

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Абед Самар Фаріс

УДК 624.15 : 624.138.23

ГЛИНОЦЕМЕНТНЕ ЗАКРІПЛЕННЯ СЛАБКИХ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ  
НЕГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ

05.23.02 – основи і фундаменти

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
Корнієнко Микола Васильович,  
Київський національний університет будівництва і  
архітектури, професор кафедри основ і фундаментів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Винников Юрій Леонідович,  
Полтавський національний технічний університет  
ім. Ю.Кондратюка,  
професор кафедри видобування нафти і газу та геотехніки

доктор технічних наук, професор  
Моргун Алла Серафимівна,  
Вінницький національний технічний університет,  
професор кафедри промислового та цивільного будівництва

Захист відбудеться 27 вересня 2017 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.05 Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037 м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31 та на сайті knuba.edu.ua.

Автореферат розісланий                      серпня 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

М.В. Суханевич

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Слабкі ґрунти, до яких відносять сильностисливі, лесові, що просідають, піщані пухкі і слабоущільнені ґрунти широко розповсюджені як на території України, так і в інших країнах світу, включаючи територію Республіки Ірак. З урахуванням впливу складних інженерно-геологічних умов обсяг територій, які вимагають інженерної підготовки, в Україні сягає 80...85%. На території Республіки Ірак серед слабких ґрунтів, насамперед можна зустріти пилуваті і піщані часто водонасичені ґрунти, поширені в межах річкових долин Тигру і Євфрату.

Під додатковим навантаженням при замочуванні в таких слабких ґрунтах виникають додаткові нерівномірні вертикальні деформації, часто наростаючі в часі, пов'язані, перш за все, з руйнуванням їх структури. Водонасичення таких ґрунтів в основі, дія вібрації, температури призводить до зміни напружено-деформованого стану в масиві ґрунту і впливає на умови надійної експлуатації будівельних об'єктів. У зв'язку з цим необхідно, в першу чергу, зміцнювати слабку основу, що досягається на практиці різними способами ущільнення або закріплення ґрунтів. Застосування цих способів пов'язане з потужністю, видом ґрунту і його станом в основі, показниками фізико-механічних характеристик ґрунтів з урахуванням їх зміни на перспективу, конструктивними особливостями надземної частини будівель і споруд, геометричними розмірами підземної частини і типами фундаментів, а також величиною статичних і динамічних впливів на основу. Незважаючи на різноманіття способів підготовки основ з метою поліпшення їх будівельних властивостей можна констатувати, що всі вони не можуть розглядатися як універсальні, так як мають свої переваги і недоліки. Тому на практиці весь час відбувається пошук нових способів поліпшення якості ґрунтів або модернізації існуючих. Так, за останнє десятиліття будівельники застосовують нові технології, серед яких необхідно виділити бурозмішувальну і струменеу.

Струменеу технологія дозволяє використовувати цементний розчин для закріплення ґрунтів, нагнітаючи його через ін'єктори під тиском більше 100 атм. При цьому в ґрунтовому масиві утворюються розриви, які заповнюються розчином, що поліпшує характеристики масиву в цілому, але контролювати якість такого закріплення досить складно. Тому застосування цього методу на практиці в слабких ґрунтах, обмежена.

Бурозмішувальна технологія сьогодні набуває поширення, що пов'язано з досить простим способом перемішування ґрунту «in situ» з цементним розчином за допомогою шнека. Закріплення ґрунту може здійснюватися у вигляді вертикальних і похилих елементів. Забезпечення особливих властивостей закріплених масивів може досягатися при введенні добавок. У даній роботі вивчено вплив добавок бентонітової глини і рідкого скла на міцність і деформативність закріпленого масиву. Така технологія додатково дозволяє підняти рівень протифільтраційного і екологічного захисту. Такі експериментальні дослідження виконані в лабораторних і польових умовах, а їх результати підтверджені числовим моделюванням роботи закріплених ділянок ґрунтових основ фундаментів. Такий підхід дозволяє

оптимізувати на сучасному рівні процес поліпшення якості основи складеної слабкими ґрунтами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Продиктована практичною потребою будівництва будівель і споруд на слабких основах, і рішенням практичних завдань, що виникають при виконанні госпдоговірних робіт з поліпшення якості основ будівель і споруд на кафедрі основ і фундаментів та науково-дослідних лабораторіях КНУБА. Виконані дослідження пов'язані з держбюджетними науково-дослідними роботами МОН України:

– 4ДБ-2014 «Наукове обґрунтування застосування енергоефективних еко-систем інженерного захисту територій морського узбережжя» (номер державної реєстрації 0114U002580);

– 7ДБ-2015 «Розробка методів розрахунку конструктивних інженерних заходів для зменшення взаємного впливу сусідніх будівель в сейсмічних районах» (номер державної реєстрації 0115U000334).

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у вивченні впливу добавок бентонітової глини і рідкого скла на міцність, деформативність і інші властивості ґрунтоцементного закріплення слабкої основи для підтвердження високого рівня надійності закріпленого масиву. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

– дати загальну характеристику слабких ґрунтів і методів поліпшення їх будівельних властивостей;

– розробити співвідношення компонентів цементного розчину з добавками бентонітової глини і рідкого скла для його використання при закріпленні основи і провести випробування ґрунтоцементних зразків для визначення фізико-механічних характеристик в лабораторних умовах;

– проаналізувати деформований стан ґрунтової основи фундаментів будівель в залежності від кута нахилу пластів для різних типів фундаментів неглибокого закладання в природному стані і при замочуванні;

– вирішити контрольні і тестові задачі для оцінки ефективності закріплення основи ґрунтоцементними вертикальними елементами з використанням комп'ютерних розрахункових комплексів;

– отримати експериментальне підтвердження застосування цементного розчину з добавками бентонітової глини і рідкого скла та розробити рекомендації щодо закріплення ґрунтової основи фундаментів за бурозмішувальною технологією на двох експериментальних майданчиках: «Реконструкція торгового комплексу по вул. Кришталевій, 6 в с. Петропавлівська Борщагівка Києво-Святошинського району Київської області» та «Будівництво житлових будинків по вул. Практичній, 2, 4, 6, 8, (мікрорайон "Жуляни") у Солом'янському районі м. Києва».

*Об'єктом дослідження* є параметри глиноцементно-силікатного розчину і їх співвідношення, напружено-деформований стан слабкої ґрунтової основи при її закріпленні ґрунтоцементними вертикальними елементами.

*Предметом дослідження* є глиноцементно-силікатні розчини для закріплення

основи фундаменту за бурозмішувальною технологією.

**Методи дослідження** включали: аналіз існуючих методів закріплення ґрунтової основи фундаментів; експериментальний пошук складу ґрунтоцементної суміші з добавками бентонітової глини і рідкого скла для забезпечення достатності рівня закріплення при використанні бурозмішувальної технології; визначення характеристик міцності і деформативних характеристик зразків закріпленого ґрунту в лабораторних та польових умовах; проведення контрольно-тестових розрахунків з використанням числового моделювання для підтвердження ефективності запропонованої методики закріплення.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- запропоновано аналітичний комплексний підхід до початкової оцінки необхідності закріплення слабких основ фундаментів неглибокого закладання в залежності від якості ґрунту окремих шарів та кута їх нахилу в природному та водонасиченому стані;
- встановлено закономірності впливу композитного складу ґрунтоцементних сумішей з добавками бентонітової глини і рідкого скла на їх фізико-механічні властивості (міцність, модуль деформації);
- запропоновано, з використанням методів числового моделювання, метод оптимізації напружено-деформованого стану слабкої основи, закріпленої вертикальними елементами з урахування конструкції фундаментів неглибокого закладання, розташування самих елементів в основі та можливої зміни якості основи в часі.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- розроблено рекомендації щодо практичного закріплення основ ґрунтоцементними вертикальними елементами з використанням бурозмішувальної технології в складних інженерно-геологічних умовах;
- виконано впровадження запропонованої методики закріплення основи на експериментальних майданчиках і встановлено, що закріплення основи фундаменту за бурозмішувальною технологією дозволяє отримувати економічну ефективність до 20% при влаштуванні фундаментних конструкцій.

**Особистий внесок здобувача** в опублікованих наукових працях написаних у співавторстві:

- дослідження інженерно-геологічних властивостей слабких ґрунтів [11];
- дослідження ґрунтів в складних інженерно-геологічних умовах, а також шляхів підвищення стійкості підстав, складених структурно-нестійкими ґрунтами [3, 6];
- розроблено та впроваджено склад ґрунтоцементних сумішей з добавками бентонітової глини і рідкого скла, визначені фізико-механічні характеристики в лабораторних умовах для піщаних ґрунтів [4];
- дослідження деформації основи фундаменту, підсиленого ґрунтоцементними вертикальними елементами [2];
- розроблено метод оптимізації закріплення слабкої основи з урахуванням конструкції фундаментів неглибокого закладання і розташування елементів

закріплення в основі за результатами числового моделювання з використанням різних розрахункових комплексів (АСНД «VESNA», ПК «ЛІРА») [1, 5, 7].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати проведеної роботи представлені та обговорені на: 1st International conference Challenges in geotechnical engineering CGE-2015 Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev, 2015.; Першій Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «БУД-МАЙСТЕР-КЛАС-2015» Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, 2015 р.; 2-ому Міжнародному науково-практичному форумі «Технології та процеси в гірничій справі і будівництві», Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, 2014 р.; 8-ій Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій», Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ, 2014 р.; Науковому семінарі в Полтавському національному технічному університеті ім. Ю.Кондратюка, м. Полтава, 2014 р.

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані у 12 друкованих роботах, в тому числі 6 – в наукових фахових виданнях України, з яких 3 роботи – у виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз, 5 додаткових публікації, 1 – в матеріалах конференції.

**Структура і обсяг дисертації:** Дисертаційна робота викладена на 111 сторінках друкованого тексту основної частини, яка складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Повний обсяг дисертації становить 167 сторінок і включає анотацію на 11 сторінках, 66 рисунки (з них 20 рисунків на 20 окремих сторінках), 28 таблиць (з них 6 на 6 окремих сторінках), список використаних джерел із 131 на 14 сторінках та 5 додатків на 5 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, подана наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про публікації та апробацію досліджень.

