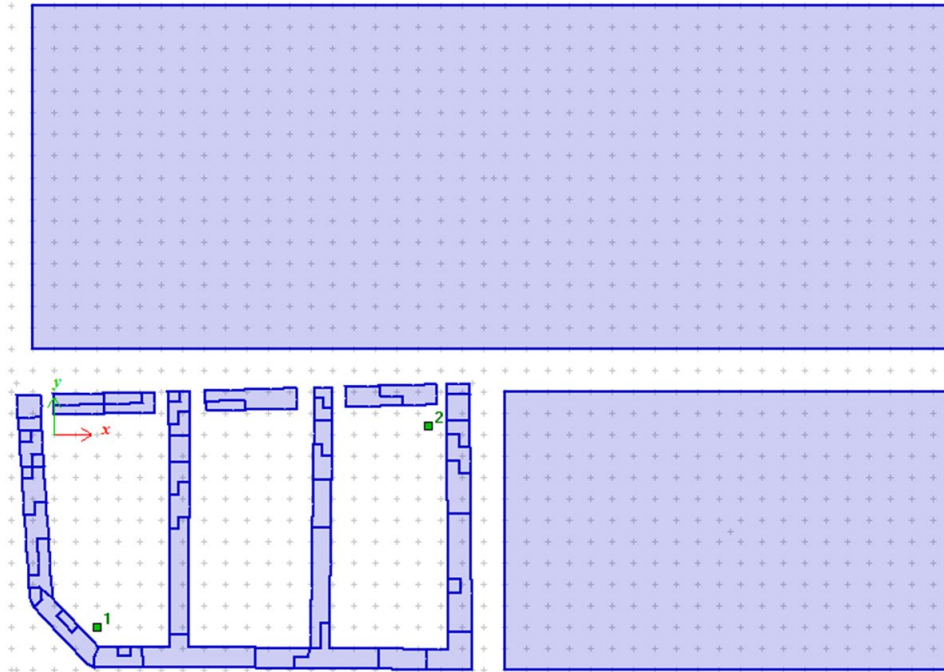
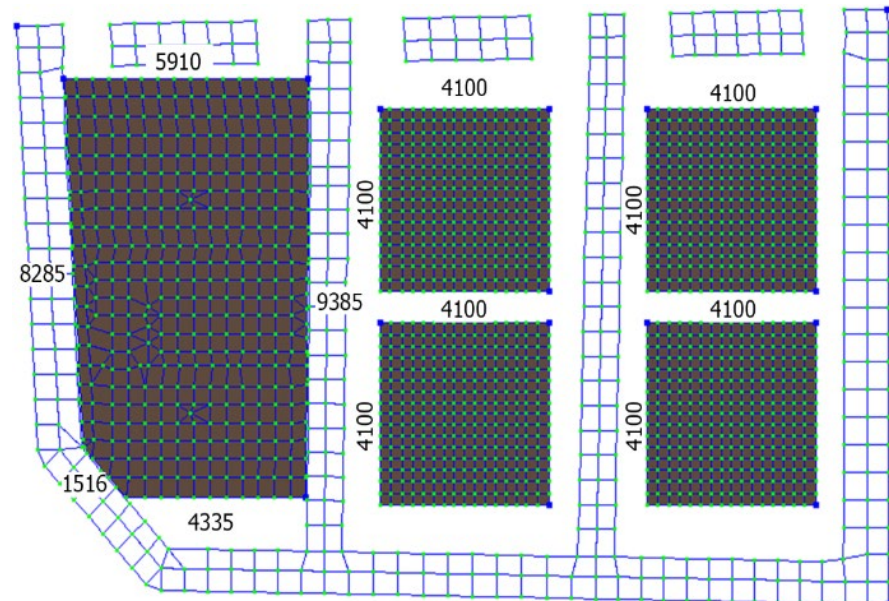
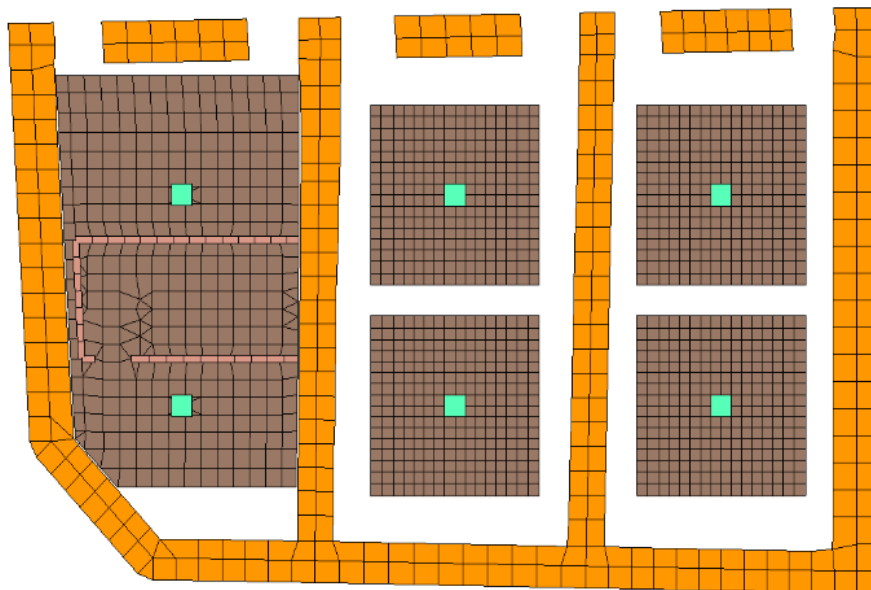


