

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень

(рівень вищої освіти)

на тему: Обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення
ґрунтів основ

Виконав: студент II курсу, групи 8.1922-пцб-1
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво

(код і назва освітньої програми)

Дзюзюра Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

в.о. старшого наукового співробітника, к.т.н. Шокарев С.О.

(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

Рецензент

д.т.н., професор Арутюнян І.А.

(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра _____ **Промислового та цивільного будівництва** _____
рівень вищої освіти _____ **другий магістерський рівень** _____
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність _____ **192 "Будівництво та цивільна інженерія"** _____
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма _____ **"Промислове і цивільне будівництво"** _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ПЦБ
_____ проф. Арутюнян І.А.
_____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ /ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Дзюзюра Дмитро Володимирович
(прізвище, ім'я по батькові)

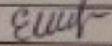





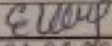
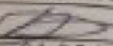
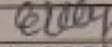
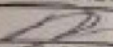
1. Тема роботи (проекту) _____ **Обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення** _____
ґрунтів основ _____

керівник роботи _____ **Шокарев Є.О., к.т.н., в.о. старшого наукового співробітника** _____
(прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "першого" квітня 2023 року №637-С

2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи _____ **Надати огляд існуючих методів підсилення ґрунтів основ** _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Огляд існуючих технологічних рішень підсилення ґрунтів основ. 2 Вибір методу вібро-
динамічного глибинного ущільнення ґрунтів основ. 3 Ущільнення водонасичених ґрунтів основ
попереднім ативуванням зарядів. 4 Ущільнення ґрунтів основ двошасною важкою трамбівкою.
5 Розрахунок пального фундаменту.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
6 аркушів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Огляд існуючих технологічних рішень підсилення ґрунтів основ	Шокарев Є.О.	 01.04.2023	 01.04.2023
2 Вибір методу вібродинамічного глибинного ущільнення ґрунтів основ	Шокарев Є.О.	 01.05.2023	 01.05.2023
3 Ущільнення водонасичених ґрунтів основ послідовним ативуванням зарядів	Шокарев Є.О.	 01.05.2023	 01.05.2023
4 Ущільнення ґрунтів основ двомасною важкою трамбівкою	Шокарев Є.О.	 01.05.2023	 01.05.2023
5 Розрахунок пальового фундаменту	Шокарев Є.О.	 01.05.2023	 01.05.2023

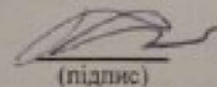
7. Дата видачі завдання

01.04.2023

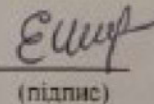
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд існуючих технологічних рішень підсилення ґрунтів основ	01.06.2023	
2	Вибір методу вібродинамічного глибинного ущільнення ґрунтів основ.	01.07.2023	
3	Ущільнення водонасичених ґрунтів основ послідовним ативуванням зарядів	01.08.2023	
4	Ущільнення ґрунтів основ двомасною важкою трамбівкою	01.09.2023	
5	Розрахунок пальового фундаменту.	01.11.2023	

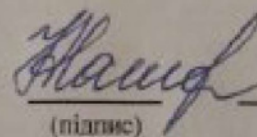
Студент


(підпис)Дзюзюра Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проекту


(підпис)Шокарев Є.О.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено


(підпис)Данкевич Н.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дзюзюра Дмитро Володимирович Обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення ґрунтів основ.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник виконуючий обов'язки старшого наукового співробітника групи дослідження ґрунтів палями, кандидат технічних наук Шокарев Є.О. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Виконано огляд існуючих способів підсилення ґрунтів основ для різноманітних ґрунтових умов та будівельних проектів. Проведено дослідження технологічних та будівельно-технологічних властивостей існуючих способів підсилення ґрунтів основ. Розглянуті шляхи поліпшення якості підготовки ґрунтів основ, підвищення швидкості будівництва, зниження трудомісткості процесу та собівартості виконання робіт з підготовки ґрунтів основ.

Ключові слова: ґрунт, основа, підсилення, палі, тромбівка, ущільнення, вібрація, закріплення.

Список публікацій магістранта:

Дзюзюра Д.В., Мішук К.М. Обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення ґрунтів основ. III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

ABSTRAKT

Dzjuzjura D.V. «Justification of the Technological Parameters in Methods of Strengthening the Foundations Soils».

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor Acting Senior Researcher of the Soil Pile Research Group, Candidate of Technical Sciences Shokarev E.O., Engineering Educational and Scientific Institute of a name of Yu.M. Potebnya Zaporozhye National University, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

An overview of existing methods strengthening foundation soils for various soil conditions and projects was carried out. A study of technological and construction-technological properties of existing methods of strengthening foundation groups was conducted. Ways to improve the quality of foundation soil preparation and increase the speed of construction were considered, reducing the labor intensity of the process and the cost of performing the work on preparing the foundation soils.

Keywords: soil, foundation, strengthening, pile, rammer, compaction, vibration, consolidation.