**В першому розділі** наведено загальну характеристику і властивості слабких ґрунтів, схеми їх класифікації. Високий ступінь неоднорідності відкладів слабких ґрунтів, низькі показники їх міцності, стисливості, невитримана геологічна будова, чутливість до статичних і динамічних впливів, можливість зміни властивостей ґрунтів при осіданні, просіданні, набуханні, вигниванні органіки, суфозії та впливі техногенних і природних інженерно-геологічних процесів, таких, наприклад, як підробка територій, утворення карстів, втрата стійкості прилеглих схилів і укосів, насипів та ін. призводить до значних і нерівномірних деформацій основи навіть для будівель і споруд, що відносяться до класу наслідків (відповідальності) СС1. Серед великої різноманітності ґрунтів, з якими доводиться мати справу будівельникам, особливі труднощі викликають структурно нестійкі слабкі ґрунти, у яких в звичайних умовах при деяких додаткових впливах різко порушується структура, що

зумовлює значне погіршення їх фізико-механічних властивостей, збільшення деформації, зменшення несучої здатності і ін. Все це може призводити не тільки до значних і нерівномірних деформацій основи будівель, але і до прояву впливу на стан несучих і огорожуючих конструкцій, що може спостерігатися як у процесі будівництва, так і на різних етапах експлуатації будівельних об'єктів, наприклад, поява тріщин, прогинів і крену конструкції, що супроводжуються руйнуваннями та здатні вивести об'єкт із стану нормальної експлуатації. Деяка можлива затримка прояву додаткових деформацій слабких основ може бути викликана як пізнім процесом підтоплення території, так і виконанням в безпосередній близькості від фундаментів додаткових будівельних робіт. Додаткові складнощі також часто виникають у випадках, коли або ґрунти основи мають підвищену анізотропією, або відсутні чіткі рекомендації щодо вибору розрахункових схем або технології забезпечення надійності роботи системи «слабка основа – фундамент – надземна частина споруди», які можуть приводити до нерівномірних деформацій слабких основ, їх врахування при проектуванні і будівництві об'єктів.

Вивченням властивостей слабких ґрунтів, зміною їх структури при замочуванні і впливі інших факторів займалися вчені багатьох країн світу: Абелєв М.Ю., Ананьєв В.П., Бойко І.П., Винников Ю.Л., Денисов Н.Я., Дранніков А.М., Іллічов В.А., Зоценко М.Л., Клепіков С.М., Коновалов П.А., Корнієнко М.В., Краєв В.Ф., Крисан В.І., Крутов В.І., Малинін А. Г., Малишев М.В., Моргун А.С., Маскальова В.В., Межеровский В.А., Пятков О.В., Соколов В.М., Соколович В.Е., Тугаєнко В.Ф., Улицький В.М., Цитович Н.А., Шашкін А.Г., Шашкін К.Г., Швець В.Б., Consoli N.C., Forra D., Festugato L., Heineck K.S. та інші.

Природно, що відмінності у виді і стані слабких ґрунтів, прийнятих технологічних прийомах поліпшення їх характеристик з урахуванням місцевих умов будівельних майданчиків, архітектурно-будівельних рішень об'єктів і вимог по їх міцності і деформативності, інженерному та екологічному захисту широко вивчаються, вдосконалюються методи покращення слабких ґрунтів з урахуванням сучасних досягнень. Одним з методів закріплення слабкої основи фундаменту є бурозмішувальна технологія, за якою в процесі буріння свердловини спеціальною буровою установкою відбувається руйнування природного ґрунту і його перемішування з цементним розчином без вилучення ґрунту на поверхню. В результаті затвердіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі. Цей метод в Україні зарекомендував себе не тільки як прогресивний і надійний, але і доступний для широкого застосування за економічними показниками. З іншого боку, область його використання відноситься до всіх слабких ґрунтів. У той же час, цей новий метод вимагає уточнення і вдосконалення для отримання різноманітних варіантів закріплення основи.

**У другому розділі** розглянуто роботу системи «слабка основа – фундамент – надземна частина будівлі». Для додаткової оцінки впливу слабкої основи на стан несучих конструкцій важливо було зрозуміти характер розвитку деформацій слабких ґрунтів. Попередньо було враховано, що до слабких ґрунтів можуть бути віднесені і лесові просідаючі ґрунти.

При цьому було прийнято наступні вихідні положення:

- моделювання системи «слабка основа – фундамент – надземна частина будівлі» виконується методом скінченних елементів;
- деформації основи визначаються в залежності від кута нахилу шарів ґрунту в основі для різних типів фундаментів в природному стані;
- враховується розвиток деформації основи при її замочуванні в таких же умовах.

Рішення поставлених завдань виконувалося на прикладі трьохповерхової будівлі лікарні №7 у м. Луганську. Проектування фундаментів на просідаючих ґрунтах виконувалося з врахуванням рекомендацій по використанню водозахисних і конструктивних заходів. При цьому розглядалися різні типи фундаментів неглибокого закладання, а моделювання виконувалося скінченними елементами в ПК «ЛІРА». Елементи будівлі апроксимувались стрижневими (колони і ригелі) і пластинчастими (перекриття, діафрагми жорсткості, стіни) елементами. Ґрунтова основа апроксимувалась об'ємними елементами. Розглядалися два типи фундаментів (рис.1): (а) плитний; (б) стрічковий залізобетонний під стіни і стовпчасті залізобетонні під колони. Визначалися розрахункові сполучення зусиль для виявлення найбільш несприятливого поєднання навантажень на фундаменти. Розглядалися три варіанти нахилу шарів ґрунтової основи (рис. 2): Горизонтальне залягання шарів (рис. 2а); кут нахилу шарів до горизонту  $4^{\circ}$  поперек будівлі (рис. 2б); кут нахилу шарів до горизонту  $1,5^{\circ}$  уздовж будівлі (рис. 2в).

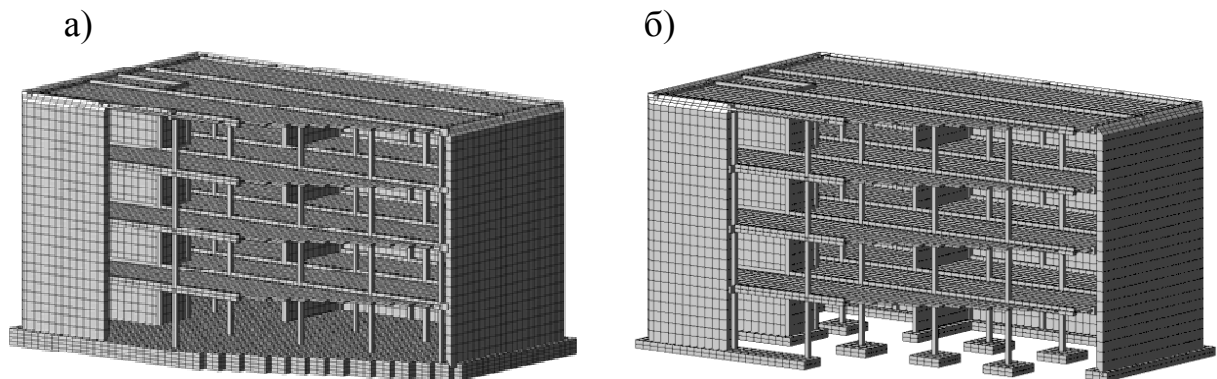


Рисунок 1 – Скінченно-елементна розрахункова схема будівлі з плитним фундаментом (а) і з стрічковими і стовпчастими фундаментами (б)

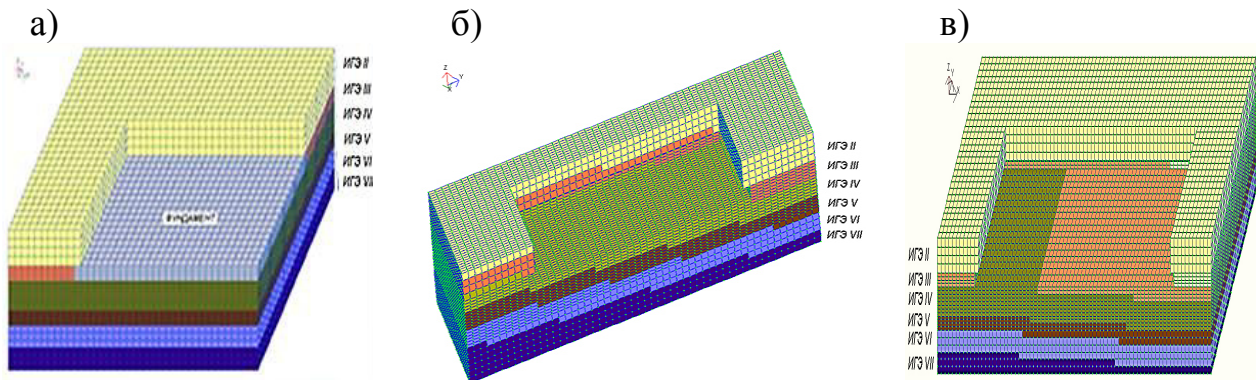


Рисунок 2 – Варіанти ґрунтової основи: горизонтальне залягання шарів (а); нахил шарів  $4^{\circ}$  поперек будівлі (б); нахил шарів  $1,5^{\circ}$  уздовж будівлі (в)



Для заданих умов в роботі розглянута зміна напружено-деформованого стану основи: як приклад, приведемо схему деформування на рис. 3.

