

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ  
Кафедра геобудівництва та гірничих технологій

Охріменко Валентина Іванівна

УДК 624.151

**Напружено-деформований стан основ підземних споруд і способи їх  
підсилення**

Спеціальність 8.0503103 – «Шахтне і підземне будівництво»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
магістерської дисертації на здобуття ступеня магістра

Київ 2017

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Мета та задачі дослідження.**

Метою роботи є обґрунтування способів підсилення основ підземних споруд на складних намівних ґрунтах.

Вказана мета досягається вирішенням наступних **задач**:

- узагальнити накопичений досвід геотехнічного будівництва на намівних ґрунтах;
- виконати оцінку напружено-деформованого стану основ підземних споруд на намівних ґрунтах;
- виконати чисельне моделювання напружено-деформованого стану ґрунтової основи складеної намівними ґрунтами;
- встановити найбільш ефективні способи підсилення ґрунтових основ.

*Об'єкт дослідження* – ґрунтові основи підземних споруд складені намівними ґрунтами.

*Предмет дослідження* – деформаційні характеристики ґрунтів основи підземних споруд.

**Методи дослідження:** при вирішенні поставлених в роботі завдань використано наступні методи досліджень: метод наукового аналізу та узагальнення відомих результатів теоретичних досліджень і практичного досвіду при визначенні напружено-деформованого стану намівних ґрунтів, метод математичного та фізичного моделювання параметрів напружено-деформованого стану намівних ґрунтів; техніко-економічного аналізу при встановленні раціональних параметрів ґрунтів; математичної статистики при обробці матеріалів досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступних наукових положеннях:

- встановлено, що гідромеханізований спосіб наміву заплавних територій є одним з ефективних і високопродуктивних способів отримання штучних підстав для будівництва підземних споруд.
- визначено, що напружений стан ґрунтових основ підземних споруд в разі перевищення граничної величини міцності або опору

$R_{гр}$  ґрунтів, які були прийняті як основи для даної споруди, викликає деформування самої споруди або конструкцій допоміжних об'єктів знаходяться в глибині ґрунтового масиву

- встановлено методом чисельного моделювання в системі Plaxis, що закріплення основ підземних споруд комбінованим способом зменшує просідання на 47,2%

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному: після проведення аналізу необхідної кількості літературних джерел було розроблено спосіб комбінованого підсилення основ підземних споруд на просідаючих ґрунтах, який включає в себе використання протифільтраційної завіси та бетонних паль.

**Апробація результатів дисертації.** VIII –а міжнародна науково - технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» (конференція молодих дослідників-аспірантів та магістрів) «Перспективи розвитку гірничої справи і підземного будівництва».

#### **Публікації.**

1. Охріменко В. І. Оценка напряженно-деформированного состояния оснований подземных сооружений и способы их усиления. Самедов А. М., Охріменко В. І.// Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серія «Гірництво»: зб. наук. праць. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», ЗАТ «Техновибух», 2017. Вип. 32. – С. 12-19.

2. Охріменко В. І. Напряженно-деформированное состояние квази-однофазного массива из малопрочной сланцевой породы при сжатии. Самедов А. М., Охріменко В. І.// Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. зб. наук. пр. / Вінн. нац. техн. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2017. Том 22.

3. Охріменко В. І. Напряженное состояние оснований под ленточными фундаментами подземных сооружений. Самедов. А. М.,

Охріменко В. І.// Вісті Донецького гірничого інституту: всеукр. наук.-техн. журн. гірн. профілю / Донец. нац. техн. ун-т. – Покровськ.

4. Охріменко В. І. Напружено-деформований стан гірських порідпри дії навантажень або зовнішніх сил. Самедов А. М., Охріменко В. І. //Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва. Зб. наук. праць. Вип. 8. – Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2017.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми роботи і необхідність проведення досліджень.

У **першому розділі** проведений детальний аналіз літературних джерел по будівництву підземних споруд на слабких підстилаючі грунтах, а саме:

досвід наміву на заторфованих і заболочених територіях;

намивання площі з крупно- і середньозернистих пісків підвищує стійкість штучних основ. При крупно- і середньозернистих намитих пісках прискорюється осад і дренавання, віджимання порової води з товщі заторфованого або слабо-глинистого підстилаючого ґрунту;

наявний під масивом водоупор з глинистих ґрунтів перегороджує на довгий час шлях фільтраційному потоку з водонасичених ґрунтів, супісків, суглинків, піщаних алювіальних відкладень;

лесові ґрунти в масивах під намитими пісками створюють небезпеку у вигляді несподіваних максимальних деформацій будівель і споруд, зведених на цих масивах.