List of undergraduate publications:

Dzjuzjura D.V., Mishuk K.M. Justification of the Technological Parametres in Methods of Strengthening the Foundations Soils. III All-Ukrainian scientific and practical conference with the participation of young scientists "Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine", Zaporizhzhia: ZNU, 2023.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ	4
Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів	8
ВСТУП	12
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДСИЛЕННЯ	
ҐРУНТІВ ОСНОВ	14
1.1 Загальні відомості	14
1.2 Огляд методів поверхневого ущільнення ґрунтів основ	17
1.3 Огляд ущільнення ґрунтів основ важкими трамбівками	23
1.4 Огляд ущільнення ґрунтів пальобудівельними методами	25
1.5 Огляд ущільнення ґрунтів основ методом вибуху	32
1.6 Огляд глибинного ущільнення ґрунтів основ установками поздовжнього вібрування	34
1.7 Огляд електроіскрового методу ущільнення ґрунтів основ	35
1.8 Огляд методів закріплення ґрунтів основ	36
2 ВИБІР МЕТОДУ ВІБРОДИНАМІЧНОГО ГЛИБИНОГО	
УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ	41
2.1 Загальні положення	41
2.2 Основний фактор для оцінки застосування різних вібродинамічних методів глибинного ущільнення основ	42
2.3 Відомості щодо призначення параметрів ущільнення основ вібродинамічних методів	45
3 УЩІЛЬНЕННЯ ВОДОНАСИЧЕНИХ ҐРУНТІВ ОСНОВ	
ПОСЛІДОВНИМ АКТИВУВАННЯМ ЗАРЯДІВ	47
3.1 Загальні положення	47
3.2 Вплив розвантаження ґрунту на послідовність підривання зарядів	48
3.3 Обґрунтування інтервалу між вибухами послідовних зарядів	54

3.4 Призначення параметрів ущільнення основ під час послідовної активації зарядів	55
4 УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ ДВОМАСНОЮ ВАЖКОЮ ТРАМБІВКОЮ	57
4.1 Загальні положення	57
4.2 Порівняння варіантів двомасної трамбівки	58
4.3 Теоретичне обґрунтування інтервалу часу між ударами окремих частин двомасної трамбівки	63
4.4 Рекомендації щодо призначення параметрів двомасної трамбівки для ущільнення ґрунтів основ	69
5 РОЗРАХУНОК ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ	71
5.1 Похідні дані для розрахунку пальового фундаменту	71
5.2 Аналіз інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов майданчика будівництва	73
5.3 Розрахунок та проектування стрічкового фундаменту	75
5.4 Розрахунок розмірів фундаменту в плані	76
5.5 Розрахунок деформації основи фундаменту	79
5.6 Розрахунок фундаменту на продавлювання	80
5.7 Розрахунок фундаментної плити на вигин	81
5.8 Розрахунок арматури	82
5.9 Розрахунок паль тертя	83
Висновки	85
Список використаних джерел	88

Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів

P_{max} – максимальний тиск ударної хвилі;

Δ_K – співвідношення між тиском ударної хвилі і статичними напругами в скелеті ґрунту основи;

$\sigma(P_{max})$ – максимальний тиски ударної хвилі, що передаються на скелет ґрунту основи;

$\sigma(\gamma_{гр})$ – вертикальні напруження в скелеті ґрунту основи;

γ_s – питома вага частинок ґрунту;

γ_w – питома вага води;

n – пористість ґрунту основи;

A_K – критична амплітуда вібрації ґрунтів основи;

ω – кругова частота коливань;

g – прискорення вільного падіння;

C – маса заряду у тротиловому еквіваленті;

R – відстань від центру дії ущільнюючої сили;

Q – вага трамбівки;

H – висота скидання трамбування;

A_0 – амплітуда вібрації віброущільнювача;

r – відстань від віброущільнювача, на якій відбувається ефективно віброущільнення ґрунтів основою;

δ – коефіцієнт загасання вібрації з відстанню від джерела коливань;

D – діаметр зони віброущільнення;

$d_{уц}$ – діаметр просторового віброущільнювача разом із радіальними елементами;

P_0 – максимальна вимушена сила віброзанурювача;

m_B – маса віброзанурювача;

$m_{уц}$ – маса віброущільнювача;

$P_{тр}^{дин}$ – сила динамічного опору тертя по бічній поверхні віброущільнювача;

- $R_{\text{лоб}}^{\text{дин}}$ – сила динамічного опору лобового тертя віброзанурення;
- $R_{\text{тр}}^{\text{стат}}$ – сила статичного тертя по бічній поверхні віброущільнювача;
- $R_{\text{лоб}}^{\text{стат}}$ – сила лобового опору зануренню віброущільнювача;
- $S_{\text{бок}}$ – площа бічної поверхні штанги віброущільнювача з просторовими елементами ущільнювача;
- $f_{\text{тр}}$ – розрахунковий статичний опір тертю ущільнюваного шару основи;
- F – площа спирання віброущільнювача на ґрунт ущільнюваної основи;
- $R_{\text{СТ}}$ – розрахунковий статичний опір під вістрям віброущільнювача.
- h – глибина закладення заряду;
- $R_{\text{еф}}$ – радіус рефективної дії;
- K_3 – емпіричний коефіцієнт;
- β_{T} – коефіцієнт об'ємної стисливості мінеральних частинок ґрунту основи;
- $\beta_{\text{В}}$ – коефіцієнт об'ємної стисливості води ґрунту основи;
- $\beta_{\text{СК}}$ – коефіцієнт об'ємної стисливості скелета ґрунту основи;
- K_1, μ_1 – емпіричні коефіцієнти, що залежать в основному від вологості та вмісту газу в ґрунті;
- $\Delta_{\text{Ц}}$ – коефіцієнт циклічного навантаження;
- $\tau_{\text{дин}}$ – динамічна напруга зсуву в ґрунті основи від зовнішнього навантаження;
- $\sigma_{\text{стат}}$ – статична напруга в скелеті ґрунту основи;
- $\gamma_{\text{ВР}}$ – питома вага зваженого у воді ґрунту;
- $K_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації ущільнюваного ґрунту;
- S_i – осадка шару ґрунту основи;
- h_i – товщина шару ґрунту основи;
- ρ_i – щільність шару ґрунту основи;
- $\rho_{\text{нас}}$ – щільність водонасиченого шару ґрунту основи;
- e_i – коефіцієнт пористості ґрунту;
- K_Z – коефіцієнт жорсткості основи;
- r_{T} – радіус підшви трамбівки;