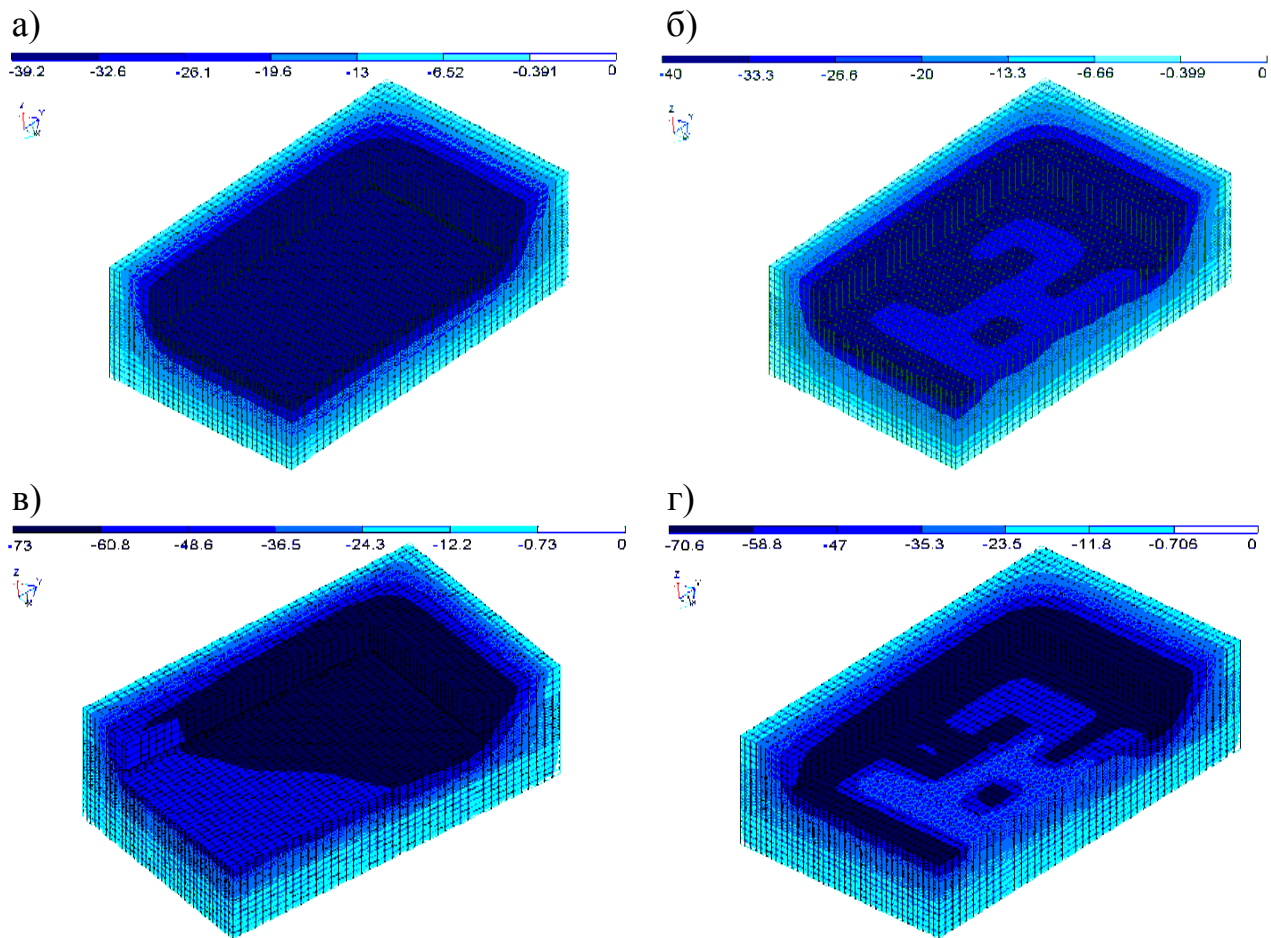


Рисунок 3 – Ізополі сумарних вертикальних переміщень основи для кута нахилу шарів до горизонту  $4^{\circ}$  поперек будівлі, мм: в природному стані для плитного фундаменту (а) та стрічкового і стовпчастого фундаменту (б) у водонасиченому стані для плитного фундаменту (в) та стрічкового і стовпчастого фундаменту (г)

В кожному випадку вертикальні переміщення ґрунтової основи визначались від власної ваги ґрунту та будівлі при найбільш невідгідних поєднаннях навантажень, а також для співставлення в природному і водонасиченому стані.

Підтверджено, що при числовому моделюванні можна врахувати вплив характеру залягання слабких ґрунтів основи. Нахил і неоднорідне залягання шарів слабких ґрунтів призводить до збільшення, як абсолютних деформацій, так і до прояву їх нерівномірності. Аналіз для конкретного прикладу показав, що деформації водонасиченої основи при горизонтальному розташуванні шарів збільшуються на 52% в порівнянні з деформацією ґрунтів у природному стані, при нахилу шарів  $1,5^{\circ}$  – на 80%, а для нахилу шарів  $4^{\circ}$  – на 60%. Отже, можливість прояву нерівномірних деформацій слабкої основи залежить від багатьох факторів.

У третьому розділі приведено методику і результати дослідження міцності ґрунтоцементних зразків з додаванням бентонітової глини і рідкого скла, які

виготовлені в лабораторних умовах. Для експериментів було використано два типи ґрунту, важкий лесовий суглинок і дрібний пісок, середньої щільності. Це було прийнято з метою охопити весь можливий ряд слабких ґрунтів за гранулометричним складом. Також бралось до уваги те, що основними факторами, від яких залежить міцність ґрунтоцементного «каменю» є вміст цементу в композиції «цемент – ґрунт», водоцементного співвідношення в ґрунтоцементній суміші, мінерального складу ґрунту, та властивостей добавок. В експериментальній роботі було прийнято відношення В/Ц рівним 0,7 для піщаного ґрунту і В/Ц = 1,1 для суглинистого ґрунту, які були відповідними за кількістю води для виготовлення розчину. Ці співвідношення забезпечували однорідність суміші. Використовувався портландцемент марки М500 ПЦІ (без добавки). Для приготування зразків приймалося відношення Ц/Г (цемент-ґрунт) 1: 3 як для піску, так і суглинку. Як добавки використовувались бентонітова глина та рідке скло, що було визначено попередньою умовою для зменшення пропускнуої здатності закріпленого ґрунту.

В експериментальній роботі обсяг бентонітової глини було прийнято в кількості 1, 1,5, 2 і 2,5% від ваги цементу. Для прискорення терміну затвердіння застосовували рідке скло (силікат натрію) в кількості 1% від ваги цементу для всіх розчинів. Таким чином, загальна кількість добавок становила 2, 2.5, 3 і 3,5% від маси цементу. Випробування проводилися для 6-ти ґрунтоцементних проб з часом твердіння в 7, 14 і 28 діб (рис.4). Після цього всі зразки випробовувалися на стиск; для визначення характеристик міцності був використаний одновісний прес. Закономірність зміни міцності для зразків терміном витримки в 7 діб, 14 діб і 28 діб в залежності від вмісту добавок у піщаному (рис. 5) і суглинистому ґрунті (рис. 6).

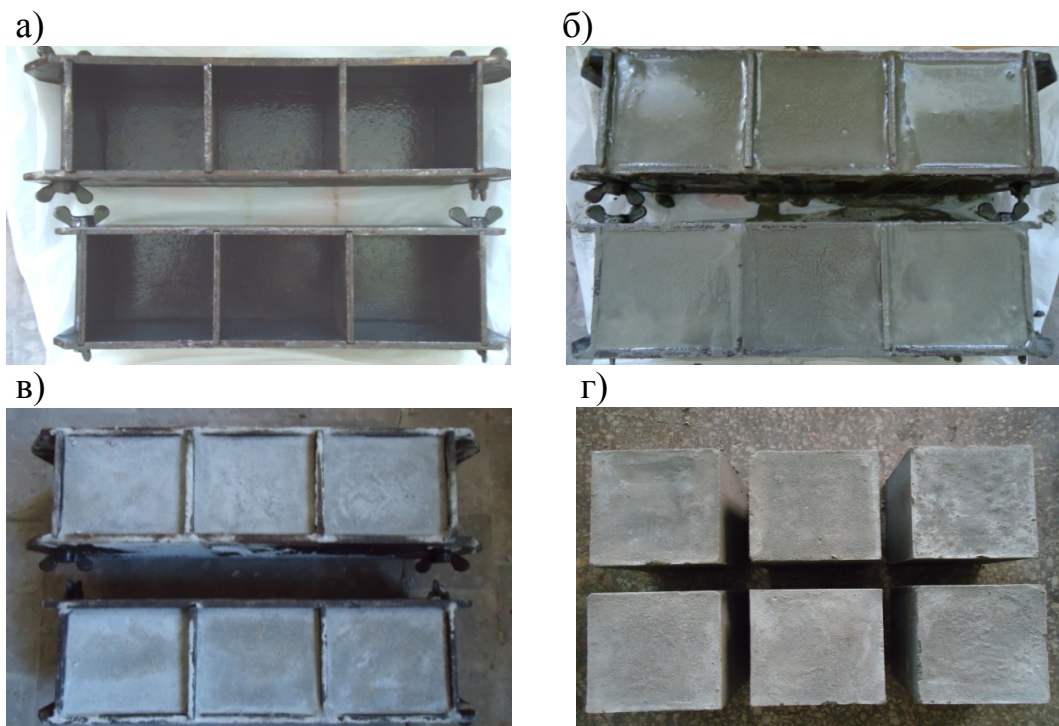


Рисунок 4 – Етапи приготування ґрунтоцементних зразків в лабораторних умовах: форми ЗФК–100 (а); форми після заповнення сумішшю (б); форми після затвердіння суміші (в); зразки після зняття форми (г)

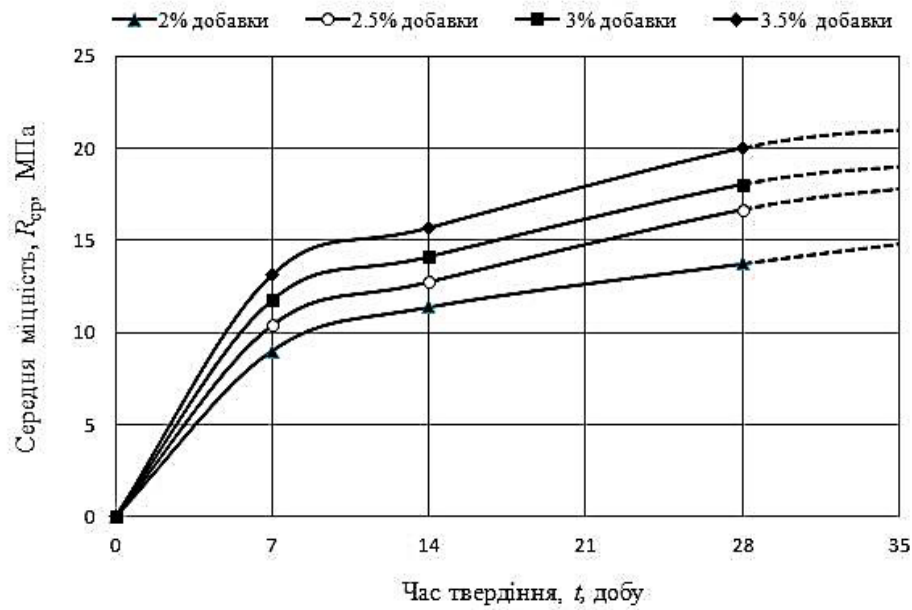


Рисунок 5 – Залежності міцності при стиску  $R_{cp}$  ґрунтоцементних зразків в 7, 14 і 28-ми добовому часі в залежності від вмісту добавки в піщаних ґрунтах