Схема для розрахунку несучої здатності основи



Характеристики шурфів

№	Найменування	Абсолютна відмітка підосви шурфу №		Потужність шару ґрунту шурфу №		Глибина залягання шару ґрунту шурфу №	
		1	2	1	2	1	2
1	суглинок просадочний	96.30	96.30	3.70	3.70	3.70	3.70
2	суглинок	93.80	94.44	2.50	2.30	6.20	6.0
3	пісок середньої щільності	92.20	92.40	1.60	1.60	7.80	7.6

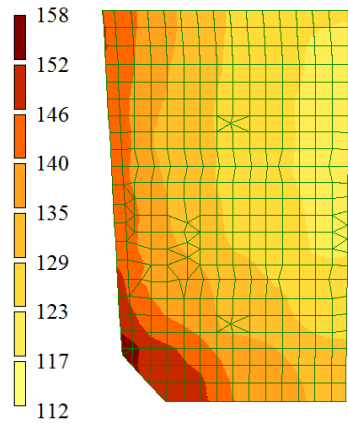
Характеристики ґрунтів

номер ПЕ	Найменування	Модуль деформації, т/м ²	Коефіцієнт Пуассона	Питома вага, т/м ³	Природна вологість, частки	Показник плинності	Коефіцієнт пористості	Питоме зчеплення, т/м ²	Кут внутрішнього тертя, °
1	суглинок просадочний	500	0.35	1.77	0.16	0.1	0.74	3.1	17
2	суглинок	1100	0.35	1.83	0.21	0.14	0.76	3.7	14
3	пісок середньої щільності	3630	0.3	1.8	0.09	-	0.57	0.004	32

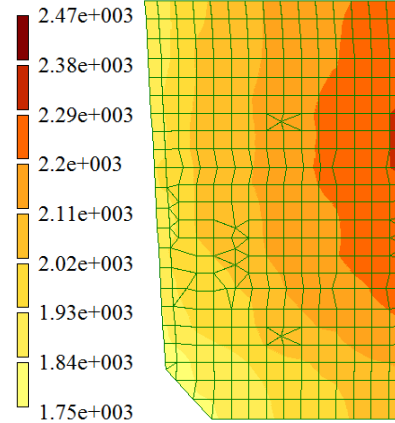
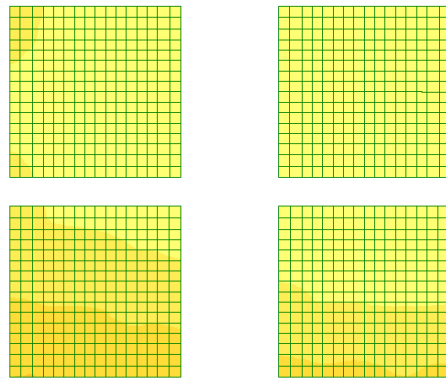
Характеристики ґрунтів для розрахункових випадків

розрахунковий випадок	Найменування	Модуль деформації, т/м ²	Питоме зчеплення, т/м ²	Кут внутрішнього тертя, °	Розрахунковий опір, т/м ²
1	Суглинок просадочний в заданому стані	500	3.1	17	12.2
2	Закріплений ґрунт. Композиція 1. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; вода - 0.55 л; Ехпанjet - 1 кг.	1485	24.8	21.2	246.6
3	Закріплений ґрунт. Композиція 2. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; цемент (ПЦ I-500)-1.43 кг; вода-0.51 л; Ехпанfluid-43 гр.	570	18.6	24.6	231.5
4	Закріплений ґрунт. Композиція 3. Пропорції: ґрунт-0.010 м ³ ; цемент (ПЦI-500)-1 кг; вода-0.8 л; Дупамон Easy 11-10гр.	520	9.3	37.0	266.1
5	Закріплений ґрунт. Композиція 4. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; Місросет 8000 - 0.75 кг; вода-0.75 л; Дупамон Easy 11-7.5 гр.	825	47.6	76.5	1230.4
6	Закріплений ґрунт. Композиція 5. Пропорції: ґрунт - 0.010 м ³ ; цемент (ПЦI-500)-1 кг; вода-0.8 л; Viscosfluid Jet 5000-10гр.	545	476.9	52.7	10083