У **другому розділі** проведена оцінка напружено-деформованого стану основ підземних споруд на прикладі плоскої і просторової задачі.

До просторових задач відноситься напружений стан споруди, у якій в плані розміри (ширина і довжина) рівні або мало відрізняються. Наприклад, основа під колони, димові труби, телевізійні вежі, стовпи електропередач, основа під односекційні багатоповерхові житлові будинки, основи під

багаторівневим підземним гаражем, несучими конструкціями якого є колони і т.д.

При розрахунку напруженого стану основ, які відносяться до просторових задач на ізотропній основі (наприклад, під 10-ти ярусним автоматизованим підземним гаражем), в будь-якій точці необхідно визначати компоненти напружень  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$ , як показано на рис. 1.

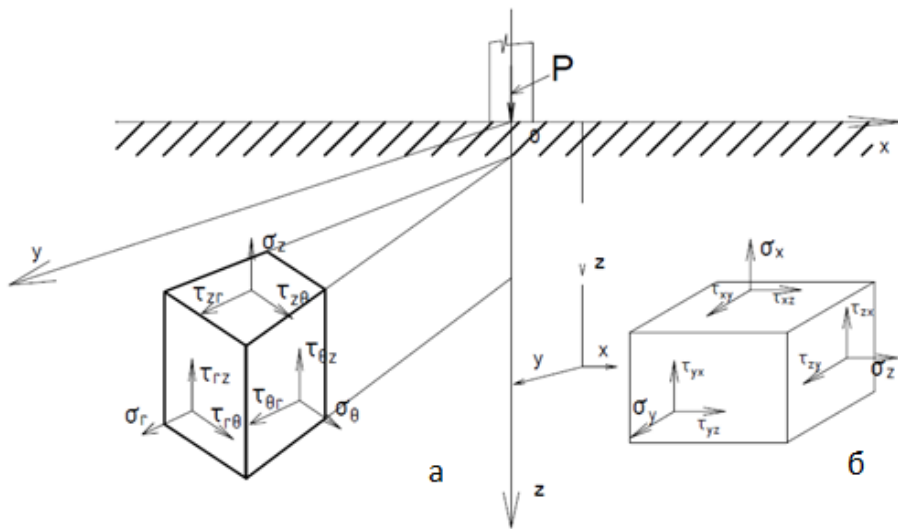


Рисунок 1 - Просторова задача: а - циліндрична система координат;  $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta$  - нормальні компоненти напружень;  $\tau_{rz}, \tau_{zr}, \tau_{r\theta}, \tau_{\theta r}, \tau_{z\theta}, \tau_{\theta z}$  - дотичні компоненти напружень; б - декартова система координат;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  - нормальні компоненти напружень;  $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$  - дотичні компоненти напружень.

До плоских задач (рис.2) відноситься напружений стан об'єкта, у якого в плані один розмір (довжина) значно більше, ніж інші (ширина). Наприклад основи під колектори, трубопроводи, канали, стрічкові фундаменти, тунелі, підпірні стіни, автомобільні дороги, пішохідні підземні переходи і т.д.

Для вирішення задач, що відносяться до плоских, потрібно визначити наступні компоненти:  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \tau_{yx}$ . У випадках ізотропних основ пари дотичних напружень рівні, тобто:  $\tau_{xy} = \tau = \tau_{yx}$ . Отже, для вирішення плоских задач необхідно визначити 3 компоненти напружень:  $\sigma_x, \sigma_y, \tau$ .

