


# Дипломна робота

На тему:

Використання ґрунтоцементних паль в якості фундаментів житлових будівель

Виконав Вінярський М.Д.

Керівник Меть І.М.



**Метою роботи** є опрацювання методики оцінювання напружено-деформованого стану "армована основа – фундамент" за допомогою рішень пружнопластичної задачі нелінійної механіки ґрунтів.

**Об'єкт досліджень** - основи фундаментів будинків, армованих ГЦЕ, котрі виготовляються за бурозмішувальною технологією.

**Предмет досліджень** - НДС системи "армована основа – фундамент", властивості ґрунтоцементних елементів, виготовлених за бурозмішувальною технологією.



Види цементации за способом подавання цементу в ґрунт

**Під експлуатаційними властивостями ґрунтоцементу, що застосовується в будівництві, потрібно розуміти:**

а) механічні характеристики, які характеризуються границею міцності при стиску, опором зрушенню, модулем деформації, опором стиранню чи удару;

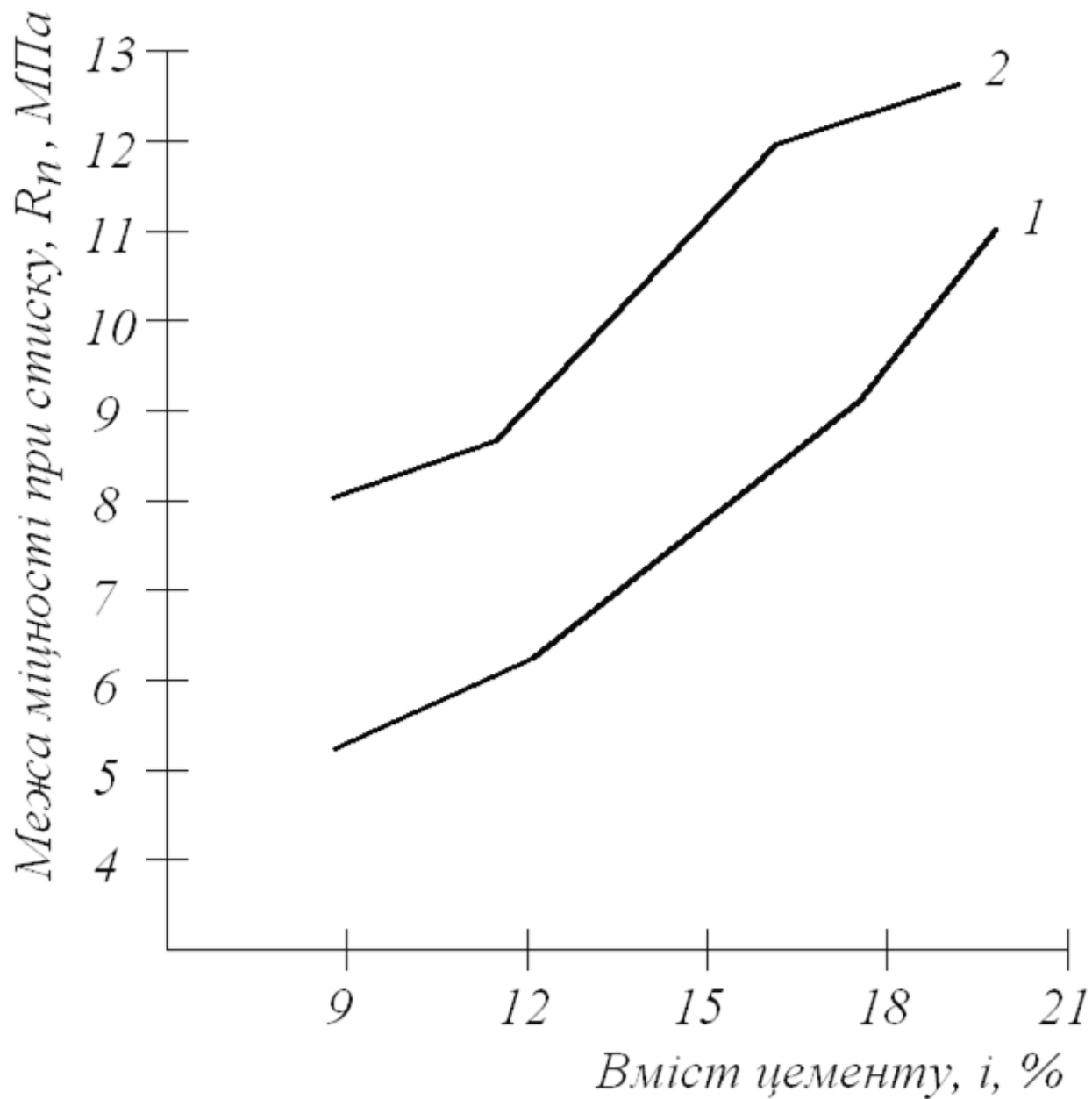
б) водостійкість, при якій не тільки не проходить розмокання у воді, але й зберігаються механічні характеристики, хоча і з декілька меншими числовими значеннями;

в) морозостійкість та температурна стійкість, що слугує показником довговічності ґрунтоцементу.

Склад і властивості	Ступінь придатності			
	Найбільш придатні	Придатні	Малопридатні	Непридатні
Мінералогічний склад	В тонко дисперсній частині ґрунту переважає каолінит, монтморилоніт або гідрослюди, які містяться у відносно невеликій кількості. В піщаних та пілуватих фракціях переважає кварц.	В тонко дисперсній частині ґрунту вміст мінералів монтмори-лоніта дорівнює або переважає вміст інших мінералів. Каолінит також може бути присутній в помітній кількості.	В тонко дисперсній частині ґрунту мінерали групи монтморилоніту та гідрослюди переважають над вмістом інших мінералів.	Велика перевага мінералів групи монтморилоніту. Інші мінерали містяться в невеликій кількості.
Гранулометричний склад	Піщано-глинисті суміші оптимального складу, середні та важкі супіски.	Супіски: пілуваті супіски, пілуваті ґрунти, суглинки та пілуваті суглинки.	Важкі суглинки та піски.	Жирні глини.
Ємність обміну та склад обмінних катіонів.	5-15 мг/екв на 100 г ґрунту. Переважає кальцій.	5-40 мг/екв на 100 г. Переважає кальцій.	70-40 або >5 мг/екв на 100 г ґрунту. Великий вміст об'ємного водню та алюмінію або натрію при малому вмісті кальцію та магнію.	>70 мг/екв на 100 г ґрунту.
Вміст карбонатів кальцію	CaCO <sub>3</sub> міститься 2-10%, гіпсу до 2%	Карбонатів кальцію до 15%, гіпсу до 3%	гіпсу до 10%	Не регламентується
Вміст легкорозчинних солей.	Не більше 1% хлористих солей.	Не більше №% хлористих та 1% сірчаноокислих солей.	Не більше 5% хлористих та 2% сірчаноокислих солей.	Більше 5% хлористих та 2% сірчаноокислих солей.
pH	6,5-8	5-8	4,5-5; 8-10	<4; >10
Наявність мікроструктури	Добре виражена водомірна щільна мікроструктура.	Мікроструктура не завжди володіє водостійкістю.	Мікроструктура слабо виражена та не володіє міцністю або взагалі відсутня.	