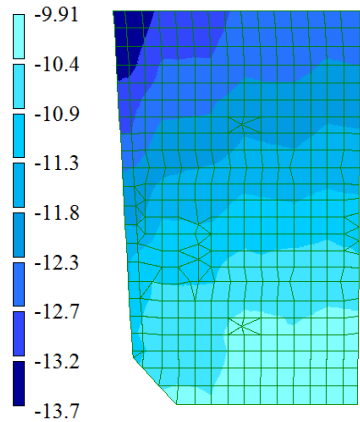
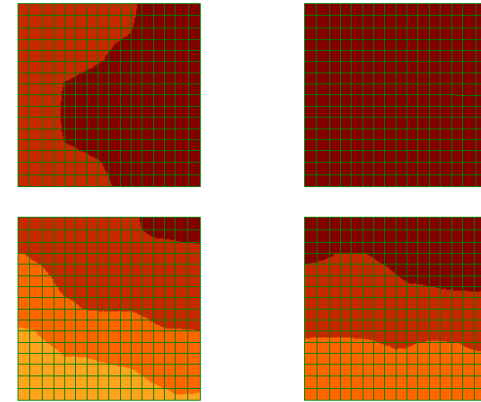
Суглинок просадочний в заданому стані



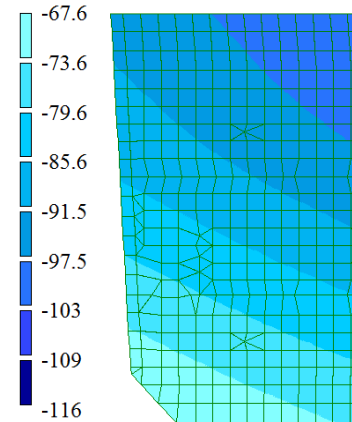
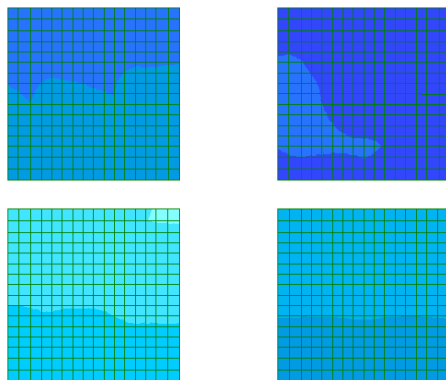
$C1, \text{t/m}^3$



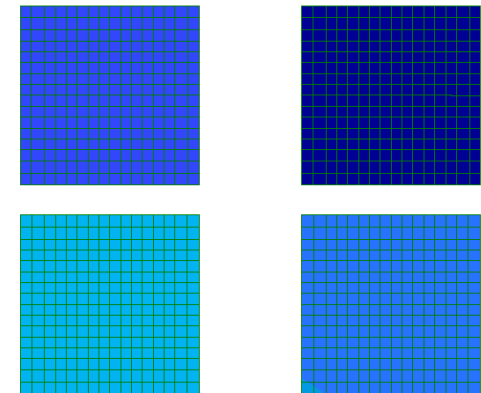
$C2, \text{t/m}$



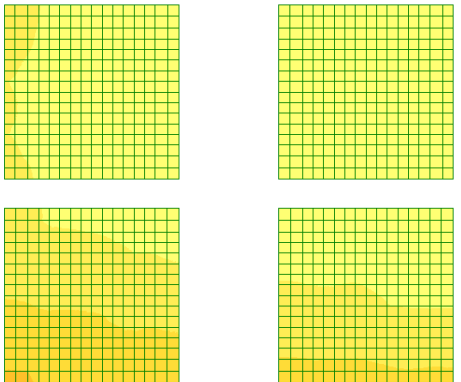
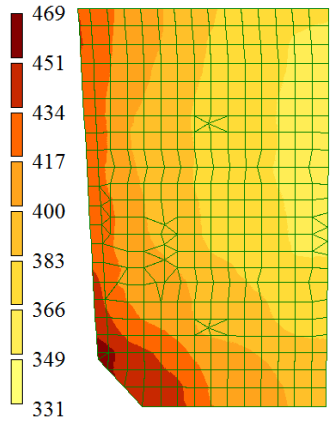
$Pz, \text{t/m}^2$



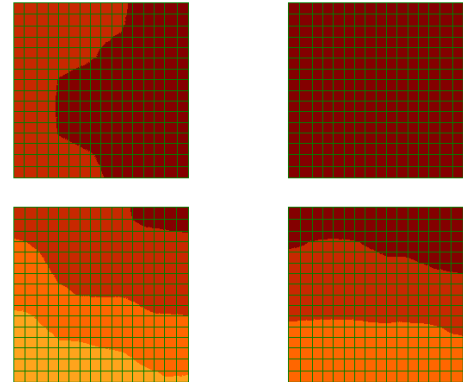
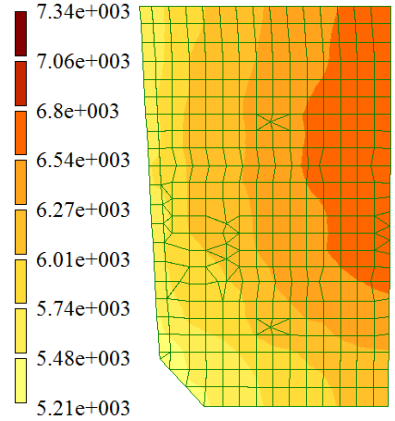
Z, mm