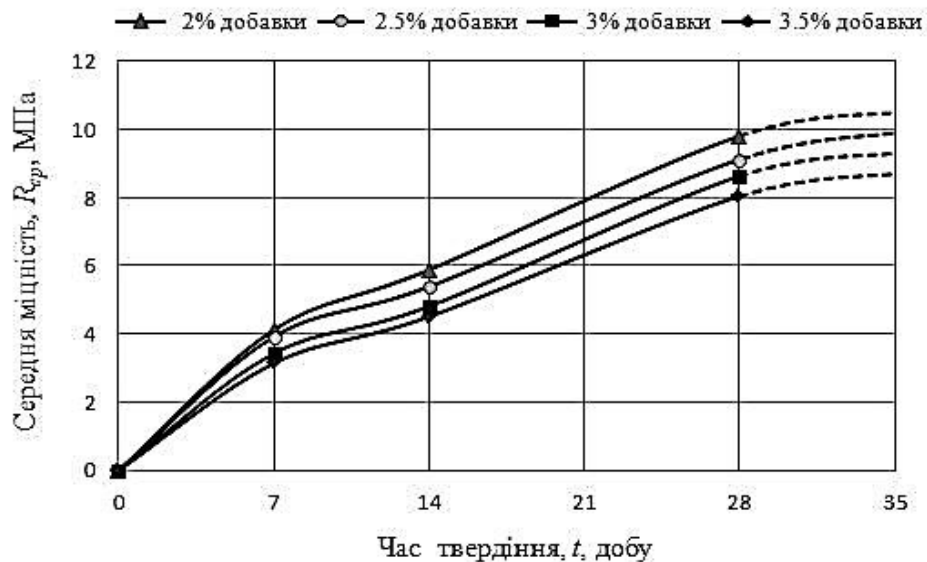


Рисунок 6 – Залежності міцності при стиску  $R_{cp}$  ґрунтоцементних зразків в 7, 14 і 28-ми добовому часі в залежності від вмісту добавки в суглинистих ґрунтах

При дослідженні деформацій основи фундаментів в лабораторних умовах було враховано, що проведення експерименту полягало у вивченні деформації основи фундаменту в трьох станах: природному, водонасиченому незакріпленому і водонасиченому стані після закріплення основи фундаменту ґрунтоцементними вертикальними елементами за допомогою бурозмішувальної технології. Для виконання експериментів в лабораторних умовах (рис.7) закріплення піску в основі було виконано буросічними ґрунтоцементними вертикальними елементами. Основу було закріплено в лотку 2, 4 і 6-ма вертикальними елементами (рис. 8) діаметром 40 мм і довжиною 350 мм, що забезпечувало надійність проведення досліджень.

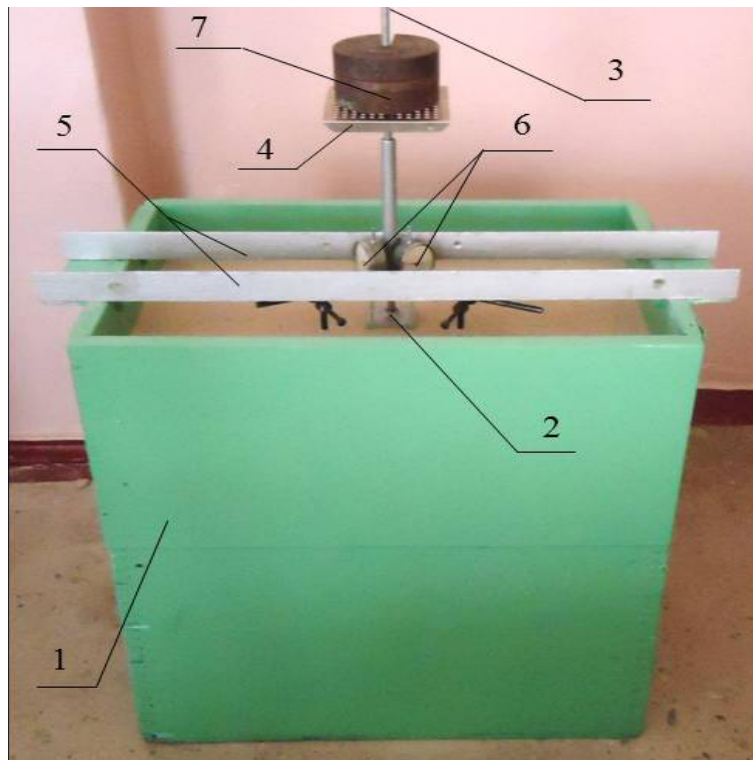


Рисунок 7 – Загальний вигляд дослідної установки, виготовленої для випробування: дерев'яний лоток (1); металевий штамп (2); металевий шток (3); завантажувальний стіл (4); дві опорні штанги (5); індикатори (6); металевий вантаж (7)

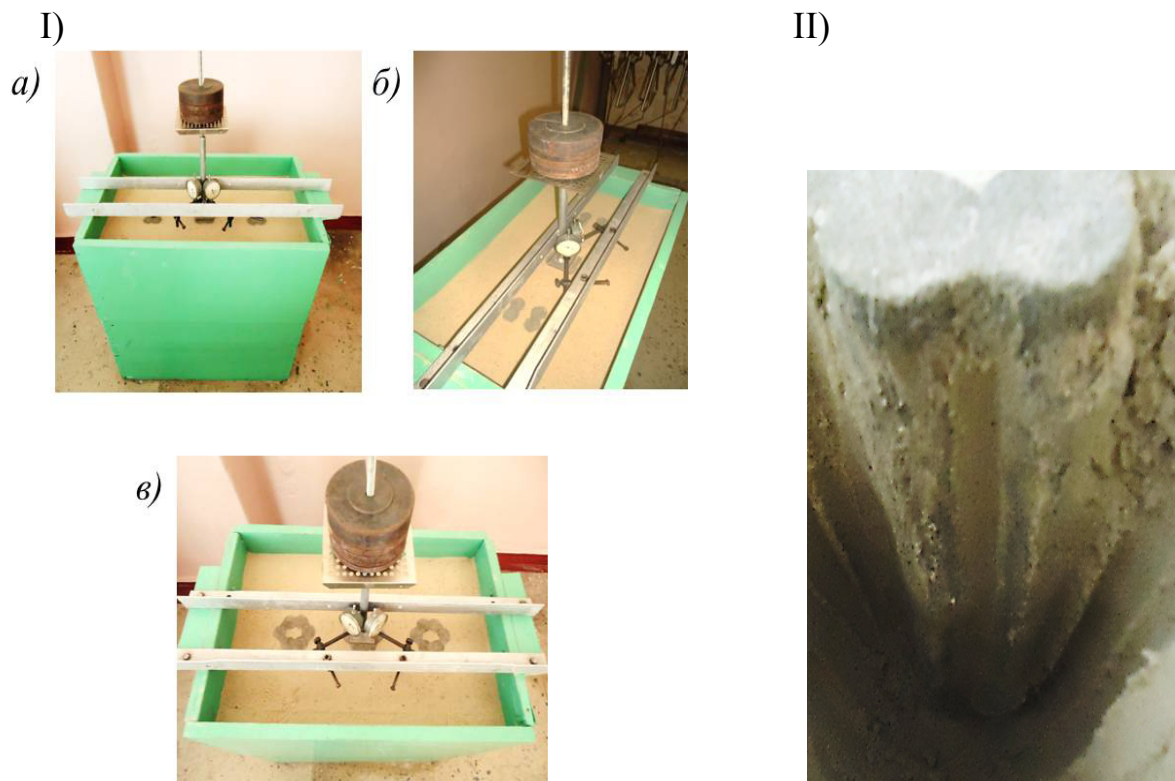


Рисунок 8 – Вигляд ґрунтоцементних вертикальних елементів в лабораторних умовах: фрагменти випробування закріпленої основи 2, 4 і 6-ма елементами (а, б, в) (I); поверхня вертикальних елементів (вид збоку) (II)

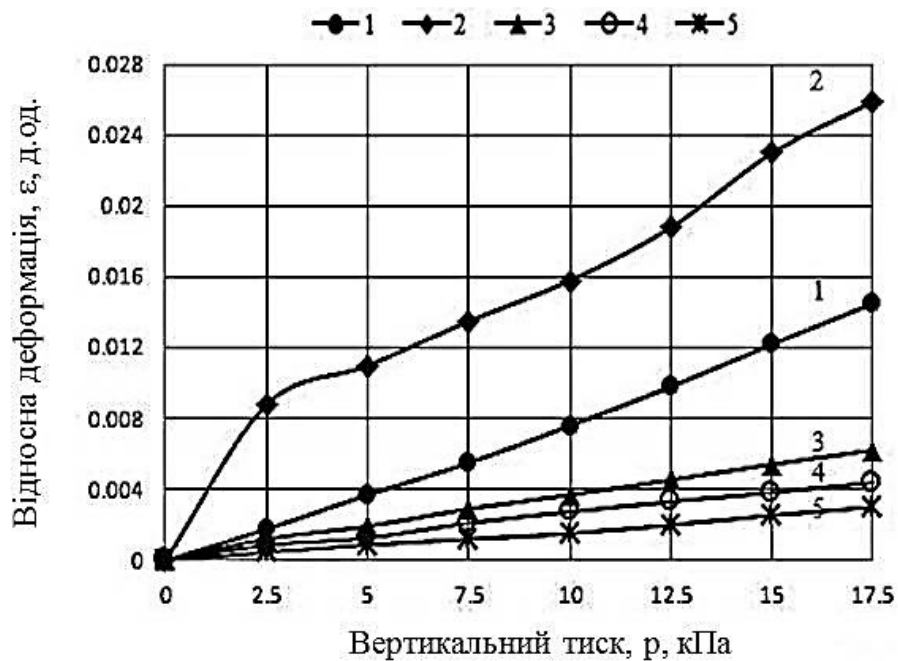


Рисунок 9 – Залежності відносних деформацій від вертикального тиску в піщаних ґрунтах в природному стані (1), водонасиченому стані (2), водонасиченому стані після закріплення основи фундаменту 2, 4 і 6-ма вертикальними елементами (3, 4, 5 відповідно)

Як відомо, модуль деформації залежить від гранулометричного і мінералогічного складу, щільності, наявності структурних зв'язків, вологості і діючих навантажень, що підтверджують проведені випробування (рис. 9). Цей показник ґрунту в значній мірі визначає умови проектування фундаментів неглибокого закладання. Зазвичай вважають, що модуль деформації ґрунту відповідає його пружній роботі на стиск, так як прояв пластичних деформацій і відповідно зменшення значення модуля небажано для реальних об'єктів. Дослідженнями підтверджено, що модуль деформації закріпленої основи складає  $E=19,5 \dots 46,0$  МПа. Його величина залежить як від якості закріплення, так і розташування елементів в слабкій основі.