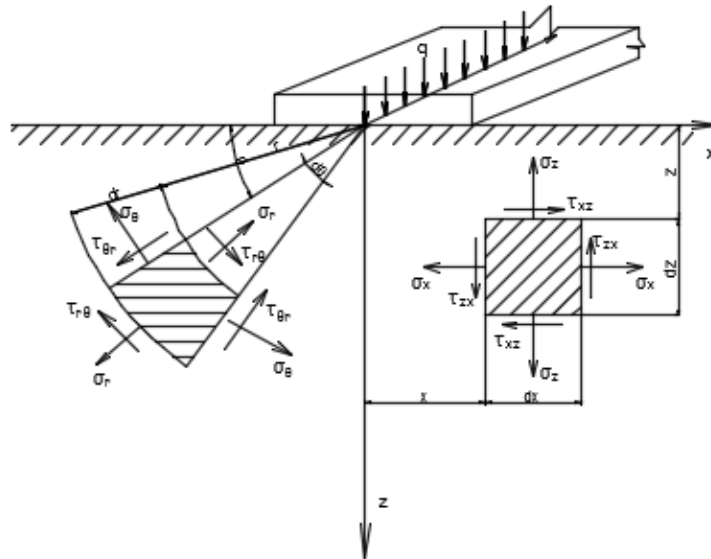


Рисунок 2 - Плоска задача: а - циліндрична система координат;  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  - нормальні компоненти напружень;  $\tau_{r\theta}$ ,  $\tau_{\theta r}$  - дотичні компоненти напружень; б - декартова система координат;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  - нормальні компоненти напружень;  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{zx}$  - дотичні компоненти напружень.

Основи довгих підземних споруд можна віднести до плоских задач напружено-деформованого стану. Наприклад основи під тунелем, стрічковим фундаментом, підземним переходом, автомобільною дорогою, підпірною стіною, каналом, трубопроводом, міським колектором і т.д. Тут розміри в плані по довжині значно перевищують ширину.

У **третьому розділі** проведено чисельне моделювання ґрунтового масиву на просідаючих ґрунтах в системі Plaxis.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів

№ п.п	Назва ґрунту	Потужність шару, м	Щільність $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт фільтрації, к	Коефіцієнт Пуасона, $\nu$	Модуль деформації Е, кПа	Кут внутр. тертя, $\varphi$ , [°]
1.	Намитий ґрунт	10,5	16,5	10	0,3	15000	29
2.	Торф	3,5	8	0,001	0,35	350	20
3.	Пісок	9	17	1	0,3	40000	32
4.	Глина	7	16	0,001	0,35	1000	25

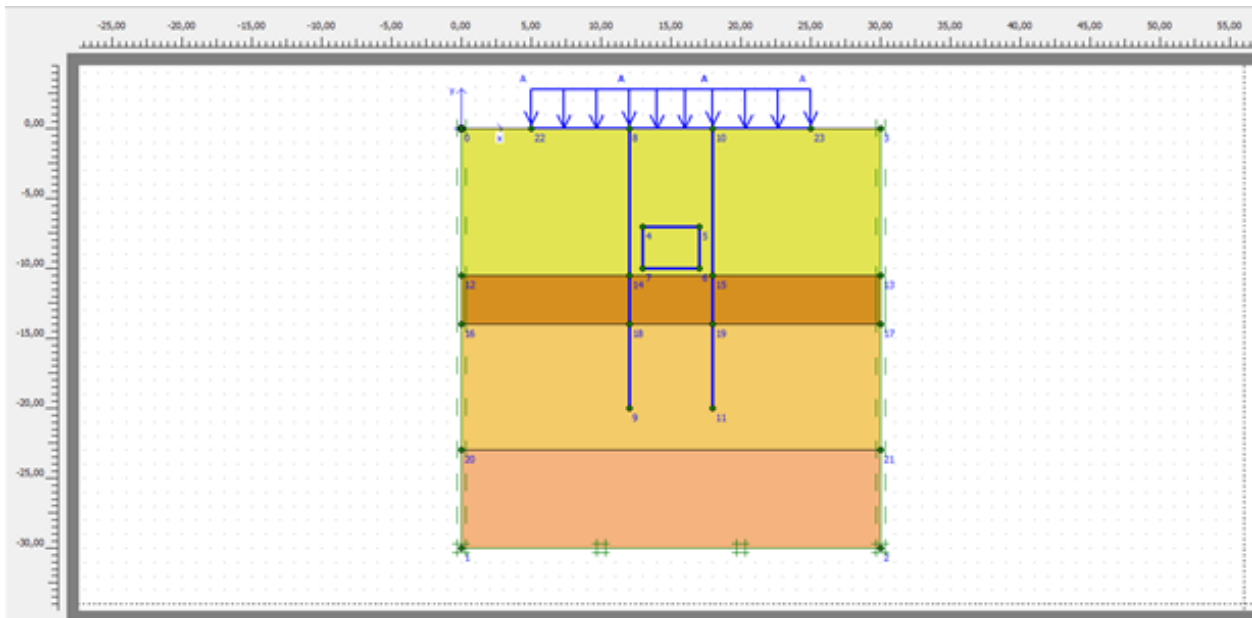


Рисунок 3 – Розрахункова схема взаємодії «споруда-основа»

В системі комп'ютерного моделювання Plaxis було змодельовано ґрунтовий масив загальною потужністю 30 м. В ньому розташована підземна споруда прямокутного поперечного перерізу (рис.3). Споруда розташована у верхньому шарі, який є намитим ґрунтом і знаходиться на відстані 0,5 м від підстиляючого шару торфу.