C_0 – коефіцієнт жорсткості;

Δ – коефіцієнт незалежний від ґрунтових умов;

$R_{\text{ГР}}$ - граничний опір ґрунту основи вдавлюванню трамбівки;

φ – внутрішній кут тертя;

A_K, B_K, C_K – безрозмірні коефіцієнти, що є функцією кута внутрішнього тертя;

γ – питома вага ґрунту основи;

q – інтенсивність рівномірно розподіленого привантаження;

m_r – маса ударних частин двомасної трамбівки;

λ_Z – кругова частота вільних коливань ударних частин двомасної трамбівки;

λ_Z^{\cdot} - кругова частота з урахуванням демпфування;

m_T – маса матеріалу трамбування;

h_T – висота матеріалу трамбування;

γ_T – питома вага матеріалу трамбування;

α – коефіцієнт, що враховує властивості ґрунтового масиву;

K_2, μ_2 – емпіричні коефіцієнти, отримані за даними вимірювання параметрів ударних хвиль при впливі трамбівки.

Δt – інтервал часу руйнування структури ґрунту в зоні впливу трамбівки, с;

v_S - швидкість поширення хвиль від удару трамбівки;

G – модуль зсуву ґрунту;

E – модуль пружності ґрунту;

μ – коефіцієнт Пуассона;

t – час;

v' – швидкість на момент початку переміщення пробки;

a – прискорення;

l_i – крок головних осей;

l_C – довжина колони;

b_C – ширина колони;

F_v – результуюча вертикальної сили на обріз фундаменту;

F_h – результуюча горизонтальної сили на обріз фундаменту;

M_i – момент інерції;
 W_{Ei} – вологість природна;
 W_{Li} – вологість на межах плинності;
 W_{Pi} – відносне просідання ґрунту;
 R_{Pi} – потужність елементарного шару;
 ε_{sli} – відносне просідання ґрунту;
 h_{sli} – товщина елементарного шару;
 γ_{di} – питома вага сухого ґрунту;
 γ_i – питома вага ґрунту;
 S_{ri} – ступінь вологості ґрунту;
 I_{Pi} – показник пластичності ґрунту;
 I_{Li} – показник текучості ґрунту;
 Π_i – показник просідання;
 C_i – питома сила зчеплення;
 M_t – безрозмірний температурний коефіцієнт;
 d_{fn} – глибина сезонного промерзання;
 k_h – коефіцієнт, що враховує вплив теплового режиму споруди;
 d_h – глибина закладання підосви фундаменту;
 R_i – опір ґрунту;
 P_i – тиск на основу;
 σ_i – напруження від шарів ґрунту;
 A_i – площі;
 Q – продавлююча сила;
 R_{bt} – розрахунковий опір бетону розтягненню;
 α_f – коефіцієнт що враховує тип бетону;
 M_C – згинальний момент;

ВСТУП

Актуальність теми дослідження: Фундамент головна несуча конструкція яка є найважливішою частиною будівельного об'єкту. Фундамент сприймає всі навантаження від розташованих вище конструкцій (включно з експлуатаційними навантаженнями), і розподіляє їх по основі. При будівництві будь-яких об'єктів істотну частину витрат матеріалів, робочого і технологічного часу, займає улаштування фундаменту, а отже ця частина будівельного проекту дає значний вклад в фінансові показники проекту.

Проектування фундаменту без попередніх інженерних геологічних вишукувань неможливе.

Проектування і улаштування фундаменту без належної підготовки основи в переважній більшості випадків буде призводити до непропорційного і неприйняттого збільшення витрат на етапі будівництва і експлуатації цільового об'єкта. В деяких випадках виконання будівельного проекту без належної підготовки основи може призводити до відсутності можливості експлуатації об'єкту.

Тема даного дослідження спрямована на аналіз існуючих методів підсилення ґрунтів основ і визначення варіантів скорочення витрат матеріалів, робочого і технологічного часу, за рахунок виконання робіт по улаштуванню якісної основи під фундамент, і як наслідок покращення фінансово-економічних показників будівельного проекту. З огляду на вищезазначене тема даного дослідження є актуальною.

Метою магістерської роботи є обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення ґрунтів основ.

Об'єктом дослідження є технологічні параметри способів підсилення ґрунтів для забезпечення необхідних якісних параметрів основ під улаштування фундаменту будівельного об'єкта.

Предмет дослідження: різноманітні технологічні рішення підсилення ґрунтів основ.