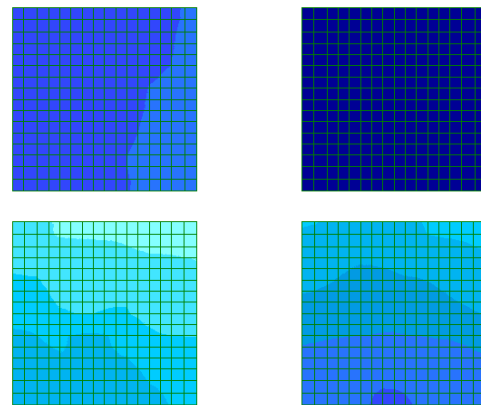
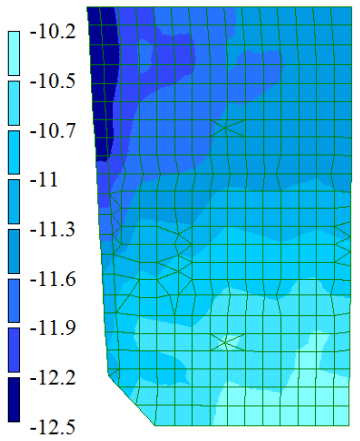
Закріплений ґрунт. Композиція 1



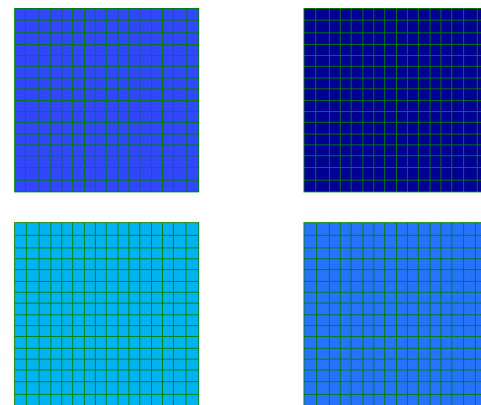
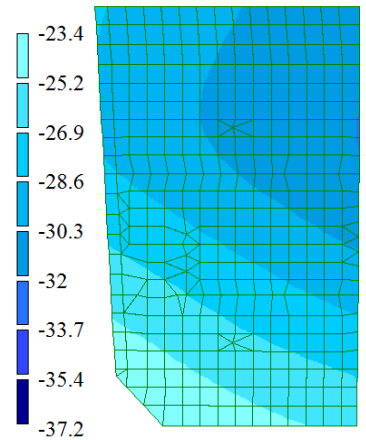
C1, τ/M^3



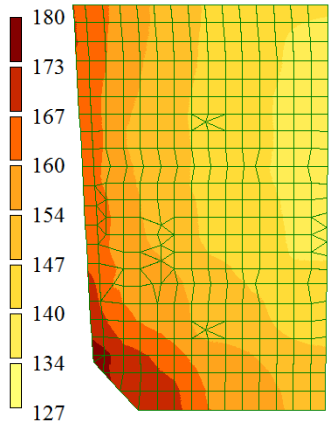
C2, τ/M



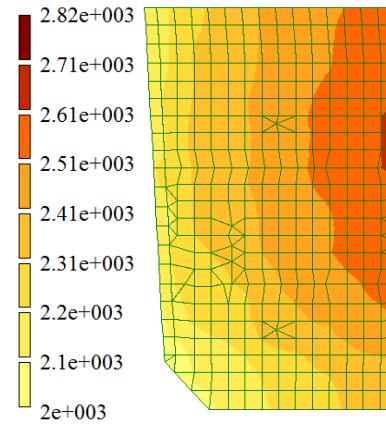
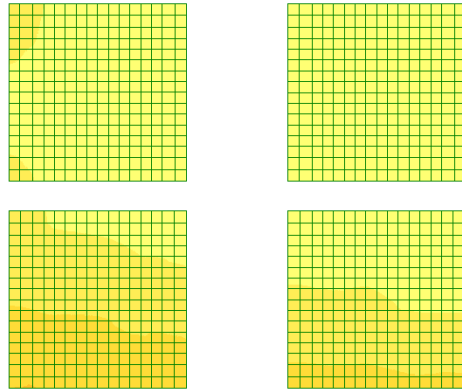
Pz, τ/M^2