На відстані 1 м з обох сторін від споруди знаходиться конструкція «стіна в ґрунті», яка закладається на глибину 20 м, впираючись своєю основою в пісок. На масив діє нормативне навантаження  $10 \text{ кН/м}^2$  від будинків, що розташовані на поверхні.

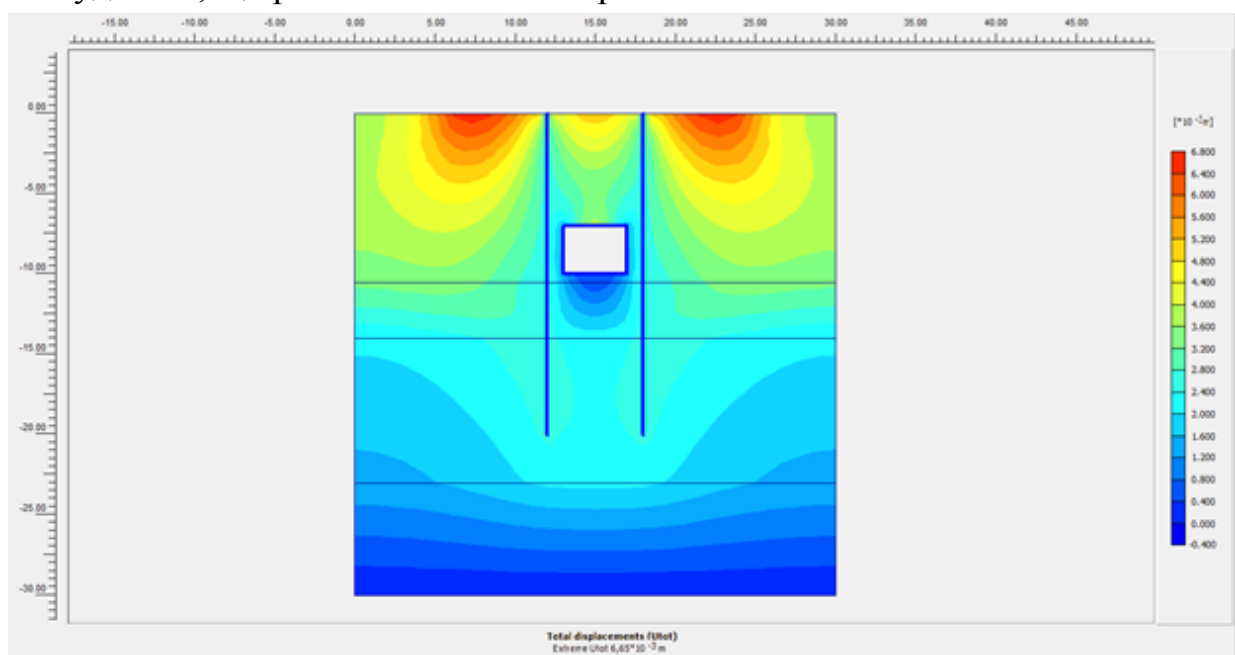


Рисунок 4 – Переміщення підземної споруди при початкових умовах

Розрахункова схема протифільтраційної завіси зображена на рис. 5 Її влаштовують для запобігання потрапляння води до ґрунтового масиву, який складається з 4 шарів: намитий ґрунт потужністю - 10,5 м; торф – 3,5 м; пісок – 9 м; глина – 7 м. Протифільтраційна завіса знаходиться на відстані 1 м від бічних стінок, вона повністю проходить шар намитого ґрунту і торфу та частково піску.