Для досягнення поставленої в процесі дослідження мети вирішені наступні завдання:

- огляд існуючих технологічних рішень підсилення ґрунтів основ;
- аналіз допустимих меж застосування технологічних рішень підсилення ґрунтів основ;
- обґрунтування технологічних параметрів способів підсилення ґрунтів основ.

Методами дослідження є порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень підсилення ґрунтів основ, методи узагальнення, порівняння, методи системного підходу .

Наукова новизна полягає в збиранні інформаційної бази для подальшого узагальнення та створенні умов для розробки уніфікованих типових технологічних процесів з майбутнім створенням галузевих та загальнодержавних стандартів.

Практична цінність: магістерська робота має достатньо значну практичну цінність для застосування у будівельних проектах з метою зменшення витрат матеріалів, робочого і технологічного часу на зведення будівельного об'єкта.

Апробація результатів: магістерська апробована на наступній конференції: III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя: ЗНУ, 2023.

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота присвячена питанням з проектування та технологічним рішенням способів підсилення ґрунтів основ для улаштування фундаментів. Магістерська робота складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 89 сторінок тексту, у тому числі 23 рисунки, 1 таблиця. Список використаних джерел містить 14 найменувань.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДСИЛЕННЯ ГРУНТІВ ОСНОВ

1.1 Загальні відомості

Фундамент (рисунок 1.1) - будівельна несуча конструкція, частина будівлі, споруди, яка сприймає всі навантаження від вище розташованих конструкцій і розподіляє їх по основі.



Рисунок 1.1 – Приклади фундаментів

Основа - це обмежені по глибині і простяганню масиви ґрунтів, на яких зводять будівлі та споруди. Основи необхідно розраховувати на несучу здатність і деформації (вертикальні та горизонтальні переміщення).

Ґрунтами називають породи що залягають в верхніх шарах земної кори. До них відносять рослинний (біогенний) ґрунт, супісок, гравій, глина, суглинок і т.і. [1].

Одним з перших етапів проектування будівельного об'єкту повинні бути роботи з визначення інженерно-геологічних умови територій і ділянок будівництва [2, 3]. На цьому етапі виконується докладне вивчення ґрунту,

включаючи його структуру, склад, вологість та механічні характеристики. На підставі результатів цих робіт формується звітна документація з вихідними даними для подальших проектних розрахунків.

При будівництві істотну частину фінансових витрат, витрат матеріалів, витрат робочого і технологічного часу, займає улаштування фундаменту. Скорочення витрат на фундаментні роботи можливе за рахунок виконання робіт по улаштуванню основи під фундамент. Наприклад проведення робіт з ущільнення ґрунту основи на значну глибину дозволяє замінити пальові фундамент із монолітним ростверком збірними фундаментами на ущільненій основі.

Основними процесами при підготовці, підсиленні, основи є:

- розробка (виймання ґрунту) котлованів або траншей;
- поверхневе або глибинне підсилення (ущільнення, закріплення) ґрунтів (рисунок 1.2);
- підчистка дна котлованів (траншей);

за необхідності проводять роботи по забезпеченню гідрологічного стану ґрунтів на будівельному майданчику (зволоження, проливання або осушення, улаштування дренажних систем).

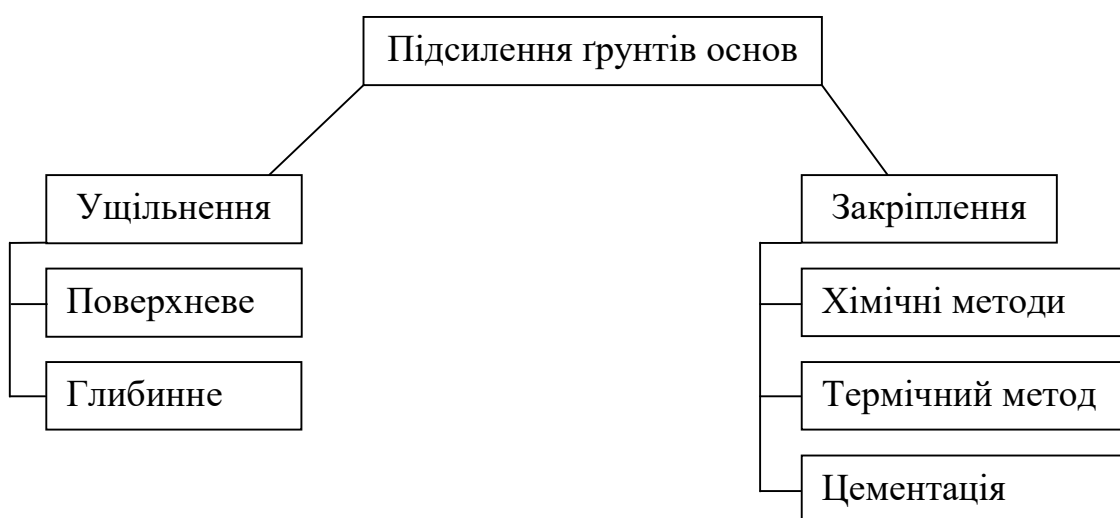


Рисунок 1.2 - Основні методи підсилення ґрунтів основ

Глибина розробки котлованів або траншей виконується із урахуванням зниження рівня поверхні внаслідок ущільнення, а також із урахуванням необхідності видалення ґрунту, зруйнованого інструментами та/або механізмами, під час виконання робіт ущільнення ґрунту.