Класифікація ґрунтів за ступенем придатності їх для закріплення цементом

Грунт, %.	Домішки, %			Межа міцності при стиску, Мпа	Грунт, %.	Домішки, %			Межа міцності при стиску, Мпа
	Пісок	Цемент М 250	Ca(OH) <sub>2</sub>			Пісок	Цемент М 250	Ca(OH) <sub>2</sub>	
100	-	15	0	6,4	70	30	15	0	8,9
			1	7				1	9,9
			2	7,4				2	11,5
			3	8,2				3	11,9
			4	9,7				4	10,9
			5	8,9				5	9,5
90	10	15	0	7,2	60	40	15	0	8,1
			1	8,6				1	8,3
			2	10,6				2	9,4
			3	11,5				3	10,1
			4	10,8				4	9,9
			5	8,7				5	7,6
80	20	15	0	8,8	Вплив піскування глинистого ґрунту при постійному вмісті цементу				
			1	10,1					
			2	10,8					
			3	11,5					
			4	10,2					
			5	8,7					



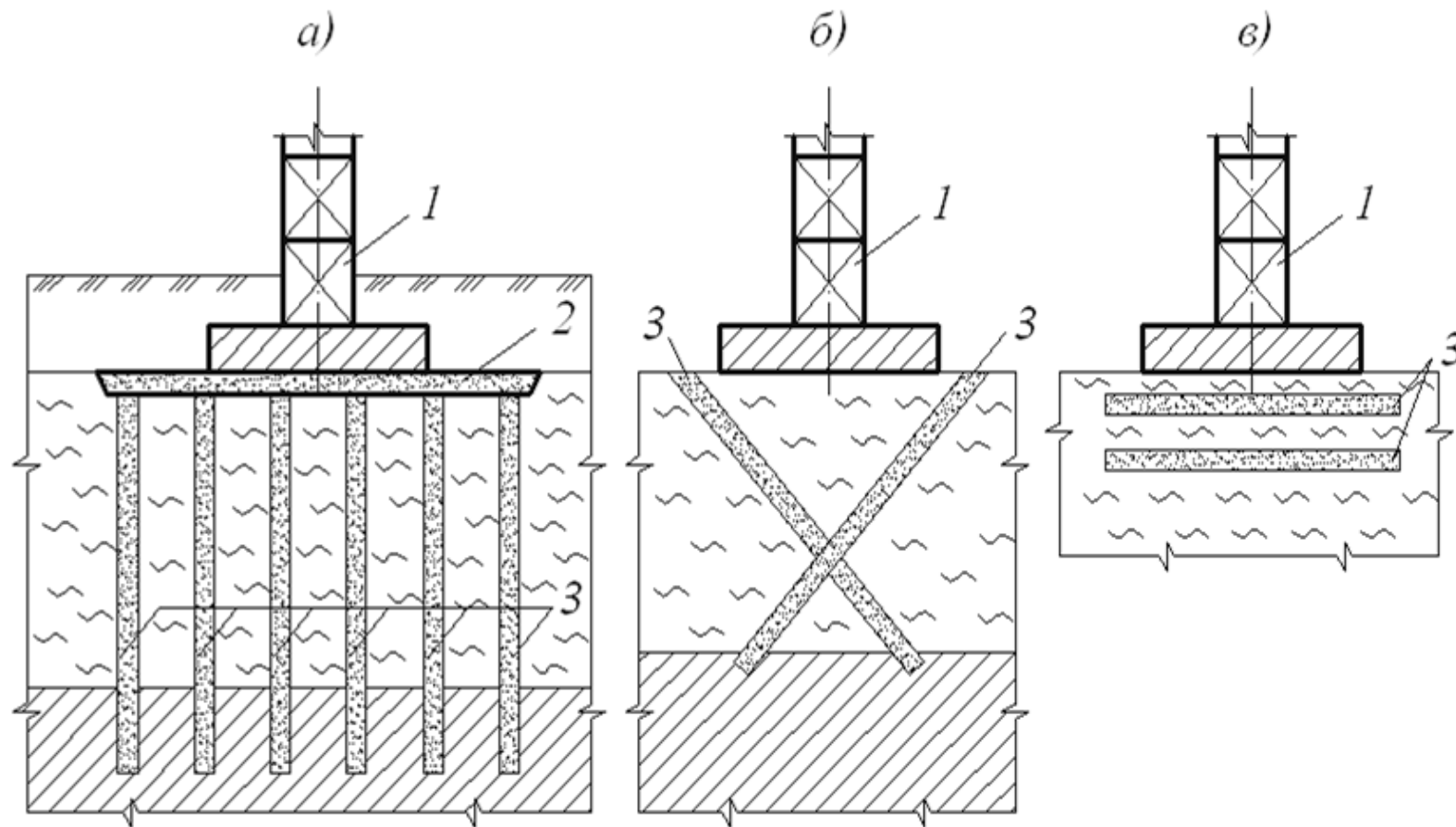
Вплив дозування цементу на міцність при стиску.

Ґрунт – лесований суглинок.

Портландцемент „314”. Ущільнення зразків 2 МПа.

Нормальновологісне зберігання у віці:

1 – 28 днів, 2 – 90 днів



Варіанти підсилення основи ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ):

а - армування вертикальними ГЦЕ;

б - підсилення існуючого фундаменту похилими ГЦЕ;

в - підсилення існуючого фундаменту горизонтальними ГЦЕ:

1 - фундаментні блоки; 2 - подушка; 3 - ґрунтоцементний елемент

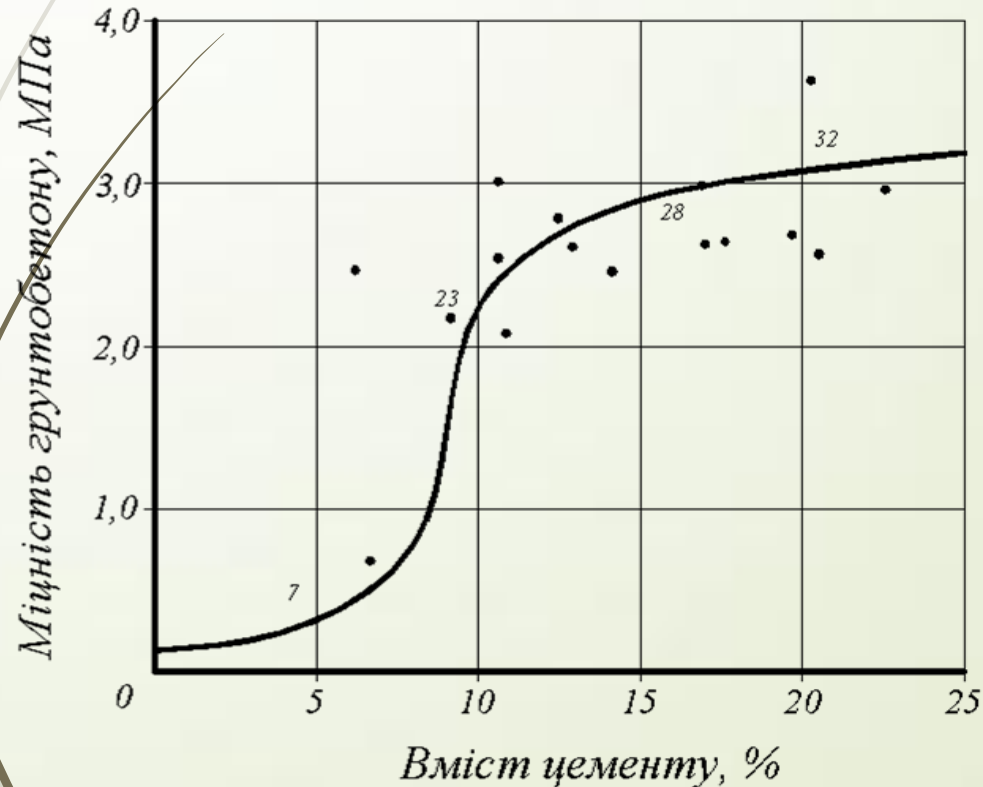


# Основні принципи проектування ґрунтоцементних паль і елементів армування ґрунтів

Розрахунковий опір палі за матеріалом визначають за формулою:

$$P_{ст} = K_M R_M^H A$$

де:  $R_M^H$  нормативний опір ґрунтоцементу стисненню, визначається за графіком



Нормативний опір ґрунтобетону палі при стиску в залежності від вмісту цементу

Для визначення розрахункового опору палі за ґрунтом, користуються формулою

$$P = km(R^H \cdot A + u \sum f_i^H \cdot l_i)$$

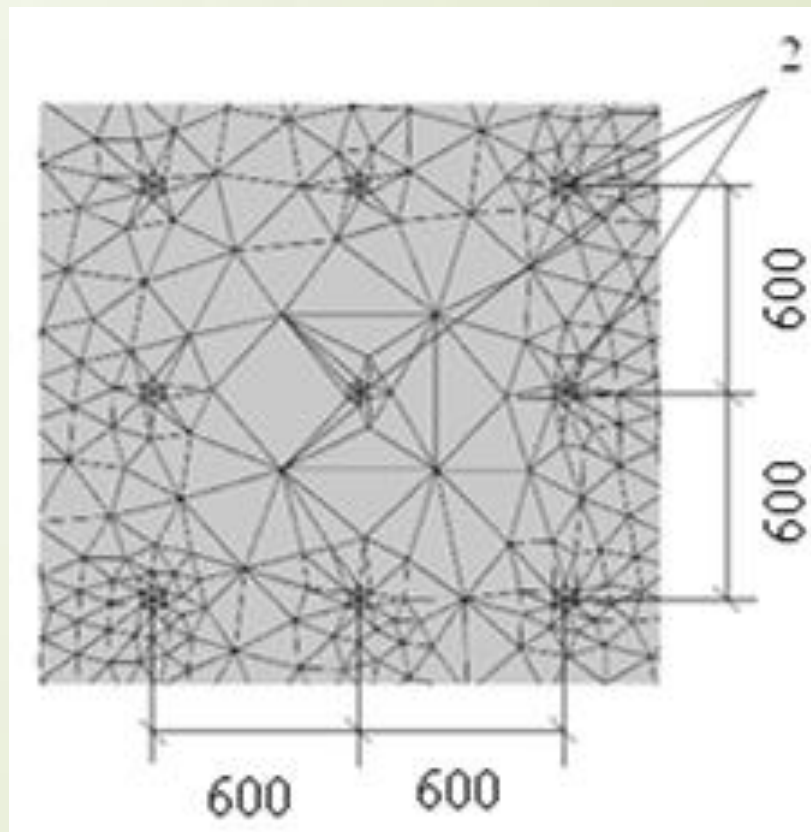
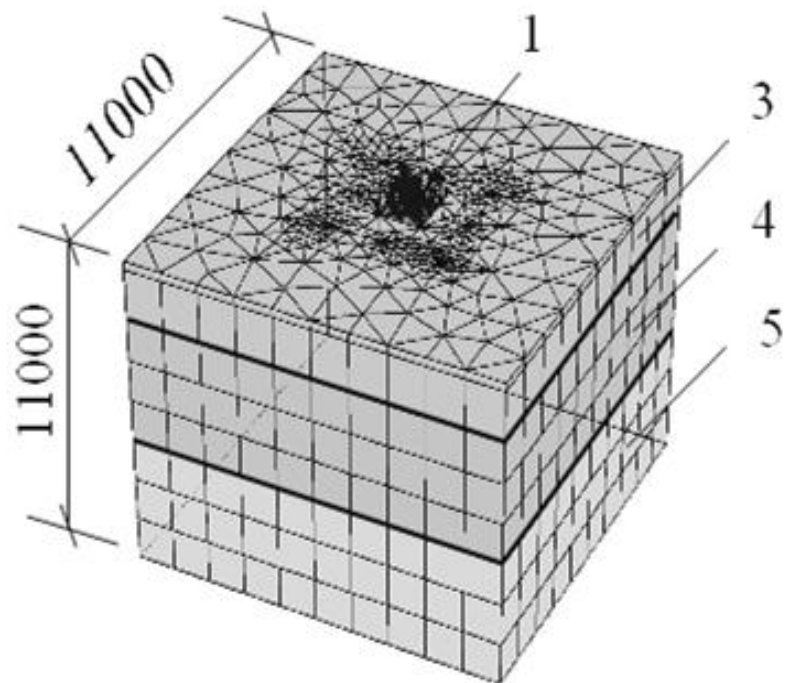
$R^H$  - нормативний опір ґрунту основи під опорною частиною палі, визначається за формулою

$$R^H = (Ab + Bh)\gamma_0 + Dc$$

$f_i^H$  - середній нормативний опір тертя  $i$ -го шару ґрунту за стовбуром палі, визначається за формулою