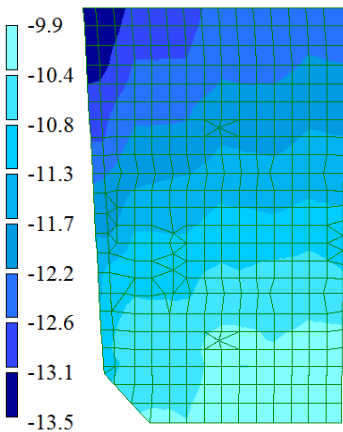
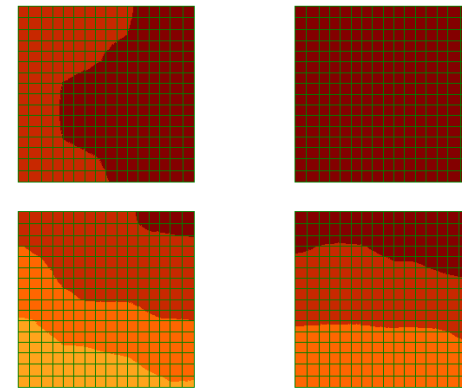
Z, MM



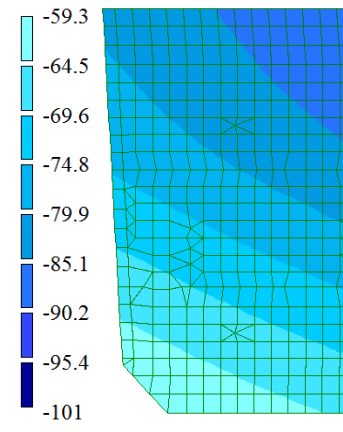
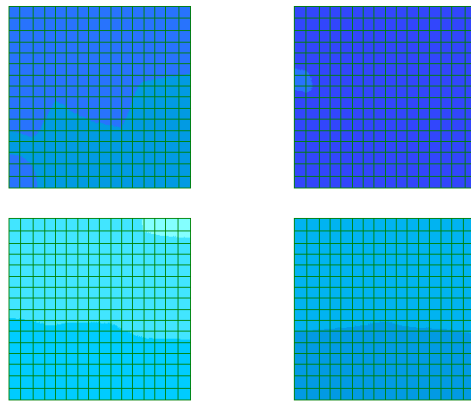
$C1, \text{T/M}^3$



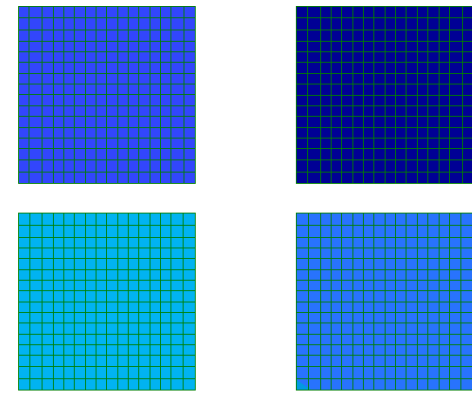
$C2, \text{T/M}$

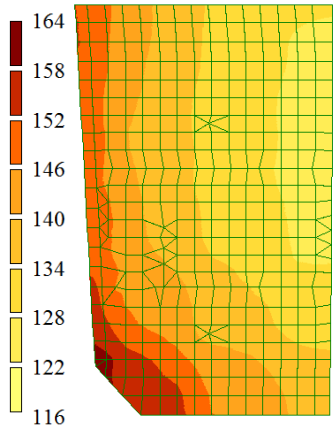


$Pz, \text{T/M}^2$

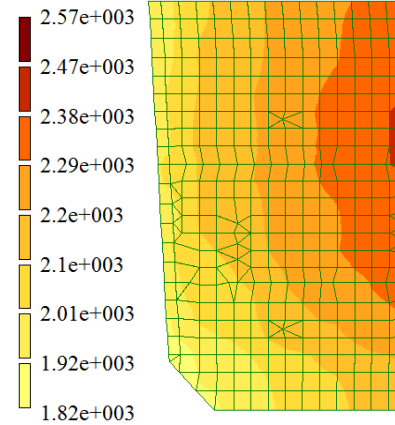
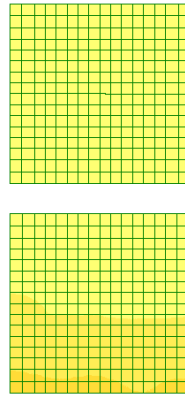
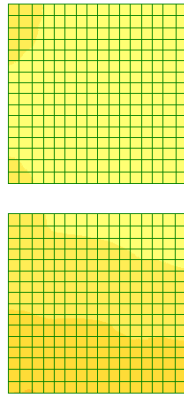