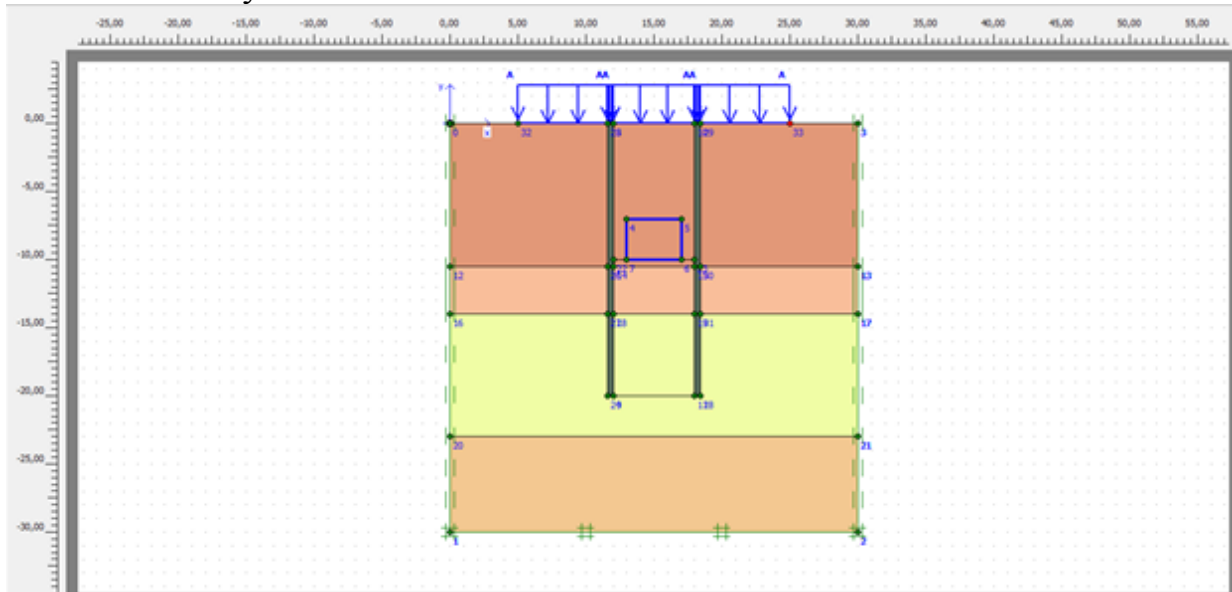


Рисунок 5 - Розрахункова схема взаємодії «споруда-основа» із застосуванням протифільтраційної завіси

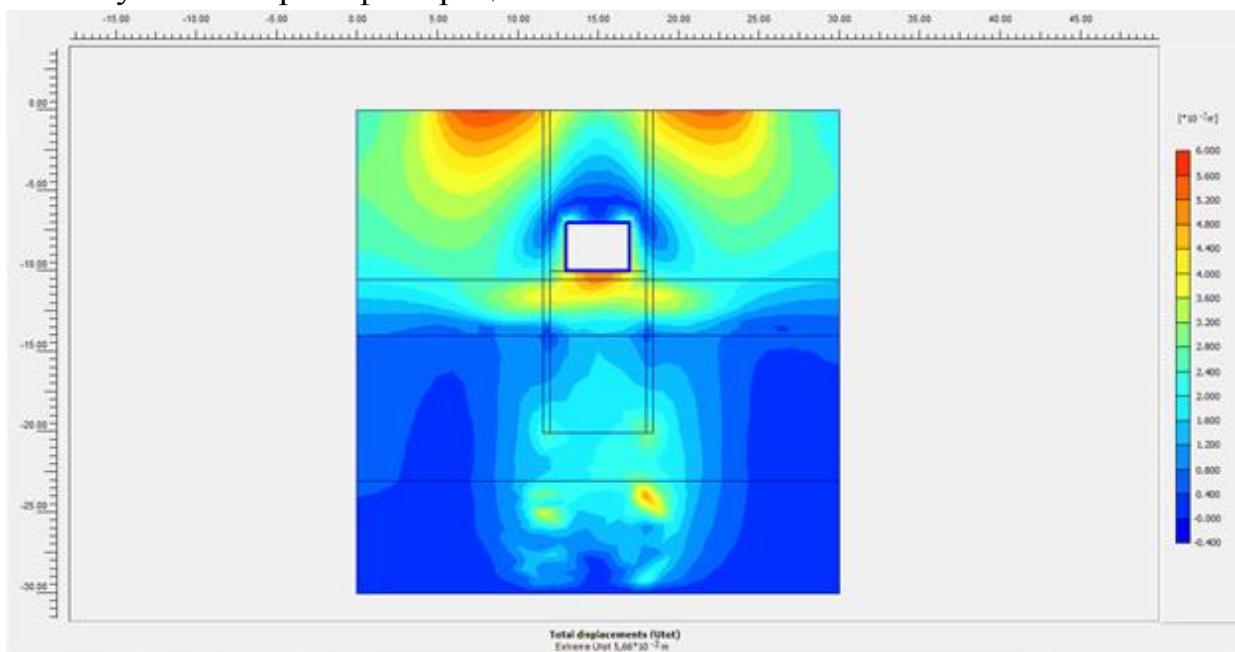


Рисунок 6. - Переміщення взаємодії «споруда-основа» із застосуванням протифільтраційної завіси



Як видно на рис. 6 після моделювання масиву з протифільтраційною завісою в місцях залягання торфу виникають найбільші навантаження, що можуть призвести до руйнування споруди. Просідання основи відбулося на 5,6 мм.