У четвертому розділі приведено аналітичні розрахунки основи фундаменту, закріпленої ґрунтоцементними вертикальними елементами. Для початку була розглянута найпростіша схема закріплення основи стовпчастого фундаменту. В умовах нового будівництва для цього може бути запропонована така розрахункова схема (рис.10). Розглянуто реалізацію цієї розрахункової схеми як для окремого закріпленого масиву глибиною  $l_p$  і площею закріплення  $A_{pf}$ .

$$A_{pf} = b_f \times l_f \quad (1)$$

де:  $b_f$  – ширина підшви фундаменту;

$l_f$  – довжина (для стовпчастого фундаменту фактичний розмір).

Граничне навантаження  $N_{pf}$  на закріпленій масив, як конструкцію умовного

стовпчастого фундаменту, що не прорізає слабкий ґрунт, може бути визначене з урахуванням міцності закріпленого елемента ґрунту  $R_{cp}$  і міцності слабого ґрунту на одновісний стиск  $R_{cs}$ :

$$N_{pf} = R_{cp} A_p \cdot n_p + R_{cs} (A_{pf} - A_p \cdot n_p) \quad (2)$$

де:  $A_{cp}$  – площа поперечного перерізу окремого закріпленого елемента;  
 $A_{pf}$  – площа поперечного перерізу умовного масиву закріплення;  
 $n_p$  – кількість елементів закріплення.

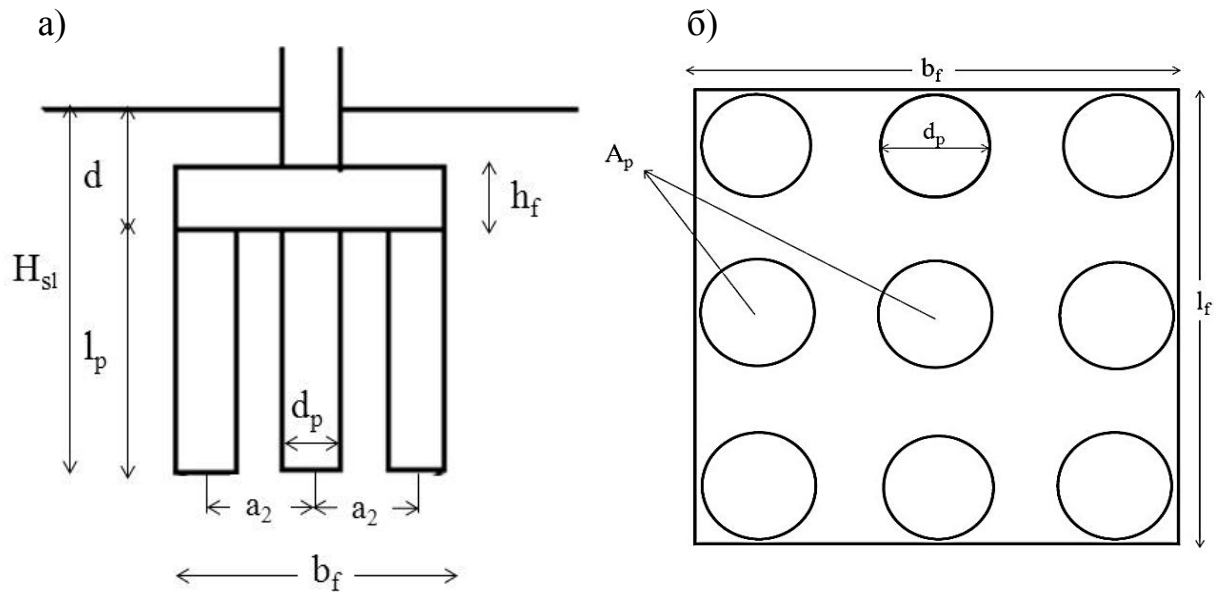


Рисунок 10 – Розрахункова схема закріпленої основи: розріз (а); план (б)

Така умова відповідає проведенню перевірного розрахунку за першим граничним станом слабкої основи, для якого виконується умова норм [ДБН В.2.1–10–2009].

$$N_u = R_c b' l' \quad (3)$$

де:  $b'$  і  $l'$  – ширина і довжина умовного фундаменту, м;  
 $R_c$  – розрахунковий опір слабкої основи, який визначається за формулою (4) [ДБН В.2.1–10–2009, Зміна №1]:

$$N_u = b' l' (N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I + N_q \xi_q \gamma_I d + N_c \xi_c c_I) \quad (4)$$

де:  $N_\gamma, N_q, N_c$  – безрозмірні коефіцієнти несучої здатності;  
 $\gamma, \gamma_I$  – розрахункові значення питомої ваги ґрунту,  $\text{кН/м}^3$ ;  
 $c_I$  – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту,  $\text{кПа}$ ;  
 $d$  – глибина закладання фундаменту, м;  
 $\xi_\gamma, \xi_q, \xi_c$  – коефіцієнти форми фундаменту.

Також робота елементів закріплення розглядалась в другому варіанті як робота одиночних паль, а тому визначається несуча здатність основи за їх несучою здатністю за вимогою норм ДБН В.2.1-10-2009.

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (5)$$

$\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи палі (елемента); в разі спирання її на слабкі ґрунти  $\gamma_c = 0,8$ ;

$\gamma_{cR}$  – коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі;  $\gamma_{cR} = 1$

$R$  – розрахунковий опір слабого ґрунту під нижнім кінцем палі на глибині  $(d + l_p)$ , кПа;

$A$  – площа опирання закріпленого елемента (палі), м<sup>2</sup>;

$u$  – периметр поперечного перерізу закріпленого елемента, м;

$\gamma_{cf}$  – коефіцієнт умов роботи ґрунту на бічній поверхні палі;

$f_i$  – розрахунковий опір шару слабого ґрунту на бічній поверхні елемента, кПа;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару ґрунту, що стикається з бічною поверхнею елемента, м.

Однак такий підхід можна реалізувати тільки для виключно слабого ґрунту, так як несуча здатність буде дуже низькою, можливо, що надійне рішення цього завдання – проведення попереднього випробування одиночного закріпленого елемента з урахуванням замочування, що дасть величину розрахункової несучої здатності  $F_{d,sat}$ , тоді потрібну кількість елементів закріплення  $n_p$  можна визначати за формулою:

$$n_p = \frac{\sum N^I}{\gamma_{pf} F_{d,sat}} \quad (6)$$

де:  $\sum N^I$  – відповідне навантаження на підшві фундаменту;

$\gamma_{pf}$  – рекомендований коефіцієнт надійності для врахування рівномірності роботи і взаємовпливу елементів закріплення приймаємо 0,9.

Для реальної оцінки, виходячи з неприпустимості прояву пластичних деформацій, необхідно знати розподіл напружень не тільки в закріпленому масиві, а й навколо нього, а це можна досягти при числовому моделюванні, з використанням АСНД «VESNA» і ПК «ЛІРА». Дослідження напружено-деформованого стану основи, складеної слабкими суглинками і піщаними ґрунтами та закріплених ґрунтоцементними вертикальними елементами з добавкою 2% бентонітової глини від маси цементу було проведено з використанням експериментально підтверджених показників: питома вага ґрунтоцементу  $\gamma = 20$  кН/м<sup>3</sup>; гранична глибина буріння  $l_p = 7$  м; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,2$  в пісках і 0,25 в суглинках; міцність на стиск  $R_{cp} = 13,73$  МПа в пісках і 9,81 МПа в суглинках; діаметр елемента

$D = 800$  мм в пісках і 700 мм в суглинок. Для водонасиченого суглинку і піску, закріпленого за допомогою бурозмішувальної технології буросічними ґрунтоцементними вертикальними елементами, розташованими під подошвою стрічкового фундаменту, з використанням комп'ютерної програми ПК «ЛІРА». Були отримані ізополя напружень і переміщень при навантаженнях на рівні подошви фундаменту в 200, 300 і 400 кН / м.

Як приклад, нижче показано ізополя деформації в основі при навантаженні 200 кН/м в суглинистих ґрунтах (рис.11 і 12). Порівняння розрахункових величин деформацій напружень, отриманих за результатами числового моделювання в піщаних і суглинистих ґрунтах наведені в табл.1 і табл.2.

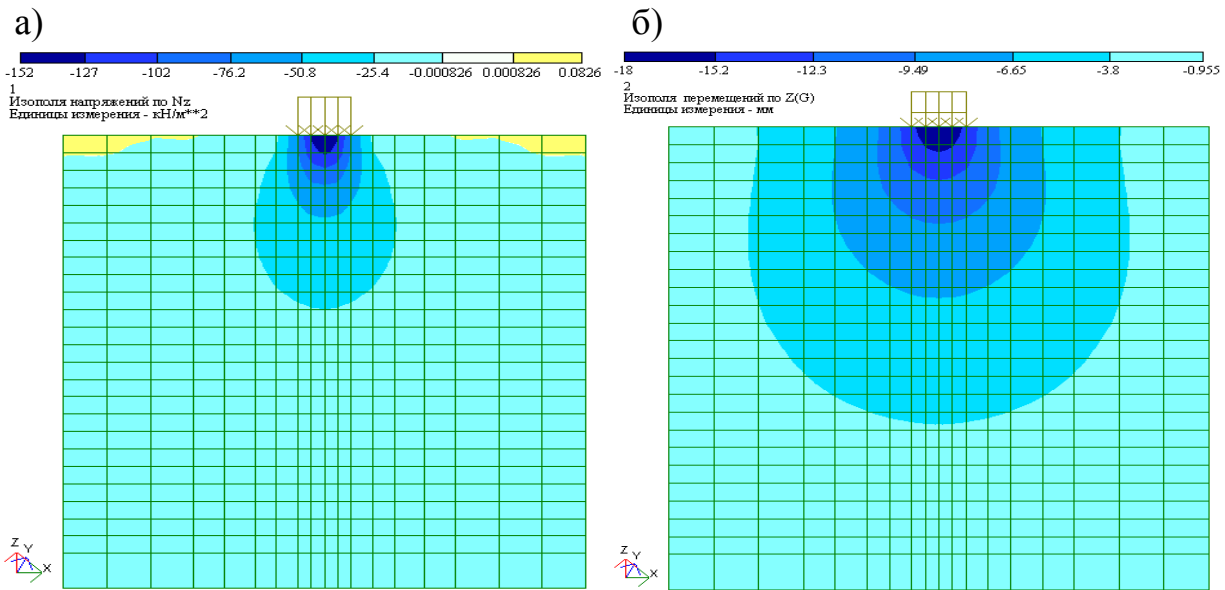


Рисунок 11 – Ізополя напружень  $\sigma_{zp}$ , кПа (а) і переміщень  $Z$ , мм (б) для  $p=200$  кН/м без закріплення основи фундаменту в суглинистих ґрунтах