На сьогоднішній день використовується кілька методів ущільнення (рисунок 1.3) ґрунтів основ, як водонасичених, так і маловологих (вологих).

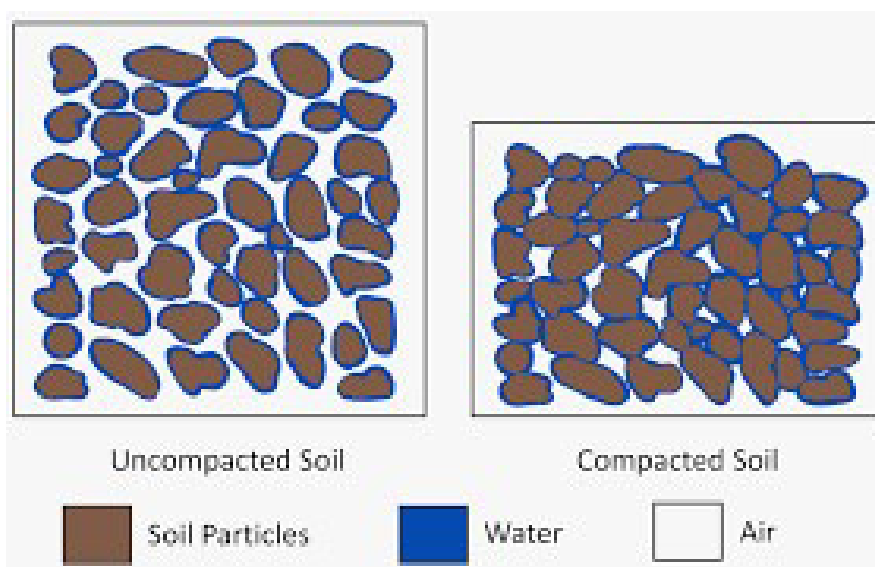


Рисунок 1.3 – Умовна схема стану ґрунту в не ущільненому та ущільненому стані

У водонасичених ґрунтах після динамічного руйнування структури ґрунту, його розрідження, процес подальшого ущільнення відбувається лише під дією гравітаційних сил. В результаті ущільнення частинки ґрунту укладаються з меншою пористістю. Процес ущільнення супроводжується відтисканням води на поверхню основи.

У ґрунтах маловологих та вологих ущільнення за рахунок інтенсивного стиснення та струсу відбувається під час динамічного впливу.

1.2 Огляд методів поверхневого ущільнення ґрунтів основ

Тип підсилення (ущільнення) ґрунту, поверхнєве або глибинне, обирається в залежності:

- від геологічних умов будівельного майданчика;
- від розрахункових експлуатаційних навантажень які буде генерувати будівля і які потім будуть розподілятися фундаментом по основі.

Один з методів ущільнення передбачає застосування статичного тиску на ґрунт, наприклад, за допомогою важких навантажувачів, насипів або об'ємних навантажувачів. Тиск передається на ґрунт протягом певного періоду, що дозволяє зменшити його порожнистість і збільшити щільність.

Статичне ущільнення ґрунту є одним з методів покращення щільності і міцності ґрунту. Цей процес включає застосування статичного тиску або навантаження на ґрунт з метою зниження його порожнистості та підвищення щільності.

В залежності від геологічних умов будівельного майданчика і вимог будівельного проекту можливе використання подушок. Гравійні, щебеневі або піщані подушки призначені для сприйняття та подальшого розподілу навантажень від фундаменту на більшу площу поверхні або для заміни шару слабкого (нестійкого) ґрунту під фундаментом.

До складу робіт по улаштуванню подушок входять: транспортування, розвантаження, ущільнення, вирівнювання по заданій поверхні відміток. В залежності від об'ємів виконуваних робіт матеріал подушки розрівнюють шарами по 100...200 мм і ущільнюють за допомогою поверхневих вібраторів або механічних трамбівок.

В сучасній будівельній практиці облаштування подушок виконують з застосуванням метода геотехнічного армування. Цей метод використовує арматурні елементи, такі як геотекстиль (геополотно), геосітки, георешітки або

геосинтетичні стрічки, для підсилення ґрунту. Арматурні матеріали розташовуються в ґрунті або на його поверхні, і вони допомагають розподілити навантаження і покращити його механічні властивості. Геотехнічні армування забезпечують зміцнення ґрунту, запобігають його руйнуванню та посилюють його стійкість (рисунок 1.4).

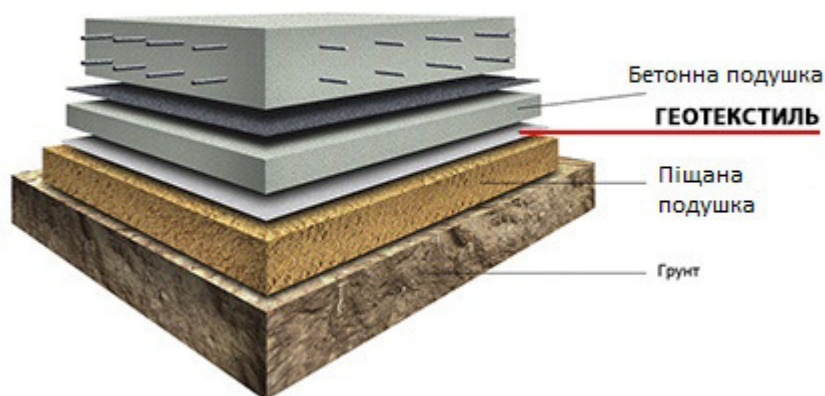


Рисунок 1.4 – Приклади розміщення геотекстилю

Геотехнічне армування є ефективним методом закріплення ґрунтів, який використовує геосинтетичні матеріали для підсилення та покращення

механічних властивостей ґрунту. Цей метод зазвичай застосовується для зміцнення ґрунтів та утримання їх під час будівництва інженерних споруд, таких як дороги, земляні насипи, схили, аеродроми та інші.