На наступному етапі моделювання застосовується комбінація інженерних заходів для підсилення основи підземної споруди, а саме бетонних паль і протифільтраційної завіси. Основне призначення протифільтраційної завіси — зниження фільтраційного тиску на споруду.

Залежно від роду ґрунту і його інженерно-геологічних властивостей для пристрою протифільтраційної завіси застосовують цементацію, гарячу і холодну бітумізацію, глинизацію. Такий спосіб може бути доцільним у використанні при водонасичених ґрунтах та складних інженерно-геологічних умовах. В цьому експерименті протифільтраційна завіса влаштовується на глибину 20 м, а палі на 8 м від відмітки днища споруди. Схема розрахунку наведена на рис.8.

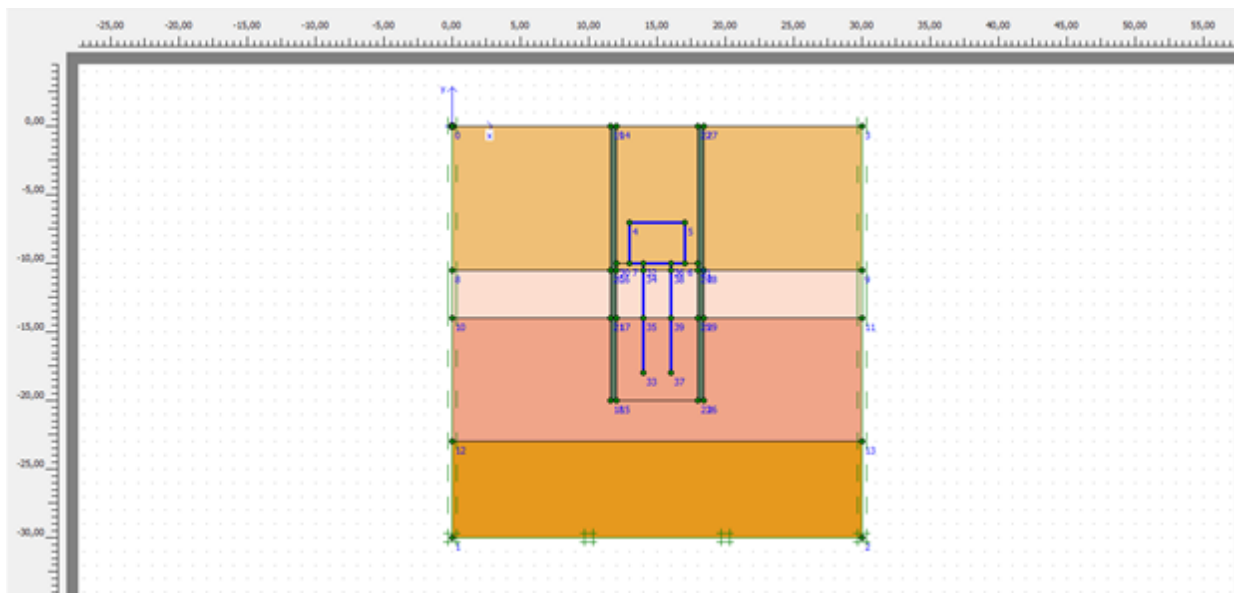


Рисунок 8 - Розрахункова схема взаємодії «споруда-основа» із застосуванням протифільтраційної завіси та бетонних паль.

За результатами моделювання розрахункової схеми з протифільтраційною завісою і бетонними палями можна побачити, що просідання основи в цьому випадку становить 4,01 мм (рис.9).