$$f_i^H = \sigma_i \operatorname{tg} \varphi + c$$

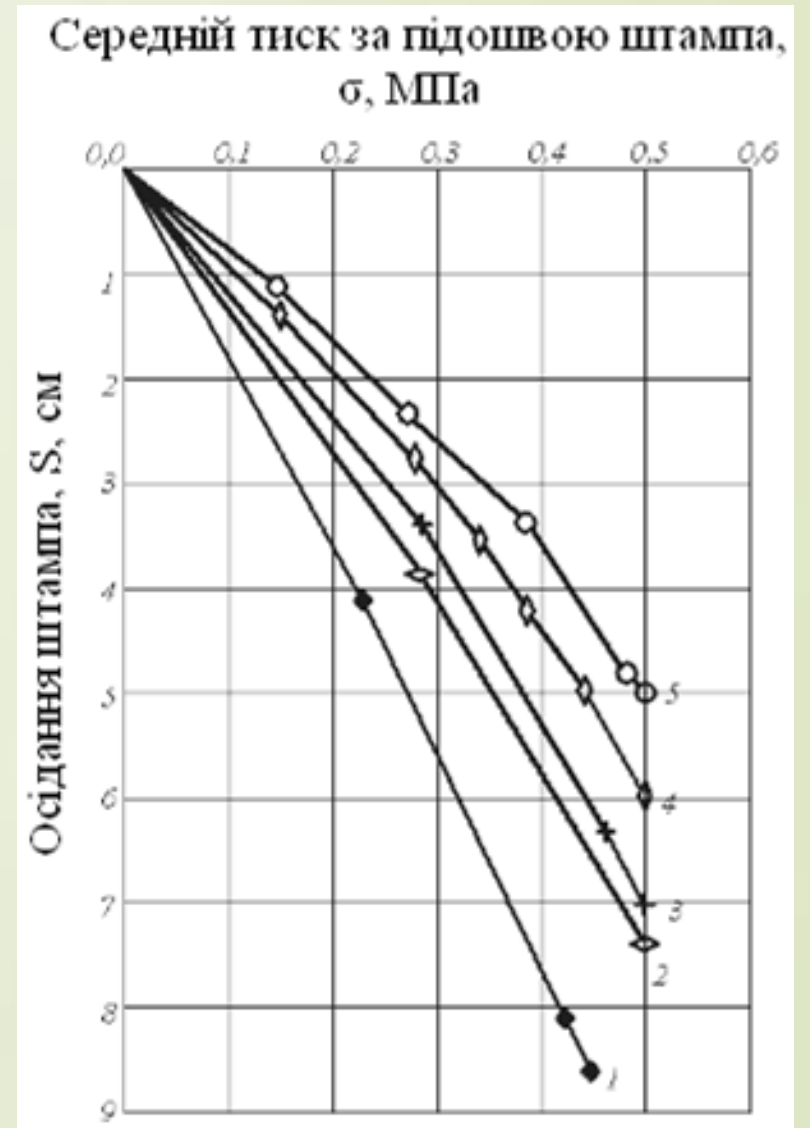
## Розрахункові дослідження армованої основи



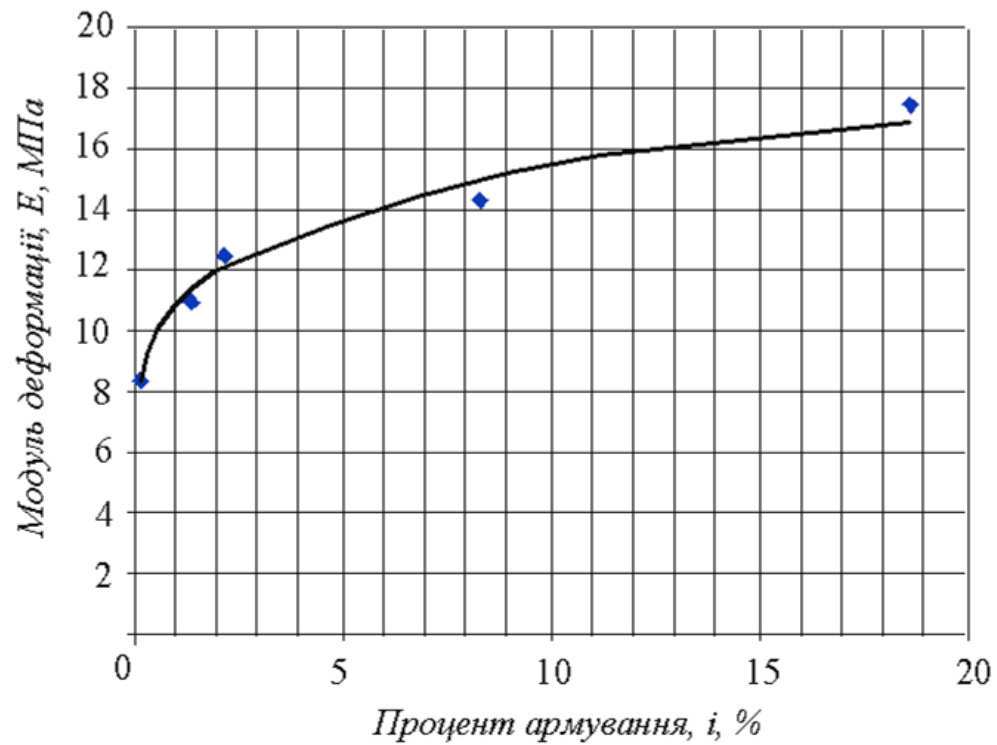
Розрахункова схема: а) схема навантаження основи; б) сітка скінченних елементів:  
1 – штамп; 2 – елементи армування; 3 – суглинок твердий (ІГЕ-1); 4 – суглинок тугопластичний (ІГЕ-2); 5 – суглинок напівтвердий(ІГЕ-3)