Основними елементами геотехнічного армування є геосинтетичні матеріали, які включають геотекстиль, георешітку, геомембрани, геомережива та інші. Ці матеріали мають високу міцність та стійкість до розтягування, а також хімічну та біологічну стійкість, що дозволяє їм ефективно працювати в умовах ґрунту.

Процес геотехнічного армування включає наступні етапи:

1 Діагностика ґрунту: Проводиться детальне дослідження ґрунту, включаючи його механічні властивості, структуру та гідрологічні характеристики. Це дозволяє визначити потребу в геотехнічному армуванні та вибрати відповідні матеріали.

2 Проектування системи армування: На основі діагностики розробляється проект системи геотехнічного армування. Визначається тип, розмір та розташування геосинтетичних матеріалів, а також спосіб їх закріплення в ґрунті.

3 Встановлення геосинтетичних матеріалів: Геосинтетичні матеріали укладаються або вставляються в ґрунт за допомогою спеціальних методів, таких як розкладання, проникання, шпунтування або закладання. Вони можуть бути розташовані горизонтально або вертикально, залежно від потреб проекту.

4 Закріплення геосинтетичних матеріалів: Геосинтетичні матеріали закріплюються в ґрунті за допомогою клампів, анкерів, гвинтових штирів або інших спеціальних кріпильних елементів. Це забезпечує стійкість і надійне закріплення матеріалів у ґрунті.

5 Контроль і тестування: Після встановлення геосинтетичних матеріалів проводиться контроль і тестування для перевірки ефективності армування та відповідності результатів проектуванню.

Геотехнічне армування дозволяє підвищити міцність, стійкість та довговічність ґрунту, зменшити його деформації та утрату маси, а також покращити усталеність ґрунту під навантаженням. Воно знаходить широке застосування у будівництві та інженерних проектах, де потрібна підвищена стійкість та навантажувальна здатність ґрунту.

Процес поверхневого ущільнення ґрунтів полягає в зміцненні ґрунту шляхом зменшення його порожистості [5]. Цей метод може використовуватися для покращення міцності ґрунту та зменшення його схильності до осідання. Ефективність та якість поверхневого ущільнення залежать від вологості ґрунту. Поверхневе ущільнення також застосовується в умовах пошарового укладання ґрунтів основ усіх видів.

Поверхневе ущільнення найчастіше виконують за рахунок динамічного ущільнення ґрунту. Це процес, при якому застосовуються механічні вібрації для підвищення щільності ґрунту і підвищення його несучої здатності. Цей процес застосовують для підсилення ґрунту під фундаментами будівель, зокрема висотних будівель, мостів, доріг та інших споруд.

Динамічне ущільнення ґрунту проводять за допомогою спеціального обладнання - вібропресів або віброгроундів. Вібропреси складаються з вібраційних головок, що генерують високочастотні вібрації, і гідромеханічних засобів для переміщення головки по ґрунту. Віброгроунди ж складаються з вібропомп, шнекових насадок та розподільника гідравлічної оливи.

Процес динамічного ущільнення ґрунту відбувається таким чином: вібрації стискають ґрунт, зменшуючи його об'єм та збільшуючи щільність. При цьому вібрації сприяють зміні форми та розміру зерен ґрунту, що також допомагає у щільному ущільненні ґрунту. Крім того, вібрації допомагають знизити коефіцієнт тертя між зернами ґрунту, що також збільшує щільність.

В результаті динамічного ущільнення ґрунту можна отримати значний приріст щільності та несучої здатності ґрунту, що дозволяє використовувати його для будівництва більш великих та важких споруд.

Процес динамічного ущільнення ґрунту зазвичай включає наступні кроки:

- 1 Встановлення динамічних навантажувачів: для проведення динамічного ущільнення, на ґрунт встановлюються спеціальні навантажувачі, такі як віброплити, вібраційні катки або вібраційні молоти. Ці пристрої генерують динамічні сили, які передаються на поверхню ґрунту.
- 2 Застосування динамічних навантажень: динамічні навантажувачі активно працюють на поверхні ґрунту, створюючи коливальні рухи. Ці рухи передаються вглиб ґрунту, сприяючи розподілу навантаження і стисканню ґрунтових частинок.
- 3 Ущільнення ґрунту: динамічні навантажувачі сприяють переміщенню ґрунтових частинок, змішуванню їх і витісненню повітря або води, що призводить до ущільнення ґрунту. Цей процес забезпечує зменшення порожнеч в ґрунті і підвищення щільності.
- 4 Контроль і оцінка: під час динамічного ущільнення ґрунту проводять контрольні виміри, такі як вимірювання щільності, глибини проникнення вібраційних хвиль та інших параметрів. Це дозволяє оцінити ефективність ущільнення і визначити, чи досягнуто необхідних показників.