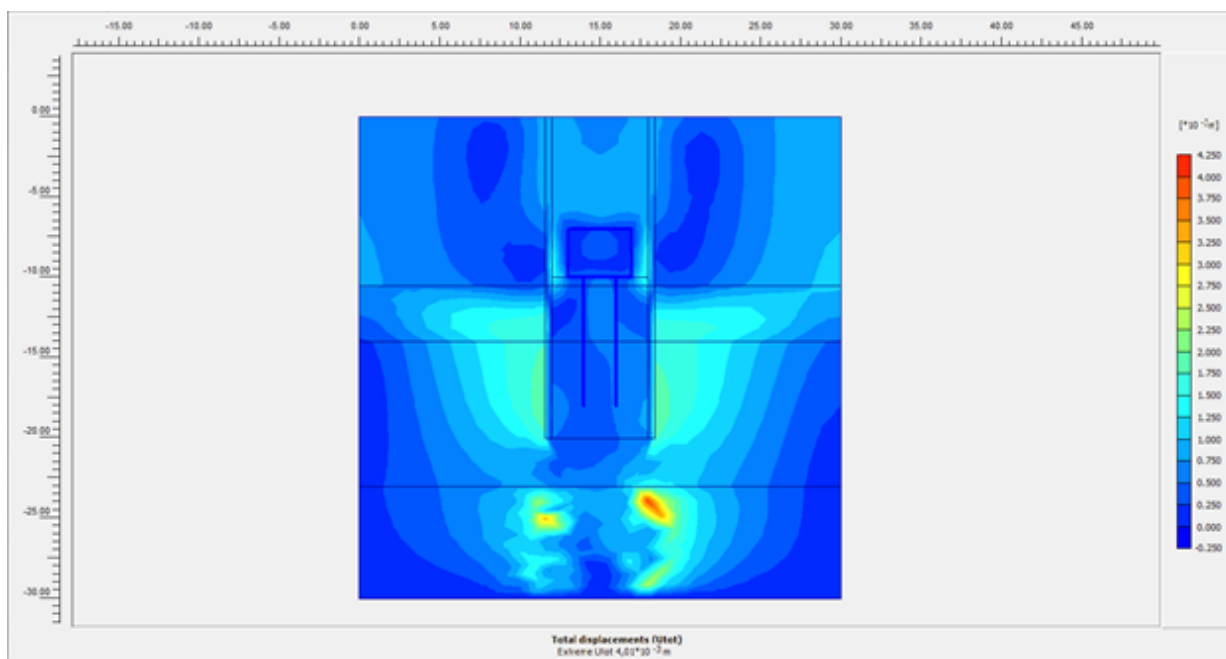


Рисунок 9 - Переміщення взаємодії «споруда-основа» із застосуванням протифільтраційної завіси і бетонних паль

В порівнянні з початковими результатами просідання підземної споруди зменшилося на 47,3%. Звідси можна зробити висновок, що використання комбінованого методу із бетонних паль та протифільтраційної завіси для підсилення підземних споруд є доцільним в складних інженерно-геологічних умовах з просадочними підстиляючими ґрунтами.

У **четвертому розділі** була проведена роботи з оцінки існуючих спеціальних інженерних заходів для підсилення основ підземних споруд.

Силікатизація – спосіб, що базується на застосуванні неорганічних високомолекулярних з'єднань – силікатних розчинів і їх похідних, які при з'єднанні з коагулянтном створюють гель кремневої кислоти, цементуючої частинки ґрунта. Для закріплення піщаних ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації від 2 до 80 м/добу застосовується 2-х розпірний спосіб силікатизації.

Смолизація – спосіб, що базується на використанні високомолекулярних органічних сполук типу карбонідних, що нагнітаються

в піщаний ґрунт з коефіцієнтом фільтрації від 0,5 до 5 м/добу у вигляді водяних розчинів з домішками кислот-коагулянтів.