## Параметри армованої основи за даними моделювання

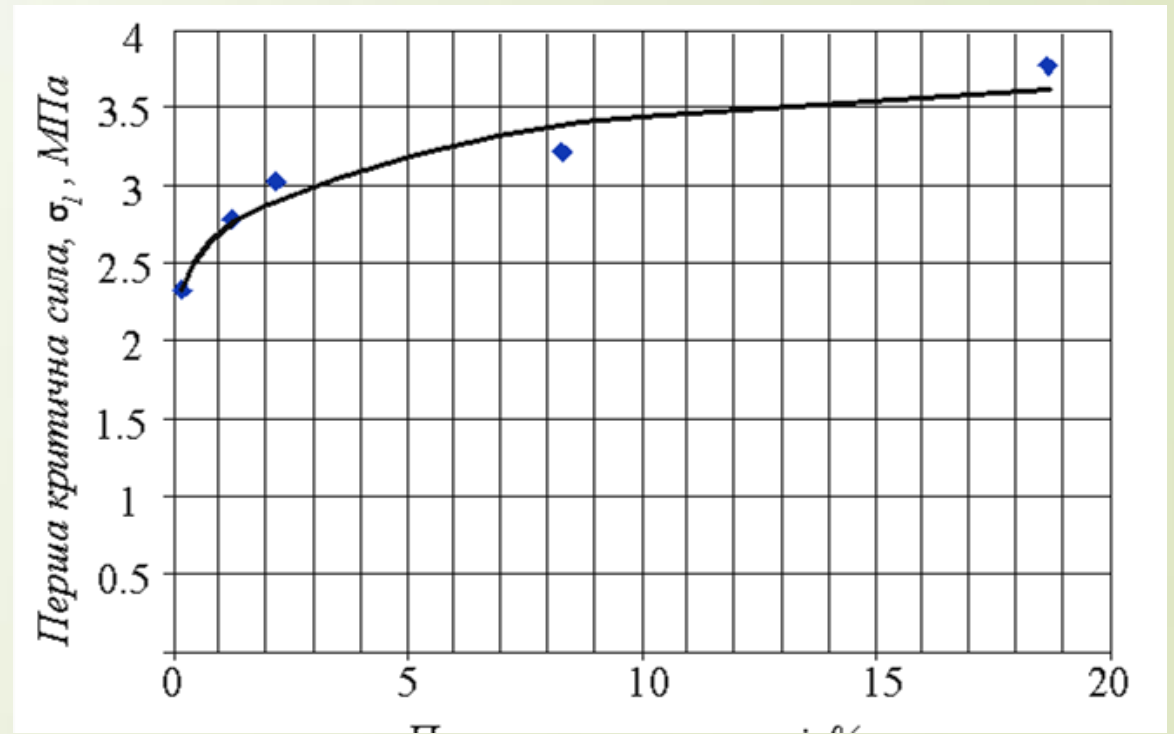
Параметри основи	Відстань між елементами армування ґрунту відносно їх діаметра D				
	Відсутні	8D	6D	3D	2D
$i, \%$ армування	0	1,2	2,1	8,3	18,8
E, МПа	8	10,9	12,4	14,2	17,4
$\sigma_1$	2,5	2,8	3	3,1	3,8



Результати моделювання штампових  
випробувань при відстані між елементами  
армування: 1 – відсутні; 2 – 8D; 3 – 6D; 4 – 3D;  
5 – 2D



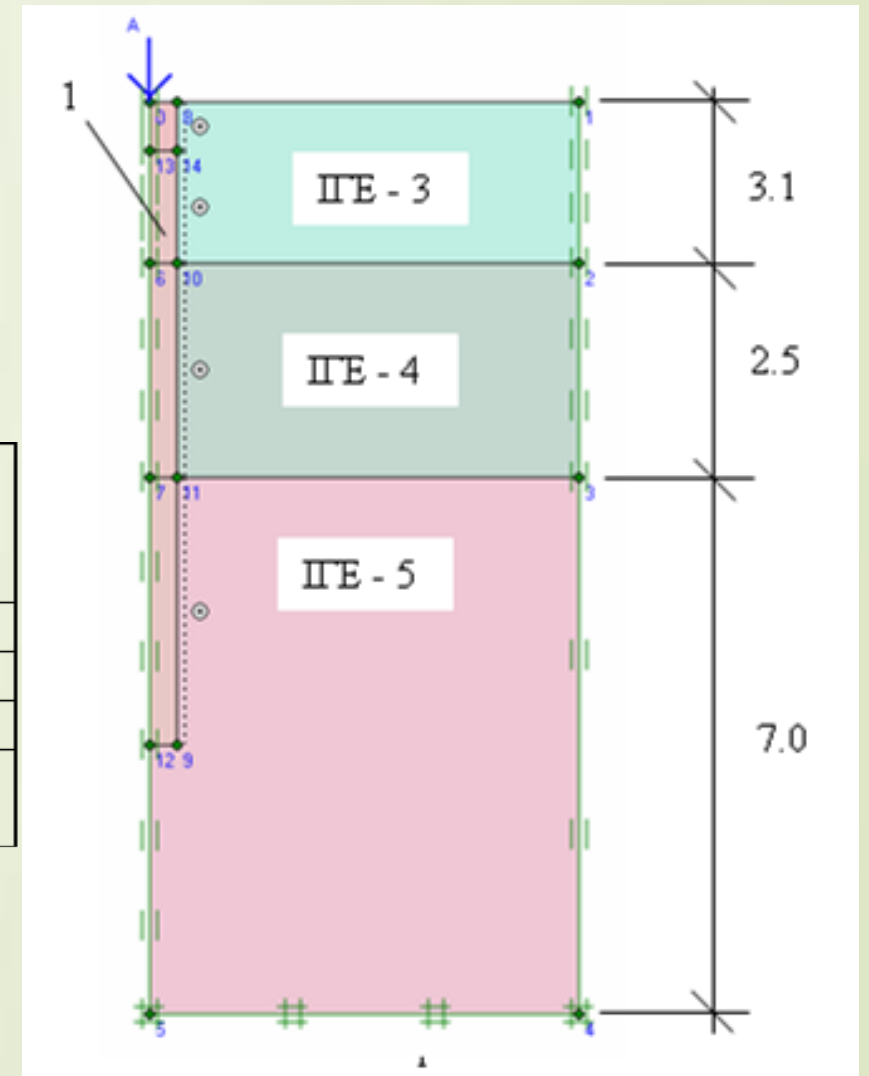
Графік залежності між процентом армування ґрунту,  $i$ , та модулем деформації армованої основи  $E$



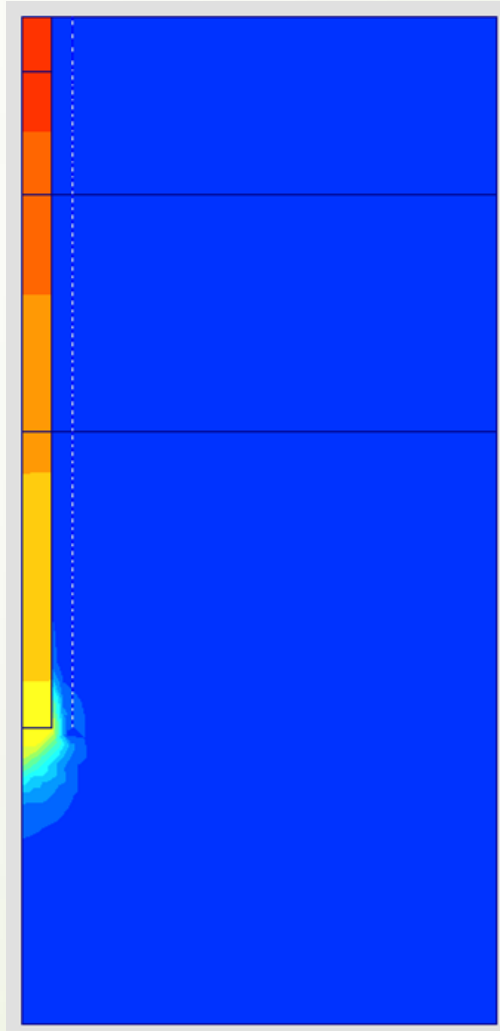
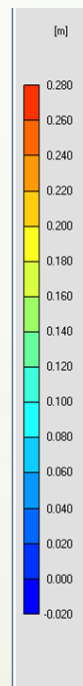
Графік залежності між процентом армування ґрунту  $i$  та першою критичною силою армованої основи  $\sigma_1$