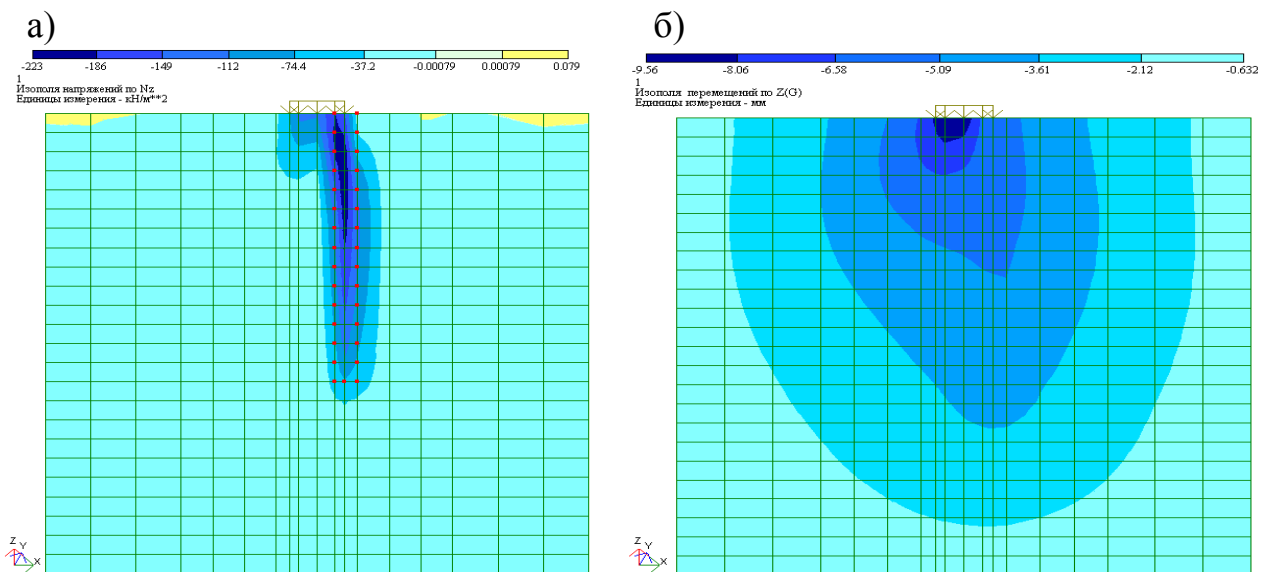


Рисунок 12 – Ізополя напружень  $\sigma_{zp}$ , кПа (а) і переміщень  $Z$ , мм (б) для  $p=200$  кН/м при односторонньому закріпленні основи фундаменту в суглинистих ґрунтах



Таблиця 1 – Результати розрахунків деформації основи  $S$ , мм за ПК «ЛІРА»

Варіант ґрунтової основи		при зовнішньому погонному навантаженні на фундамент шириною 1,2 м, кН/м		
		200	300	400
суглинок	водонасичена основа без закріплення	13,2	24,5	31,5
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	9,5	17,1	23,0
пісок	водонасичена основа без закріплення	16,3	37,2	55,1
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	8,7	15,4	22,8

Таблиця 2 – Результати розрахунків напружень основи  $\sigma_{zp}$ , кПа за «ЛІРА»

Варіант ґрунтової основи		при зовнішньому погонному навантаженні на фундамент шириною 1,2 м, кН/м		
		200	300	400
суглинок	водонасичена основа без закріплення	150	228	308
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	141	212	283
пісок	водонасичена основа без закріплення	152	230	306
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	139	209	278

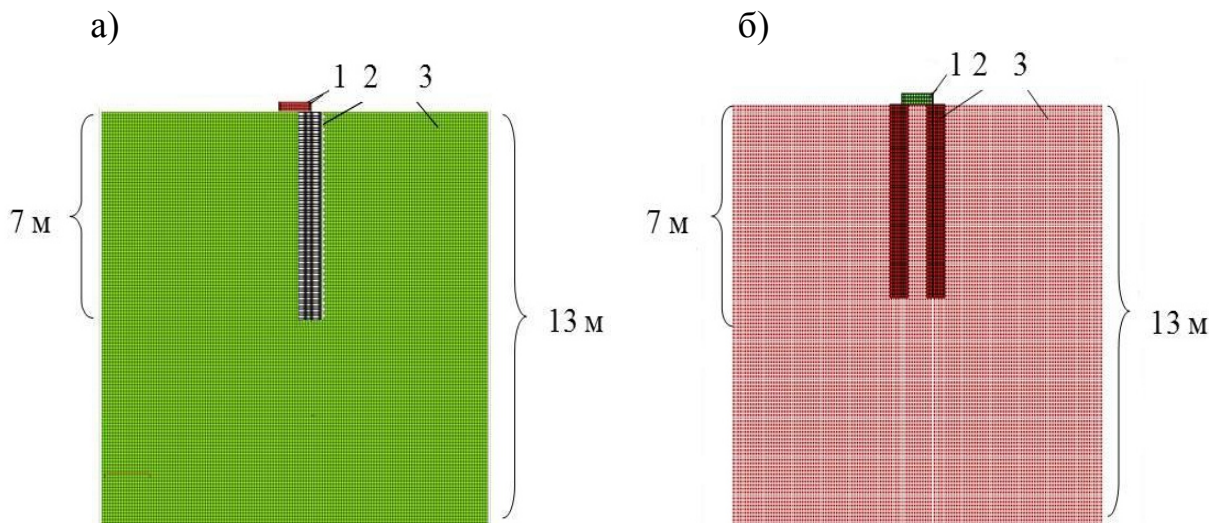


Рисунок 13 – Скінченно-елементна модель, для розрахунків в АСНД «VESNA»: 1 – стрічковий фундамент; 2 – ґрунтоцементний вертикальний елемент одностороннього (а) і двостороннього (б) закріплення; 3 – основа

Для підтвердження отриманих результатів та оцінки ефективності закріплення основи фундаментів за бурозмішувальною технологією було також виконано числове моделювання методом скінченних елементів з використанням АСНД «VESNA» (рис. 13).

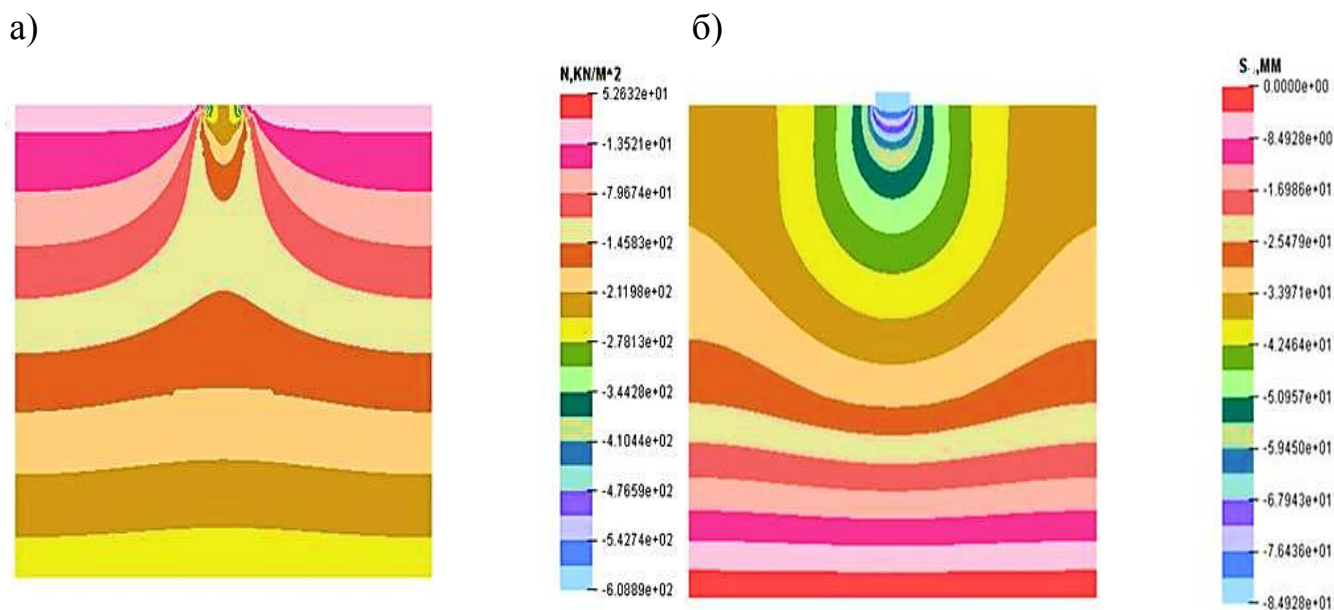


Рисунок 14 – Ізополя напружень  $\sigma_{zp}$ , кПа (а) і переміщень  $Z$ , мм (б) при  $p=400$  кН/м без закріплення основи фундаменту в піщаному ґрунті