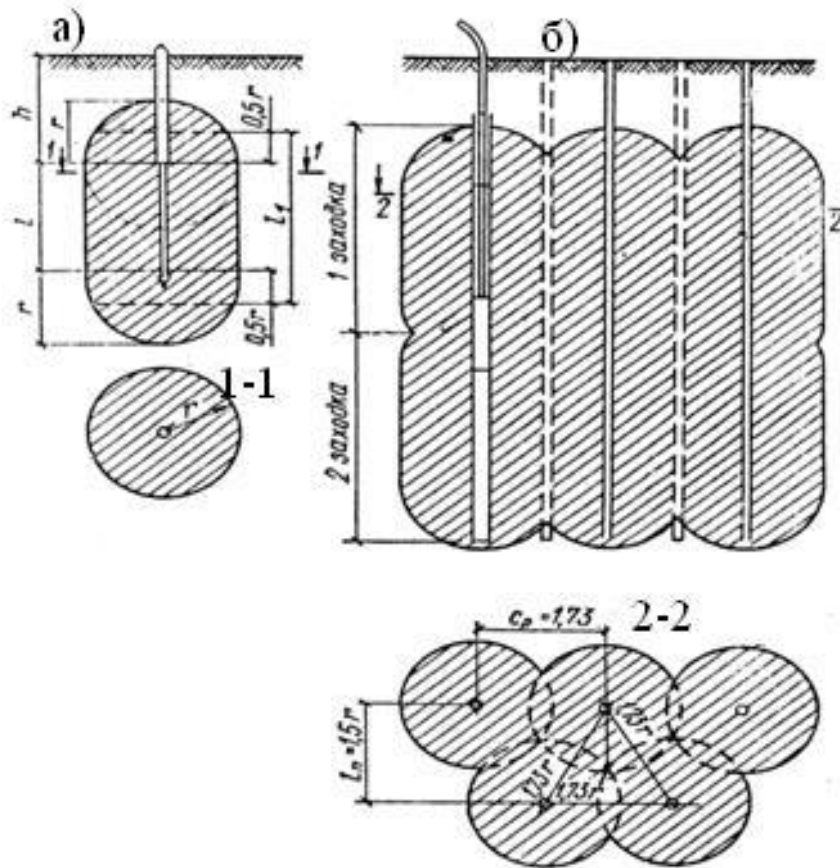


Рисунок 10 - Схема розміщення ін'єкторів і типи масиву ґрунту закріпленого: а – одиночною ін'єкцією; б – на глибину 2-х заходок при шахматному порядку.

Цементация і глинизация просадочних ґрунтів, а також піщаних ґрунтів здійснюється шляхом нагнітання в свердловинах розчину.

Цементация та глинизация просадних ґрунтів представляє собою примусове впровадження в породу тампонажних розчинів, що утворюють на протязі часу щільний цементний, або цементно-глинястий камінь, що заповнює тріщини і порожнечі в ґрунтах. Розчин вводять в ґрунт через пробурені в ньому свердловини ін'єкційним методом під тиском від 1 до 20 Атм і більше.

Після аналізу було визначено, що найкращим інженерним заходом для підсилення основ споруд на слабких підстиляючих ґрунтах є цементация.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Практика наміву піску на заплавних територіях показує, що найчастіше під намитими пісками залишаються структурно-нестійкі ґрунти, у яких при додаткових зовнішніх впливах (механічних і фізичних порушується структурна міцність і вони дають великі місцеві деформації (опади або просадки), що викликають нерівномірні осідання будівель і споруд.

2. Гідромеханізований спосіб наміву заплавних територій є одним з ефективних і високопродуктивних способів отримання штучних підстав для будівництва підземних споруд.

3. Перед проектуванням будівель і споруд на намитих пісках зі слабкими підстилаючими ґрунтами повинні бути обрані раціональні види конструкцій фундаментів. При виборі конструкції фундаментів повинні бути враховані інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови будівельного майданчика і особливості нашарування слабких підстильних ґрунтів під намитими пісками.

4. Напружений стан ґрунтових основ підземних споруд в разі перевищення граничної величини міцності або опору  $R_{zp}$  ґрунтів, які були прийняті як основи для даної споруди, викликає деформування самої споруди або конструкцій допоміжних об'єктів знаходяться в глибині ґрунтового масиву.

5. З метою полегшення визначення напруженого стану основ можна приймати одну функцію  $E_{pi}$ , яка складається з рядів статичної тригонометричної функції, де рішення вважається відомим.

## АНОТАЦІЯ

### **Охріменко В. І. Напружено-деформований стан основ підземних споруд і способи їх підсилення. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 8.0503103 – Шахтне і підземне будівництво. - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дисертація присвячена оцінці напружено-деформованого стану основ підземних споруд на слабких підстилаючих ґрунтах.

Практика наміву піску на заплавах територіях показує, що найчастіше під намитими пісками залишаються структурно-нестійкі ґрунти, у яких при додаткових зовнішніх впливах (механічних і фізичних) порушується структурна міцність і вони дають великі місцеві деформації (опадання або просадки), що викликають нерівномірні осідання будівель і споруд.

Напружений стан ґрунтових основ підземних споруд в разі перевищення граничної величини міцності або опору  $R_{гр}$  ґрунтів, які були прийняті як основи для даної споруди, викликає деформування самої споруди або конструкцій допоміжних об'єктів знаходяться в глибині ґрунтового масиву.

Встановлено, що в порівнянні з початковими результатами просідання підземної споруди застосування комбінованого способу зменшує переміщення на 47,3%.