Характеристики ґрунтів і ґрунтоцементу, які були прийняті при моделюванні

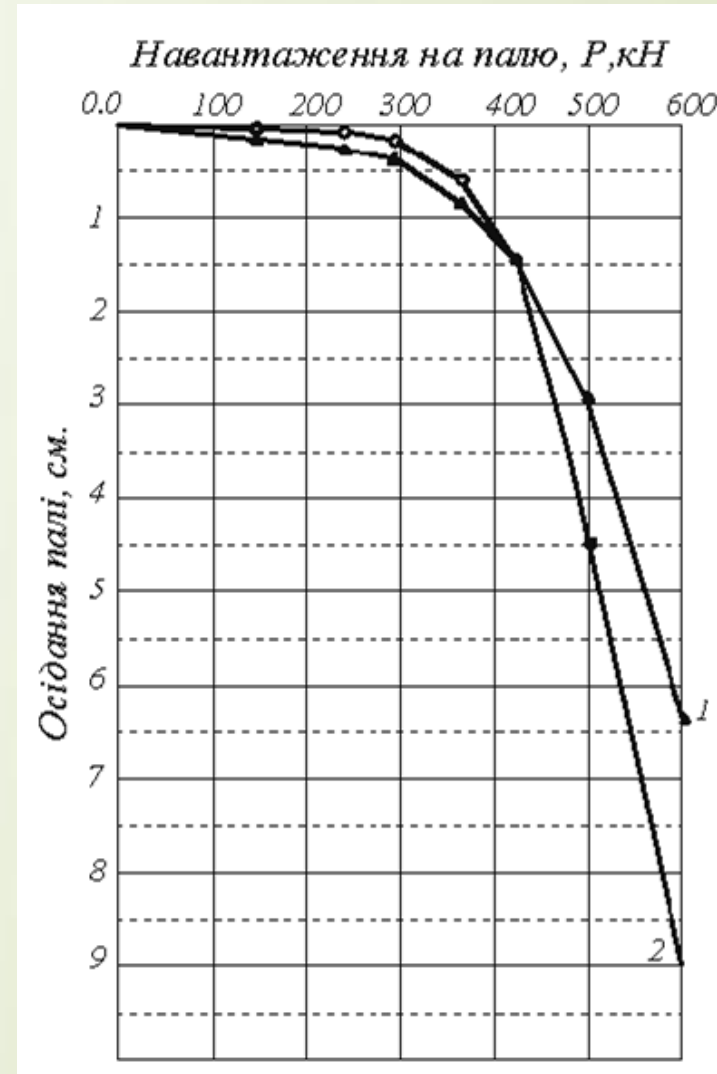
Назви шарів	Питома вага $\gamma, \text{кН} / \text{м}^3$	Модуль деформації $E, \text{МПа}$	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$	Питоме зчеплення $c, \text{кН} / \text{м}^2$	Кут внутрішнього тертя, $\varphi^0$
ПЕ - 3	18	7	0,35	2	13
ПЕ - 4	19	12	0,35	3	13
ПЕ - 5	20	21	0,35	3	17
Ґрунтоцемент	18	100	0,2	-	-



Розрахункова схема до моделювання ґрунтоцементної палі



Ізополя переміщень ґрунтоцементної палі



Графік осідання палі:  
1 – графік отриманий в результаті польових випробувань палей;  
2 – отриманий за допомогою моделювання