При необхідності ущільнення на більшу глибину використовують важкі трамбівки різноманітних форм (плоскі, загострені, круглі, багатокутні). Трамбівки піднімають на розрахункову висоту після чого скидають на ущільнювальну поверхню. Первинні удари трамбівок викликають швидке пониження поверхні ґрунту. В подальшому зниження поверхні після кожного удару зменшується і настає момент коли ущільнене ядро опускається на одну й ту саму величину. Таке явище прийнято називати відмовою.

Динамічне ущільнення виконують шляхом збільшення тиску на ґрунт, наприклад, за допомогою важкого обладнання із застосуванням:

- важких, гладких або кулачкових катків (рисунок 1.5);



Рисунок 1.5 – Приклади катків для ущільнення ґрунтів

- різноманітних трамбівок (рисунок 1.6);

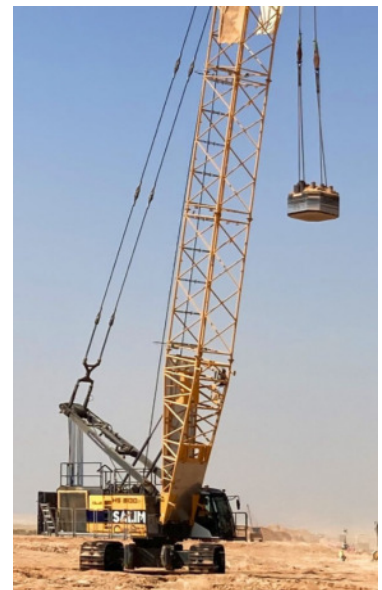


Рисунок 1.6 – Приклади трамбівок для ущільнення ґрунтів

- віброплит, віброкатків (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Приклади віброплити і віброкотка для ущільнення ґрунтів

Масо-габаритні показники устаткування використовуваного під час робіт обирається в залежності від об'ємів робіт (площі поверхні що підлягає ущільненню) та доступної матеріально-технічної бази.

Крім віброкотків при пошаровому ущільненні ґрунтів основ використовуються також віброплити та вібротрамбівки. Внаслідок низької продуктивності та ефективності сфера їх застосування обмежується ущільненням у стиснених умовах підготовки основи.

Застосування віброкотків замість ковзанок статичної дії дозволяє збільшити товщину шару, що ущільнюється. До позитивних якостей вібраційних котків слід віднести простоту пристрою та зручність експлуатації, високу продуктивність та ефективність при ущільненні ґрунтів основ на великих площах, відносно низьку вартість ущільнення.

1.3 Огляд ущільнення ґрунтів основ важкими трамбівками

Ударні методи використовуються для статичного ущільнення ґрунту, де на ґрунт діють удари для зміцнення і ущільнення. Наприклад, використання ударних молотів або ґрунтових ковадлів.

При використанні ударного ущільнення ґрунту важливо враховувати характеристики ґрунту, такі як його склад, вологість, пористість та гранулометричний склад. Дослідження ґрунту перед застосуванням методів статичного ущільнення допомагають визначити оптимальні параметри тиску або навантаження, а також визначити потенційні проблеми, пов'язані з ущільненням.

Фірмою «MENARD GROUP» запатентований і широко пропонується метод ущільнення водонасичених (при ступені вологості більше 80%) ґрунтів основ важкими і надважкими трамбівками. Маса таких трамбівок становить 10-40 т, а окремих випадках – навіть 200 т (рисунок 1.8) [6].



Рисунок 1.8 – «Giga-machine» на будівельному майданчику аеропорту м. Ніца

При висоті скидання від 10 до 40 м такі трамбування дозволяють ущільнювати ґрунти на глибину від 5 до 40 м. Застосування такого трамбування дозволяє одночасно впливати на об'єм ґрунту від тисячі до декількох десятків тисяч кубічних метрів. Також описаний метод називають «методом інтенсивного динамічного ущільнення». В даний час для інтенсивного динамічного ущільнення ґрунтів використовуються одномасні трамбівки у вигляді плити круглої або багатокутної форми [11].

Недоліком одномасних важких трамбівок є необхідність збільшення маси і висоти скидання для збільшення глибини ущільнення основи, що в свою чергу вимагає застосування більш потужних, дорогих і дефіцитних вантажопідйомних механізмів. Також при взаємодії таких трамбівок з ґрунтом основи утворюються значні зони зсуву, що призводять до випору і розпушення поверхневих шарів ґрунту основи і, отже, значним втратам енергії. Часткове виключення останнього недоліку можливе шляхом переходу на застосування ряду трамбівок з питомим статичним тиском, що поступово збільшується для обробки одного і того ж будівельного майданчика, що значно збільшує трудоемність робіт і погіршує економічні показники проекту.

1.4 Огляд ущільнення ґрунтів пальобудівельними методами

Глибинне підсилення (ущільнення) ґрунтів є одним із способів підсилення основ для забезпечення стійкості будівельних конструкцій. Цей метод використовується, коли наявні шари слабкого ґрунту або нестійкі ґрунтові утворення, які не можуть надати достатньої опори для будівлі.