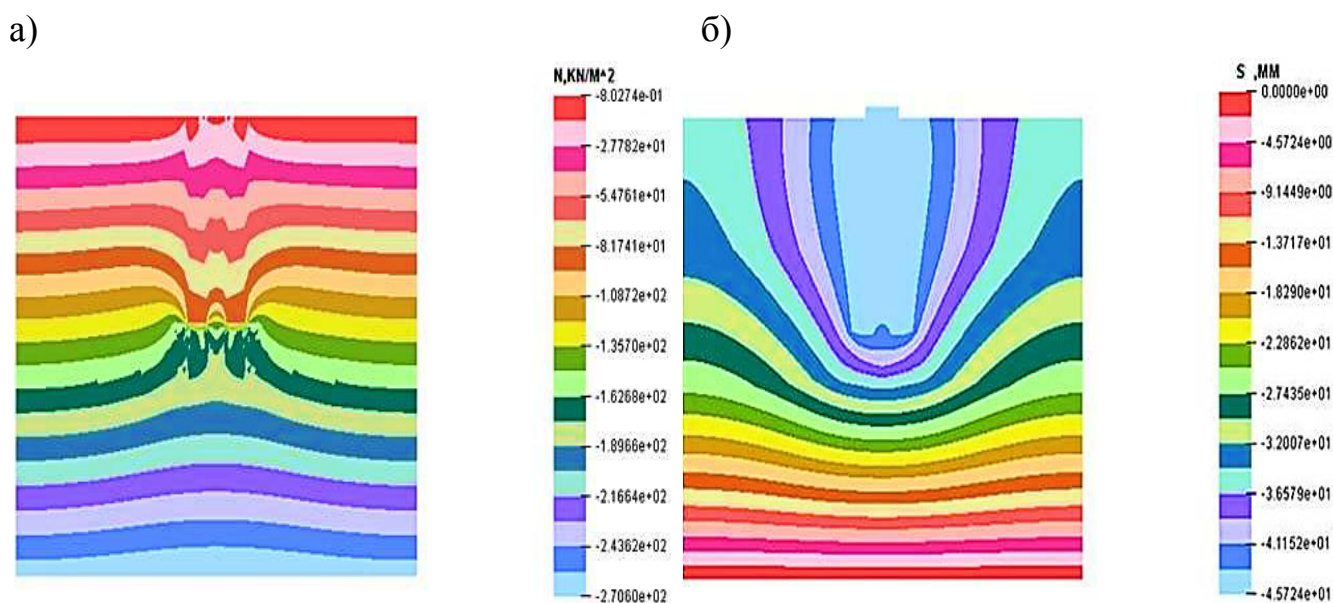


Рисунок 15 – Ізополя напружень  $\sigma_{zp}$ , кПа (а) і переміщень  $Z$ , мм (б) при  $p=400$  кН/м при двосторонньому закріпленні основи фундаменту в піщаному ґрунті

Дослідження напружено-деформованого стану основи було проведено для аналогічних умов, а отримані ізополя напружень і переміщень в піщаних ґрунтах подані на рис. 14 і 15. Порівняння розрахункових величин деформацій напружень в піщаних і суглинистих ґрунтах наведені в табл.3 і табл.4.

Таблиця 3 – Результати розрахунків деформації основи  $S$ , мм за АСНД «VESNA»

Варіант ґрунтової основи		при зовнішньому погонному навантаженні на фундамент шириною 1,2 м, кН/м		
		200	300	400
суглинок	водонасичена основа без закріплення	61	80	104
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	46	54	66
	водонасичена основа при двосторонньому закріпленні	38	45	52
пісок	водонасичена основа без закріплення	47	65	85
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	36	45	57
	водонасичена основа при двосторонньому закріпленні	31	38	46

Таблиця 4 – Результати розрахунків напружень основи  $\sigma_{zp}$ , кПа за АСНД «VESNA»

Варіант ґрунтової основи		при зовнішньому погонному навантаженні на фундамент шириною 1,2 м, кН/м		
		200	300	400
суглинок	водонасичена основа без закріплення	142	204	266
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	68	92	128
	водонасичена основа при двосторонньому закріпленні	25	25,7	26
пісок	водонасичена основа без закріплення	135	205	241
	водонасичена основа при односторонньому закріпленні	105	117	125
	водонасичена основа при двосторонньому закріпленні	26	27	28

Виконане числове моделювання показало можливість реальної оцінки роботи закріпленого масиву ґрунту в основі фундаментів неглибокого закладання. В цілому, дослідження підтвердило можливість значного покращення якості основи при її закріпленні цементним розчином з добавками бентонітової глини та рідкого скла. При цьому величина осідання основи після закріплення зменшується в

1,5...2,5 рази, а напруження в прилягаючому ґрунті навколо елементів закріплення в декілька раз.

У п'ятому розділі наведено практичні рекомендації з проектування і виготовлення ґрунтоцементних елементів з добавками за бурозмішувальною технологією та впровадження методики закріплення основи на реальних майданчиках. На практиці було виконано закріплення основи фундаментів за допомогою бурозмішувальної технології на двох експериментальних майданчиках:

– Реконструкція торгового комплексу по вул. Кришталевій, 6 в с. Петропавлівська Борщагівка Києво-Святошинського району Київської області.

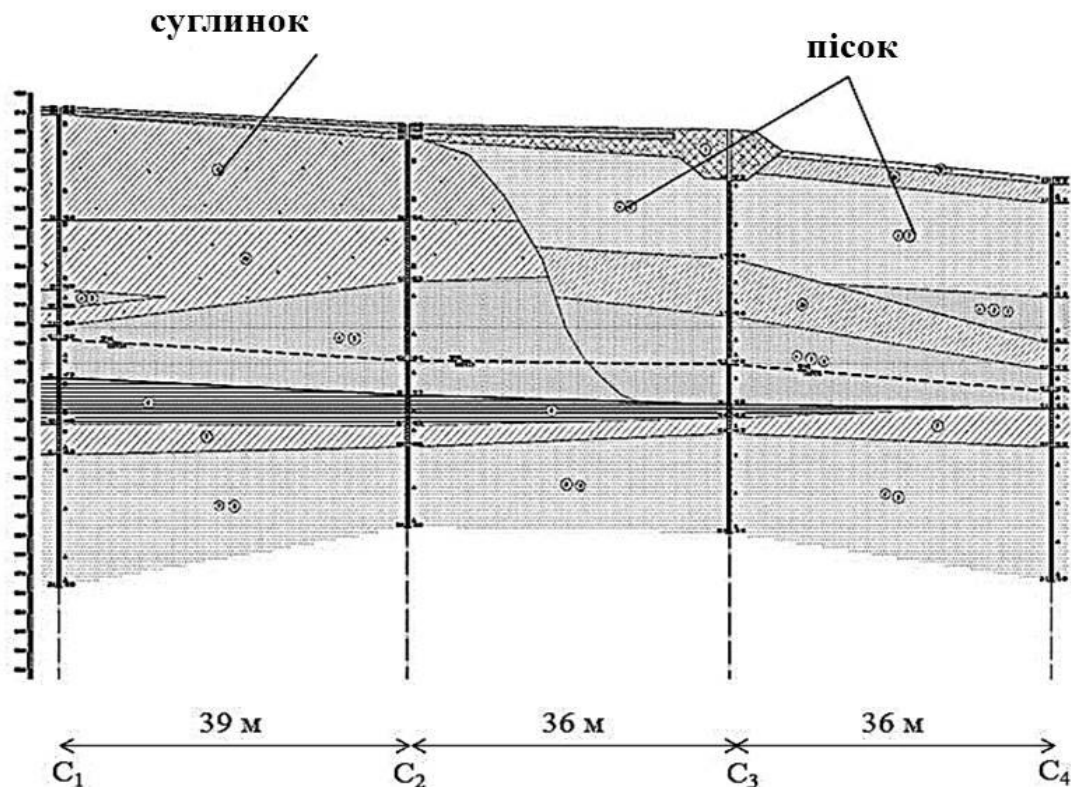


Рисунок 16 – Інженерно-геологічний переріз на ділянці закріплення

Інженерно-геологічний переріз на ділянці закріплення підтверджував різну природну якість основи. З поверхні між свердловинами Св.1...Св.2 залягали суглинки, а між Св.3...Св.4 – піски. Глибина закріплення до 11 м (рис. 16).

– Будівництво житлових будинків по вул. Практичній, 2, 4, 6, 8, (мікрорайон "Жуляни") у Солом'янському районі м. Києва. Виконання робіт по закріпленню основи ґрунтоцементними елементами за допомогою бурозмішувальної технології приведені на рис.17.

Майданчик будівництва був складений на глибину до 18 м насипними ґрунтами з великим вмістом органіки. Тому, нижня частина цього ґрунту в межах балки закріплювалася за бурозмішувальною технологією, з одночасним використанням ґрунтової подушки товщиною 7 м у верхній частині основи плитного фундаменту. Таке закріплення було успішним і деформації будинку, що зводиться, не перевищували за результатами моніторингу 30 мм.



Рисунок 17 – Виконання робіт по закріпленню основи ґрунтоцементними елементами за допомогою бурозмішувальної технології

## ВИСНОВКИ

1. Запропонований комплексний підхід до початкової оцінки необхідності закріплення слабких основ фундаментів неглибокого закладання за розробленою технологією закріплення із застосуванням ґрунтоцементних сумішей, доповнених добавками бентонітових глин і рідким склом.
2. Встановлено закономірності впливу композитного складу ґрунтоцементних сумішей з додаванням бентонітової глини і рідкого скла на фізико-механічні характеристики закріпленого ґрунту. При вмісті у складі ґрунтоцементної суміші добавки бентонітової глини 1...2,5 % і рідкого скла 1 % по вазі від кількості цементу, міцність для піщаної основи після закріплення складає 13...20 МПа, а для суглинистої – 8...10 МПа. При цьому у випадку піщаної основи збільшення кількості глини приводить до істотного збільшення міцності ґрунтоцементної суміші, в той час як у випадку суглинистої основи таке збільшення не спостерігається.
3. Запропоновано метод оптимізації закріплення слабкої основи фундаментів з використанням методів числового моделювання напружено-деформованого стану ґрунтової основи, закріпленої ґрунтоцементними вертикальними елементами, з врахуванням конструкції фундаменту неглибокого закладання і розташування цих елементів в слабкій основі в природному та водонасиченому стані.
4. Встановлено за результатами числового моделювання з використанням розрахункових комплексів АСНД «VESNA» та ПК «ЛІРА», що застосування для закріплення слабких ґрунтів ґрунтоцементної суміші з добавками бентонітової глини і рідкого скла, зменшило деформації основи в 1,5...2,5 рази, а напруження – в 2...8 разів при закріпленні в піщаних і суглинистих ґрунтах. Розрахунки показали, що деформації ґрунтової товщі змінюються значно при збільшенні нахилу пластів для ґрунтів в природному та водонасиченому стані.

5. Розроблено рекомендації щодо практичного закріплення основ ґрунтоцетметними вертикальними елементами з використанням бурозмішувальної технології в складних інженерно-геологічних умовах.
6. Реалізовано запропоновану технологію на 2-х експериментальних майданчиках, де підтверджено отримання до 20 % економічної ефективності при влаштуванні фундаментів із застосуванням бурозмішувальної технології для закріплення слабкої основи.