Z, MM

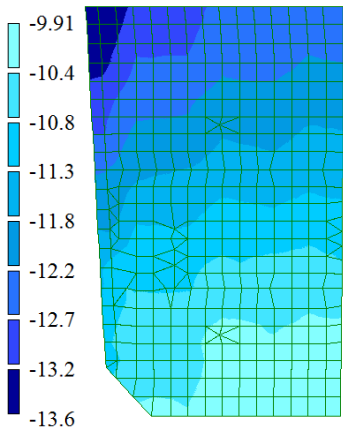
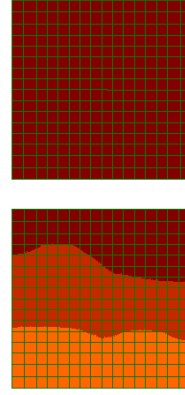
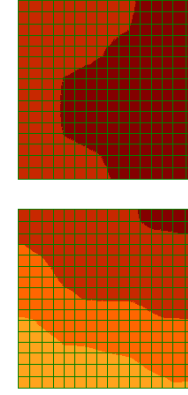




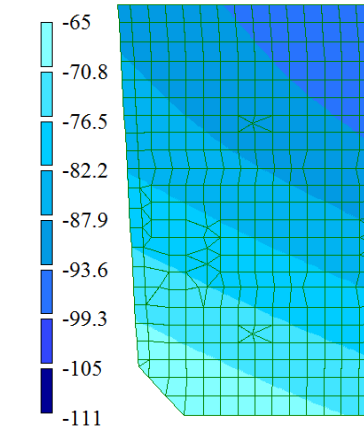
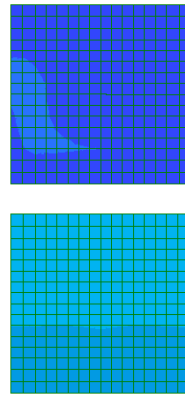
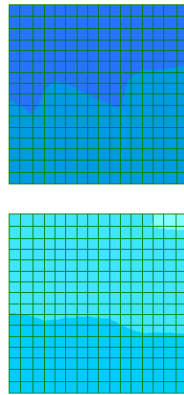
$C1, \text{T/M}^3$



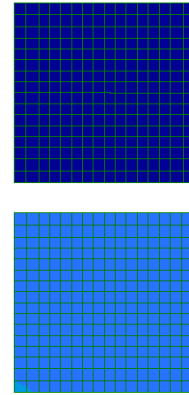
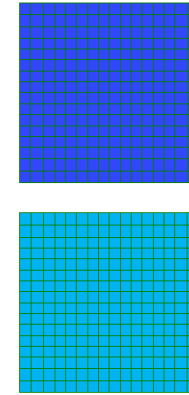
$C2, \text{T/M}$

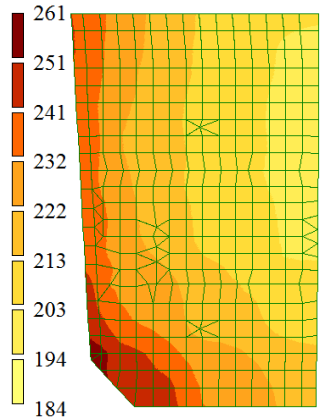


$Pz, \text{T/M}^2$

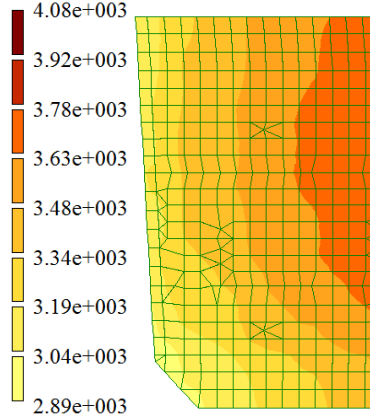
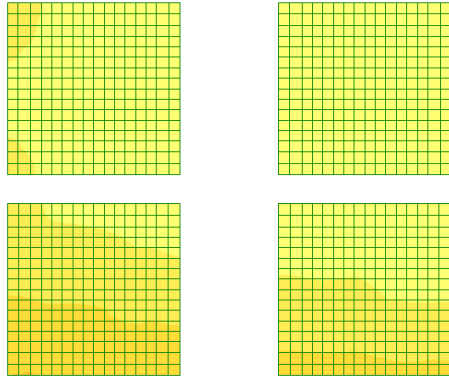


Z, MM

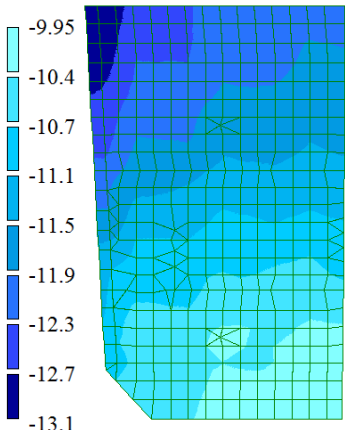
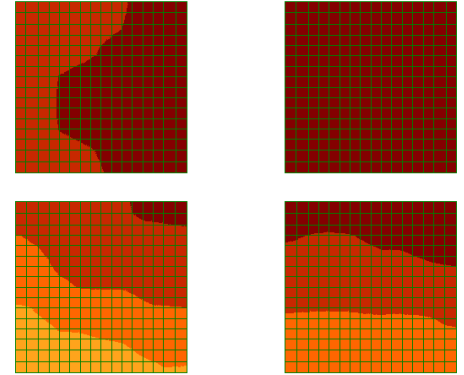