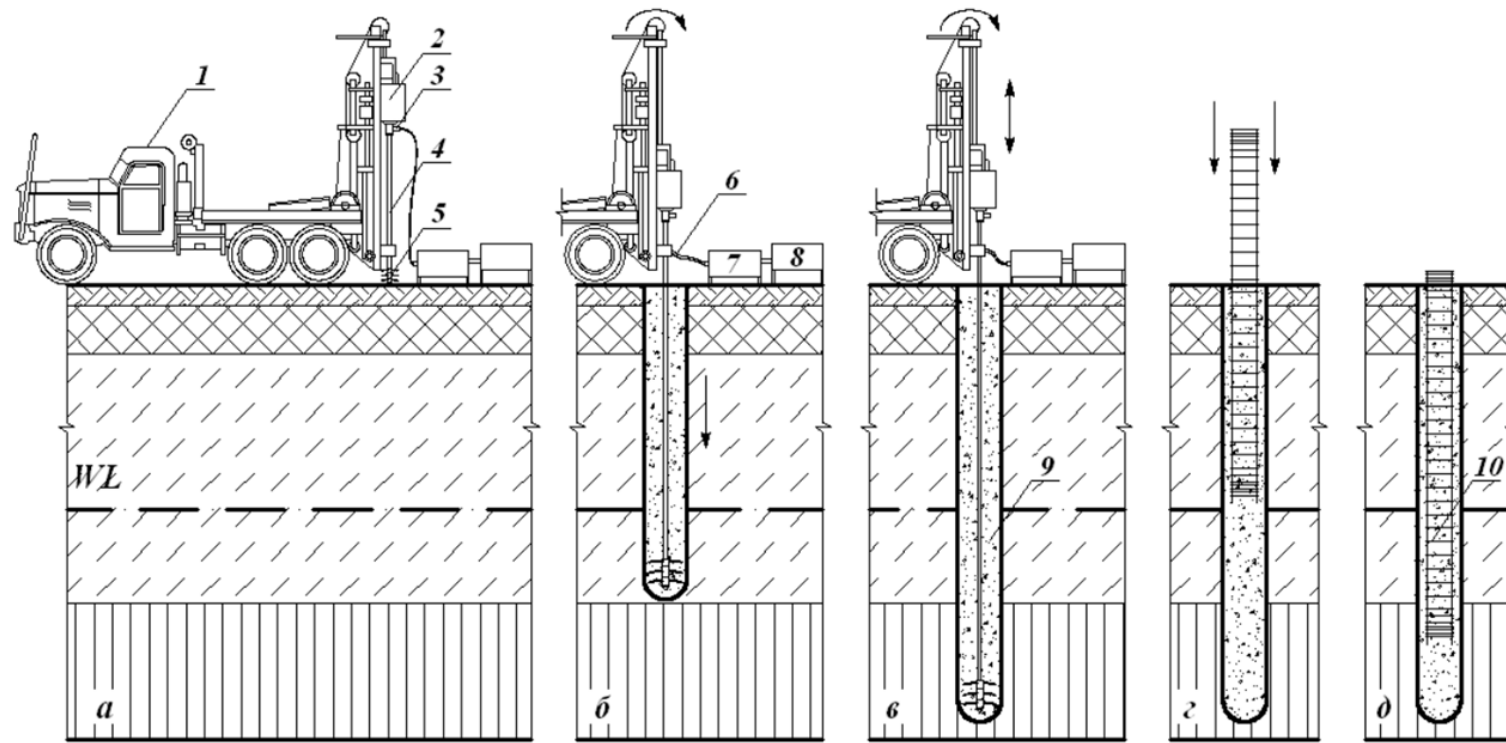


Рис. 1.1 – Схема виготовлення ґрунтоцементних паль за бурозмішувальним методом: а – буре обладнання; б – розпушування ґрунту з нагнітанням водоцементного розчину; в – перемішування суміші; г – встановлення арматурного каркасу; д – загальний вигляд ґрунтоцементної палі; 1 – автомобіль із буровим станком; 2 – силовий привід; 3 – вертлюг; 4 – бурова труба; 5 – ріжучий інструмент; 6 – напірний рукав для подачі водоцементного розчину; 7 – буровий насос; 8 – розчинозмішувач; 9 – ґрунтоцементний елемент; 10 – ґрунтоцементна палія

Бурозмішувальний метод виготовлення ґрунтоцементних паль полягає в тому, що за допомогою спеціальної бурозмішувальної установки долотом-бурозмішувачем ґрунт розпушують, просочують водоцементною суспензією і перемішують до однорідного стану ґрунтоцементної суміші (рис. 1.1).

Процес починають з відмітки дна котловану і виконують до проектної глибини. Свердловина за діаметром долота на усіх етапах виготовлення палі заповнена рухливою ґрунтоцементною сумішшю, яка надійно забезпечує стійкість стінок свердловини у нестійких ґрунтах, у т. ч. у мулах і пливунах [37].



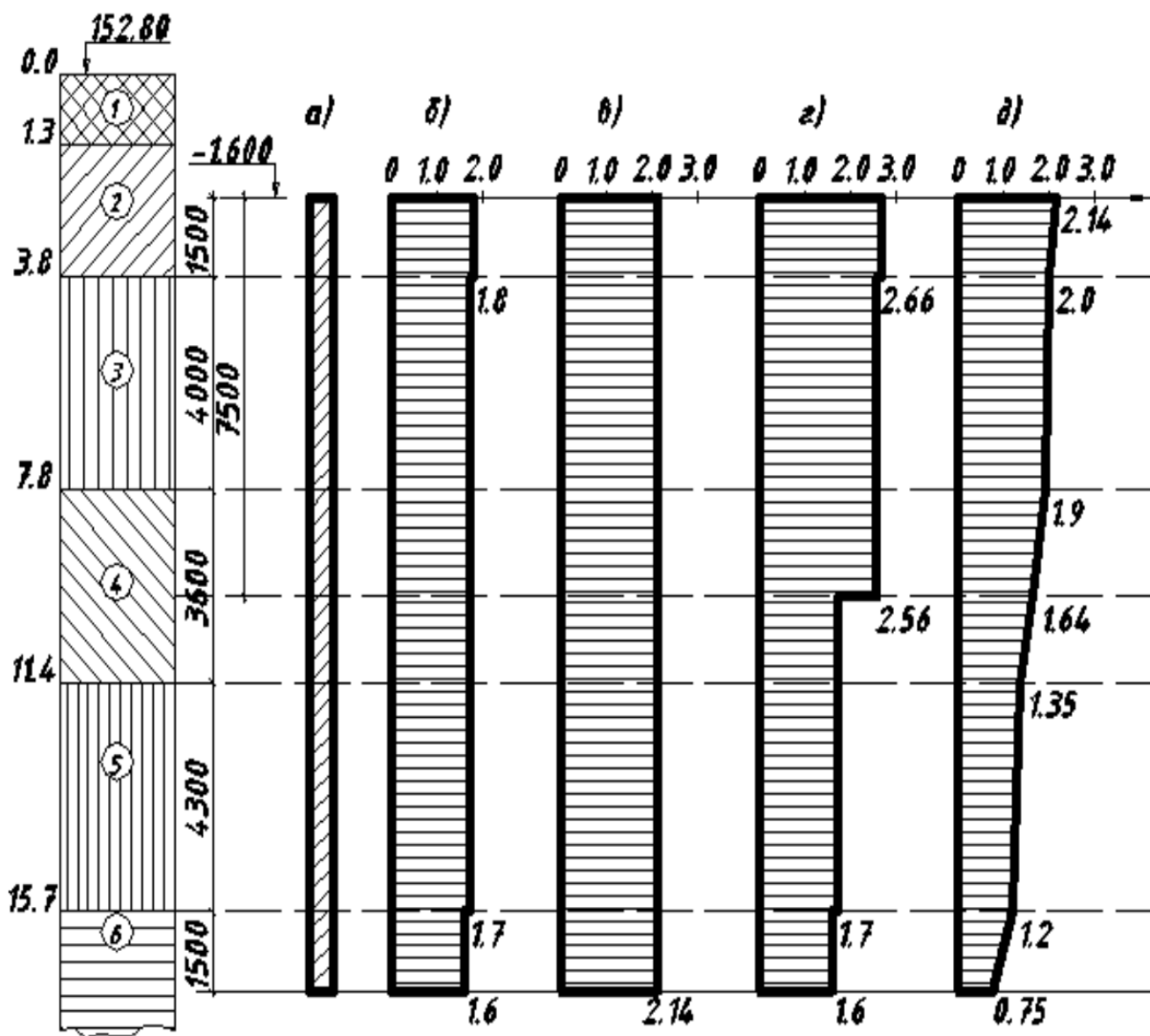


Рис. 3.19 – Епюри тисків у тілі ґрунтоцементної палі: а – паля; б – розрахунковий опір  $R_p$  ґрунтоцементу на стиск; в – тиск у палі від фактичного  $\sigma$  навантаження; г – розрахунковий опір на стиск армованого ґрунтоцементу  $R_p^a$ ; д – тиск у стовбурі з урахуванням тертя за бічною поверхнею