### **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:**

*Статті у наукових фахових виданнях, що включені до наукометричних баз даних:*

1. Корнієнко М.В. Напружений стан ґрундової основи фундаменту, підсиленого ґрунтоглиноцетментними палями, за результатами числового моделювання / М.В.Корнієнко, В.В.Жук, С.Ф.Абед // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка – 2016, Вип. 1(46) – С. 148–153. (Index Copernicus, Google Scholar).
2. Корниенко Н.В. Исследования деформации основания фундамента усиленного ґрунтоглиноцетментными сваями в песчаных ґрунтах / Н.В.Корниенко, С.Ф.Абед // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка – 2015. – Вип. 2 [44]. – С. 153–159. (Index Copernicus, Google Scholar).
3. Ivanova M.S. Improvement the calculation of the stability of building located near the slopes for structural unstable soils / M.S.Ivanova, S.V.Konoval, S.F.Abed // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 5 (59) – С. 150–159. (UlrichswebTM Global Serials Directory, OCLC WorldCat; Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI).

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

4. Корниенко Н.В. О лабораторном исследовании свойств ґрунтоглиноцетментной смеси, используемой для закрепления песков / Н.В.Корниенко, С.Ф.Абед // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2015. – Вип. 36. – С. 116–221.
5. Корниенко Н.В. Оптимизация закрепления ґрунтового основания фундамента буросмесительной технологией по результатам численного моделирования / Н.В.Корниенко, В.В.Жук, С.Ф.Абед // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2015. – Вип.37. – С. 247–259.
6. Иванова М.С. Усовершенствование расчета по устойчивости здания, расположенного вблизи откоса на структурно-неустойчивых ґрунтах / М.С.Иванова, С.В.Коновал, С.Ф.Абед // Збірник наукових праць ЧГТУ, 2015. – Вип. № 1. – С. 103 – 110.

*Статті у інших наукових виданнях:*

7. Корнієнко М.В. Дослідження деформованого стану основи фундаменту за результатами числового моделювання при підсиленні ґрунтоглиноцементними палями / М.В.Корнієнко, В.В.Жук, С.Ф.Абед // Світ геотехніки: Науково-технічний журнал. – Запоріжжя: НДІБК. –2016. – Вип. 1(49). – С. 7–9.
8. Абед С.Ф. Обоснование реконструкции фундамента с помощью ґрунтоглиноцементных свай в просадочных суглинистых ґрунтах / С.Ф.Абед // Сборник научных трудов. ДонГТУ – 2014. – Вып. 43.–С. 78–86.
9. Абед С.Ф. Исследование прочности ґрунтоглиноцементной сваи в песчаных и суглинистых ґрунтах / С.Ф.Абед // Сборник научных трудов. ДонГТУ – 2013. – Вып. 41. – С. 214–220.
10. Абед С.Ф. Исследования осадки обводненной толщи ґрунтов в зависимости от типа фундамента методом конечных элементов / С.Ф.Абед // Сборник научных трудов. ДонГТУ – 2013. – Вып. 40. – С. 182–190.
11. Должиков П.Н. Исследование инженерно-геологических свойств обводненных разуплотненных ґрунтов / П.Н.Должиков, С.Ф.Абед, Э.Я.Кипко // Сборник научных трудов. ДонГТУ–2012. –Вып.36.–С.332–337.

*Публікації апробаційного характеру у матеріалах конференції:*

12. Абед С.Ф. Оцінка ефективності закріплення ґрунтової основи фундаментів бурозмішувальною технологією за результатами числового моделювання. / С.Ф.Абед, В.В.Жук // Першої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «БУД-МАЙСТЕР-КЛАС-2015». – К.: КНУБА. – 2015. – С.110–111.

**АНОТАЦІЯ**

Абед С.Ф. Глиноцементне закріплення слабких основ фундаментів неглибокого закладання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – основи і фундаменти. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2017.

У дисертації досліджується вплив добавок бентонітових глин і рідкого скла на міцність, деформативність і інші властивості ґрунтоцементного закріплення слабкої основи експериментальний пошук складу ґрунтоцементних сумішей з добавками бентонітових глин і рідкого скла для забезпечення достатності закріплення при використанні бурозмішувальної технології; визначення характеристик міцності і деформативних характеристик зразків закріпленого ґрунту в лабораторних умовах і в натурі.

Встановлено закономірності впливу композитного складу ґрунтоцементних сумішей з додаванням бентонітової глини і рідкого скла на фізико-механічні характеристики закріпленого ґрунту: у складі ґрунтоцементної суміші добавки

бентонітової глини 1...2,5 % і рідкого скла 1 % по вазі від кількості цементу, міцність для піщаної основи після закріплення складає 13...20 МПа, а для суглинистої 8...10 МПа. При цьому у випадку піщаної основи збільшення кількості глини приводить до істотного збільшення міцності ґрунтоцементної суміші, в той час як у випадку суглинистої основи таке збільшення не спостерігається. Розрахунок з використанням числового моделювання для підтвердження ефективності запропонованої методики закріплення проводився з використанням різних розрахункових комплексів АСНД «VESNA» і ПК «ЛІРА».

Методика закріплення була впроваджена на експериментальних будівельних майданчиках м. Києва та забезпечила підвищення міцності і екологічний захист від органічних речовин при застосуванні глиноцементного розчину з добавками рідкого скла для закріплення ґрунтової основи фундаментів за бурозмішувальною технологією. На двох експериментальних майданчиках м. Києва, де була застосована запропонована методика закріплення основи фундаментів, було підтверджено отримання до 20% економічної ефективності при влаштуванні фундаментів із застосуванням бурозмішувальної технології для закріплення слабкої основи.

Ключові слова: ґрунтоцементний вертикальний елемент, слабкі ґрунти, закріплення, добавки, бентонітова глина, бурозмішувальна технологія, числове моделювання.

## АННОТАЦІЯ

Абед С.Ф. Глиноцементное закрепление слабых оснований фундаментов мелкого заложения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 – основания и фундаменты. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины, Киев, 2017.

В диссертации исследуется влияние добавок бентонитовых глин и жидкого стекла на прочность, деформативность и другие свойства ґрунтоцементного закрепления слабого основания экспериментальный поиск состава ґрунтоцементной смеси с добавками бентонитовых глин и жидкого стекла для обеспечения достаточности закрепления при использовании буросмесительной технологии. Определение прочностных и деформативных характеристик образцов закрепленного ґрунта в лабораторных условиях и в натуре.

Установлена закономерности влияния композитного состава ґрунтоцементных смесей с добавлением бентонитовой глины и жидкого стекла на физико-механические характеристики закрепленного ґрунта при содержании в составе ґрунтоцементной смеси добавки бентонитовой глины 1...2,5 % и жидкого стекла 1 % по массе от количества цемента, прочность для песчаного основания после закрепления составляет 13...20 МПа, а для суглинистых 8...10 МПа.

При этом в случае песчаного основания увеличение количества глины



приводит к существенному увеличению прочности грунтоцементной смеси, в то время как в случае суглинистого основания такое увеличение не наблюдается. Разработан аналитический комплексный подход к начальной оценке для закрепления слабых оснований фундамента мелкого заложения.

Предложен метод оптимизации композитного закрепления слабого основания с учетом конструкции фундаментов мелкого заложения и расположения элементов закрепления в их основании по результатам численного моделирования с использованием различных расчетных комплексов АСНИ «VESNA» и ПК «ЛИРА». Результаты лабораторных и полевых исследований подтверждают целесообразность для закрепления разных типов слабых оснований фундаментов мелкого заложения.

Методика закрепления была внедрена на экспериментальных строительных площадках г. Киева и обеспечила повышение прочности и экологическую защиту от органических веществ. Разработаны рекомендации по практическому закреплению оснований грунтоцементными вертикальными элементами с использованием буросмесительной технологии в сложных инженерно-геологических условиях.

На двух экспериментальных площадках г. Киева, где была применена предложенная технология закрепления слабого основания фундаментов, было подтверждено получение до 20 % экономической эффективности при изготовлении фундаментов с применением буросмесительной технологии для закрепления слабого основания.

Ключевые слова: грунтоцементный вертикальный элемент, слабые грунты, закрепление, добавки, бентонитовая глина, буросмесительная технология, численное моделирование.

## ABSTRACT

Abed S.F. Clay-cement fixing a weak base of shallow foundations. – On rights for a manuscript.

The thesis for scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.02 – Bases and foundations. – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis investigates the influence of additives bentonite and liquid glass on the strength, deformability and other properties the fixing of a weak base: experimental search composition of the clay-cement mixture with the addition of bentonite and liquid glass to ensure the sufficiency of fixing using drill-mixing technology; determination of strength and deformation characteristics fixing soil samples in the laboratory and in nature; calculation using the numerical modeling to confirm the effectiveness the proposed methods of fixing.

The regularities of the influence of the composite composition of soil-cement mixtures with the addition of bentonite and liquid glass on the physic-mechanical characteristics of the fixing soil, the soil-cement mixture were found in the presence of a 1-2.5% bentonite additive and 1% liquid glass by the amount of cement it gives resistance to compression for sand base after fixing 13 ... 20 MPa, and for loamy 8 ... 10 MPa.

A method for optimizing the composite fixing of a weak base is proposed, taking into account the construction of the shallow foundations and the location of the fixing elements in their base, with the use of various computational complexes ASNI "VESNA" and PC "LIRA". Fixing method was introduced on experimental construction sites in the city Kiev ensured higher strength and a decrease in water permeability and ecological protection from of harmful substances when applying clay-cement solution of sodium silicate additives for fixing the basis foundation using drill-mixing technology.

It is established that the proposed technology on the 2 experimental areas in city Kiev where is confirmed receiving the 20% of economic efficiency in the manufacture of foundations using drill-mixing technology for fixing weak soils.

Keywords: clay-cement vertical element, weak soil, fixing, additives, bentonite , drill-mixing technology, numerical simulation.

Підписано до друку 21.06.2017 р. Формат 60x90/16  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл-вид. арк. 0,9.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 179  
Друк: видавничий центр "Монохром"  
03186, м. Київ, просп. Повітрофлотський 34/1  
тел. (066)790-29-43, факс: (044)468-79-17  
e-mail: [office@monohrom.com.ua](mailto:office@monohrom.com.ua) <http://www.monohrom.com.ua>