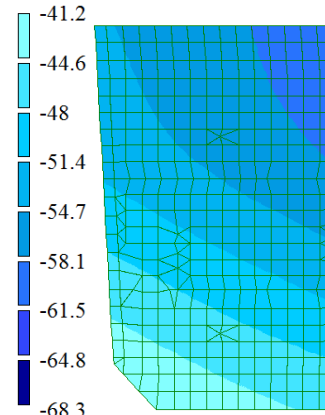
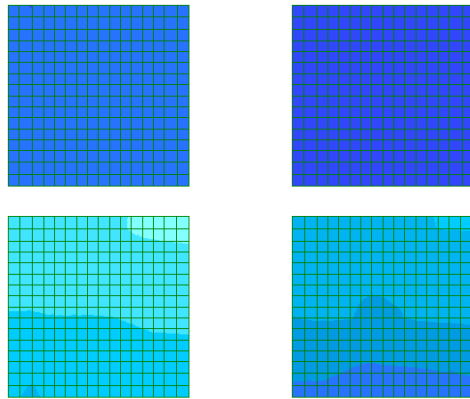
$C1, \tau/M^3$



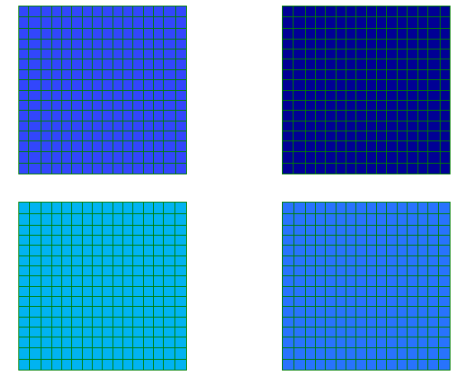
$C2, \tau/M$

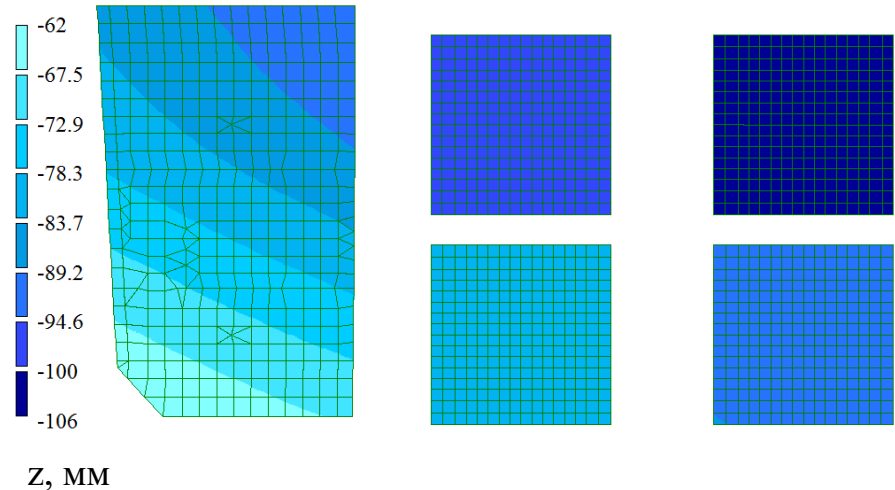
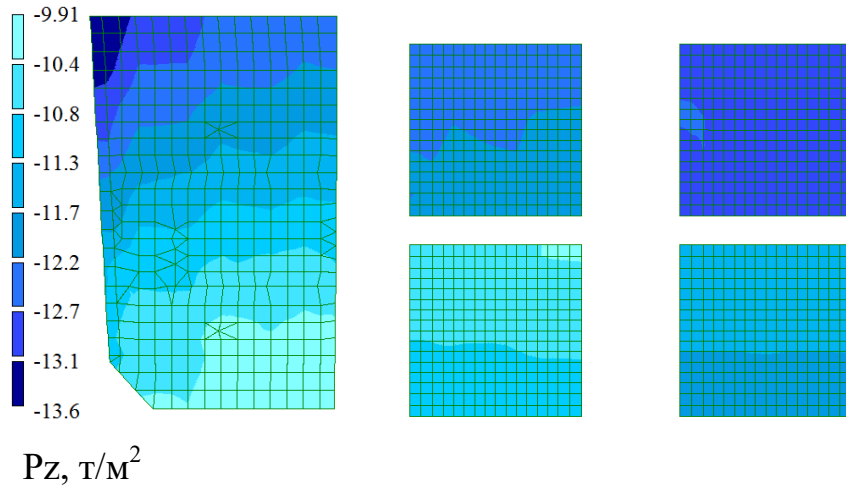
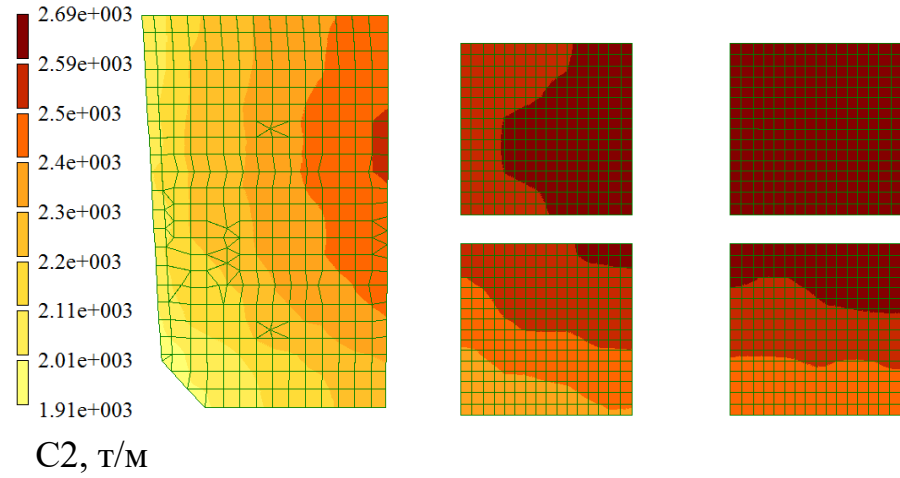
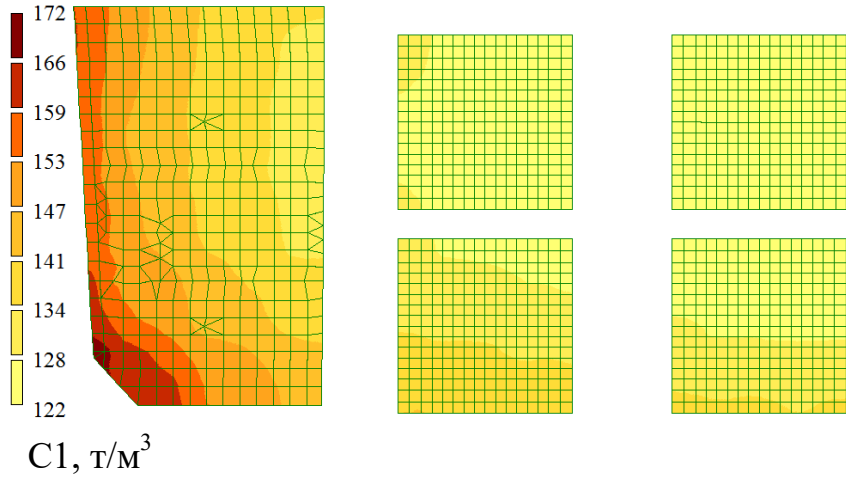


$Pz, \tau/M^2$



Z, MM





Розрахунковий випадок	Найменування	Тиск на ґрунт	Коефіцієнти постелі		Осадка	Запас несучої здатності основи
			C1	C2		
		т/м ²	т/м ³	т/м	мм	
1	Незакріплений ґрунт в основі	13.7	112-158	1750-2470	116	0.89
2	Закріплений ґрунт. Композиція 1.	12.5	331-469	5210-7340	37.2	19.6
3	Закріплений ґрунт. Композиція 2.	13.5	127-180	2000-2820	101	17.1
4	Закріплений ґрунт. Композиція 3.	13.6	116-164	1820-2570	111	19.5
5	Закріплений ґрунт. Композиція 4.	13.1	184-261	2890-4080	68.3	93.8
6	Закріплений ґрунт. Композиція 5.	13.6	122-172	1910-2690	106	740

1. У даній роботі розглянуті результати експериментально-теоретичних досліджень ефективності застосування готових складів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення ґрунтів основ будівель при реконструкції. Об'єктами дослідження були прийняті ґрунти з високою, середньою та низькою проникністю. Проведення оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів природного стану та після зміцнення проводилось в лабораторних умовах. Проаналізувавши результати визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів після закріплення матеріалами ТМ МАРЕІ можна зробити висновок, що вони значно покращують властивості ґрунтів

2. Використання матеріалів ТМ МАРЕІ для хімічного закріплення просадочних ґрунтів при новому будівництві та при реконструкції дозволяє збільшити жорсткість основи в 3 рази і більше, несучу здатність в 10 разів і більше відповідно до прийнятих композицій

3. Необхідно продовжувати дослідження з метою отримання залежностей фізико-механічних характеристик ґрунтів від дозувальних пропорцій компонентів для отримання раціональних складів, що забезпечать достатній рівень закріплення при мінімальних фінансових витратах