На рис. 3.19 наведено епюри напружень, які виникають у матеріалі ґрунтоцементної палі. Епюру б побудовано за даними інженерно-геологічних досліджень, у процесі яких досліджували ґрунтоцемент з кожного шару ґрунту на міцність. Епюра в характеризує напруження у матеріалі палі від розрахункового навантаження на неї. Ці напруження для усіх шарів палі склали  $\sigma = 2,14$  МПа, що більше ніж несуча здатність ґрунтоцементу (епюра б). Отже, слід підвищити несучу здатність ґрунтоцементу палі шляхом її армування сталевим круглим просторовим каркасом діаметром 350 мм з 6 стрижнів діаметром 10 мм АШ на глибину 7,5 м. Армування ґрунтоцементу глибше 7,5 м пов'язано зі значними складностями по зануренню просторового каркасу у рідку ґрунтоцементну суміш. З урахуванням армування ґрунтоцементу несуча здатність матеріалу палі за її довжиною представлена на епюрі г. Коли урахувати тертя ґрунту за бічною поверхнею палі, то можливо знизити напруження її матеріалу. На епюрі д показані реально діючі напруження в армованій на глибину 7,5 м ґрунтоцементній палі. Ці напруження за усією довжиною палі менші ніж ті, що показані на епюрі г (несучої здатності матеріалу палі з урахуванням армування її верхньої частини).



На підставі проведених досліджень і впроваджень бурових ґрунтоцементних палей, які виготовляють за бурозмішувальною технологією можливо зробити такі висновки.

1. Бурові монолітні палі витісняють з будівельного ринку Світу збірні палі завдяки їх економічності та зручності технології виготовлення безпосередньо на будівельному майданчику. Але у нестійких ґрунтах влаштування бурових палей додатково потребує проведення буріння під захистом обсадних труб або бурового розчину. Ці заходи збільшують вартість будівництва і його термін.

2. З розвитком бурозмішувального методу проведення цементації дисперсних ґрунтів отримали розповсюдження ґрунтоцементні палі. Матеріалом для їх виготовлення слугують ґрунт майданчика будівництва, цемент, вода. Спеціальним долотом з поверхні дна котловану ґрунт основи в межах площі долота розпушують, просочують водоцементною суспензією і перемішують до стану рухливої однорідної ґрунтоцементної суміші. За необхідності в рухливу суміш занурюють просторовий каркас сталевий арматури. Наявність рухливої ґрунтоцементної суміші однозначно забезпечує стійкість стінок свердловини у будь-яких ґрунтах, в тому числі пливунах. Внаслідок тужавіння ґрунтоцементної суміші утворюється ґрунтоцементна палля проектного діаметру та глибини закладення.





3. Світовий досвід використання бурозмішувального методу цементациї дисперсних ґрунтів показав, що при цьому існує складність ущільнення ґрунтоцементної суміші і високе її водоцементне відношення (особливо нижче рівня ґрунтових вод  $V/C > 1,5$ ). Цей факт привод до того, що значна частина води суміші є зайвою в процесі гідратації цементу і утворює його додаткову пористість. Таке явище значно знижує міцність ґрунтоцементу, що призводить до зниження несучої здатності ґрунтоцементних паль за матеріалом. У багатьох випадках несуча здатність такої палі за ґрунтом значно вища ніж за матеріалом. Це знижує ефективність ґрунтоцементних паль і потребує додаткових заходів при виготовленні таких паль.

4. За результатами лабораторних досліджень фізико механічних характеристик ґрунтоцементу й статичних випробувань ґрунтоцементних паль встановлено що: – при збільшенні вмісту цементу з 5% до 50% механічні характеристики ґрунтоцементу збільшуються за лінійною залежністю; цим самим доведено, що конструктивну міцність ґрунтоцементу можливо регулювати кількістю цементу навіть до повної заміни ґрунту цементним розчином; – експериментально встановлено, що у ґрунтів з меншим вмістом глинистих частинок механічні характеристики вище; тому для виготовлення міцного ґрунтоцементу найбільш ефективними є піщані ґрунти з незначним вмістом глинистих частинок; – доведено, що використання піску і хвостів у якості добавок при виготовленні ґрунтоцементу з глинистого ґрунту, призводить до збільшення його механічних характеристик; використання хвостів у порівнянні з піском, у якості добавки, призводить до більшого зростання механічних характеристик; – шляхом порівняння результатів випробувань армованих і неармованих ґрунтоцементних паль статичним навантаженням, а також результатів математичного моделювання, можна стверджувати, що армування сталевим каркасом дозволяє підвищити несучу здатність ґрунтоцементних паль за матеріалом до величини, яка перевищує значення їх несучої здатності по ґрунту.



5. Експериментально доведено ефект збільшення щільності ґрунтоцементу, який виготовлений з пилюватих глинистих ґрунтів чи з мілких кварцових пісків, внаслідок вібрування рідкої ґрунтоцементної суміші. Встановлено, що існує оптимальна величина інтенсивності вібрування, коли для певного складу ґрунтоцементної суміші досягається максимальне значення його щільності. При більшій інтенсивності вібрування ґрунтоцементна суміш розшаровується. Ефект ущільнення ґрунтоцементної суміші вібруванням виникає за рахунок витиснення з нього води, та бульбашок повітря. При більших значеннях водоцементного відношення відносно збільшення міцності ґрунтоцементу більше. Та зі збільшенням природної вологості ґрунту – міцність ґрунтоцементу падає.

6. За результатами експериментальних досліджень водонепроникності за методом «мокрої плями» і експрес-методом (приладом ВВ-2) ґрунтоцементу з лесового легкого суглинку з додаванням 20% портландцементу М400 від ваги сухого ґрунту при В/Ц = 1, виготовлених за бурозмішувальною технологією без додаткового ущільнення і гідрофобних добавок, вона відповідає марці як для бетонів W14. Випробування ґрунтоцементу, як закріпленого ґрунту, на розм'якливість показали, що він не лише не розмокає у воді, та при цьому ще збільшує свою міцність.

7. Геодезичні спостереження за осіданнями дев'яти-десяти поверхового житлового будинку на армованих ґрунтоцементних палях довжиною 6 м і діаметром 500 мм за умов замкнених лесових основ показали, що як абсолютні осідання всіх секцій будинку, так і відносні нерівномірності осідань цих секцій значно менші за допустиму нормами величину.

8. Проведене, в рамках роботи, економічне порівняння трьох варіантів фундаментів бурових паль різних конструкцій показало економічну ефективність впровадження ґрунтоцементних паль. Вдосконалено існуючу методику визначення витрат енергоресурсів для оцінки енергомісткості будівництва фундаментів з використанням ґрунтоцементу.