В загальному сенсі глибинне ущільнення ґрунтів полягає у використанні пальового методу (пальобудівельного методу) тобто створення так званих паль на місці будівництва.

Один з варіантів реалізації такого методу це використання загостреної трамбівки. Спочатку така трамбівка формує отвір в ґрунті який потім заповнюють місцевим ґрунтом або піщано гравійною сумішшю яку трамбують тією ж самою трамбівкою (рисунок 1.9).

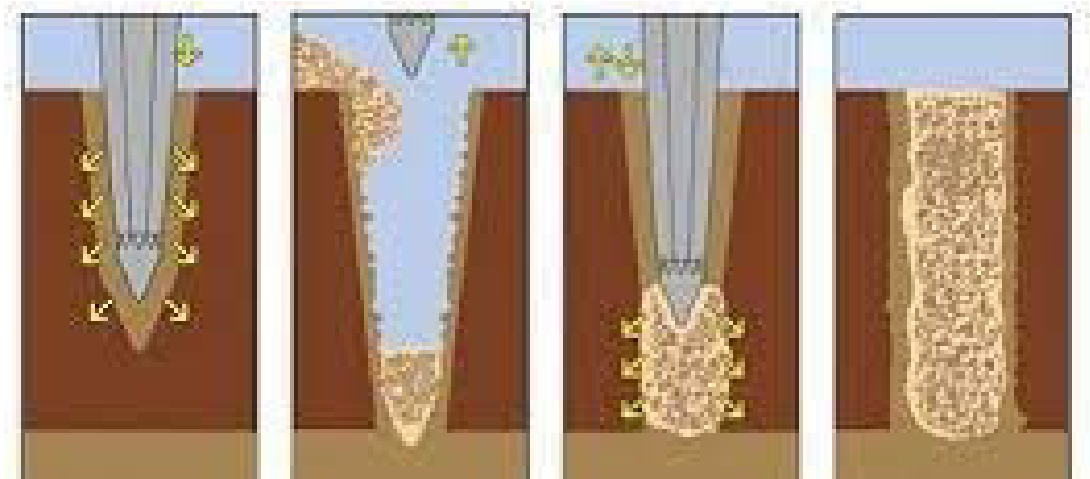


Рисунок 1.9 – Приклад формування ґрунтової палі

Проектування основ ущільнених ґрунтовими палями (іноді також називається палинно-ґрунтовим проектуванням) - це процес проектування основи будівлі, в якому використовуються спеціальні палі, що "забиваються" в ґрунт, або формуються безпосередньо в товщі ґрунту, для створення міцного та стійкого фундаменту.

Зазвичай такий спосіб будівництва використовують у випадках, коли на місці будівництва немає достатньо міцного та стійкого ґрунту, на якому можна збудувати будівлю. Також цей метод може бути економічно вигідним, оскільки він дозволяє заощадити на матеріалах, логістиці, транспорті, обладнанні та прискорити процес будівництва і як наслідок економічну привабливість будівельного проекту.

Проектування основ ущільнених ґрунтовими палями передбачає визначення властивостей ґрунту, на якому буде ставитися будівля, вибір типу та розмірів палей, розташування та глибину забивання палей. При проектуванні

слід враховувати різні фактори, такі як вагу будівлі, властивості ґрунту, вплив погодних умов, потенційні сейсмічні активності та інші фактори, які можуть впливати на стійкість фундаменту.

Після проведення необхідних розрахунків та вибору оптимального варіанту підготовлюють проект, який включає в себе детальну інформацію про тип паль, їх розташування та глибину забивання, а також інші необхідні параметри. Цей проект передається будівельній компанії, яка виконує роботи зі зведення фундаменту.

Для визначення розмірів площі для ущільнення та глибини ущільнення при застосуванні технології ущільнення ґрунтовими палями необхідно враховувати наступні фактори:

- 1** Тип ґрунту. Розмір площі для ущільнення та глибина ущільнення залежать від типу ґрунту. Наприклад, для легких піщаних ґрунтів можна застосовувати меншу глибину ущільнення, ніж для важких глинистих ґрунтів.
- 2** Величина будівлі. Розмір площі для ущільнення повинен бути достатньо великим, щоб забезпечити необхідну стійкість будівлі. Необхідно враховувати вагу будівлі та навантаження, яке буде на неї накладатися.
- 3** Розташування будівлі. Розмір площі для ущільнення також повинен враховувати розташування будівлі на ділянці. Наприклад, якщо будівля розташована на крутому схилі, то розмір площі для ущільнення може бути більшим, ніж в інших випадках.
- 4** Нормативні вимоги. Розмір площі для ущільнення та глибина ущільнення повинні відповідати нормативним вимогам, які встановлюються відповідними будівельними стандартами та нормативами.

Загалом, для визначення розмірів площі для ущільнення та глибини ущільнення при застосуванні технології ущільнення ґрунтовими палями використовуються різні методи, зокрема:

- 1** Метод геометричних параметрів. Цей метод використовується для визначення розмірів площі для ущільнення. Він полягає в тому, щоб

врахувати розміри будівлі та встановити зону ущільнення таким чином, щоб вона була достатня для забезпечення стійкості будівлі.

- 2 Метод геотехнічного аналізу. Цей метод використовується для визначення глибини ущільнення. Він полягає в тому, щоб провести геотехнічний аналіз ґрунту та визначити необхідну глибину ущільнення для забезпечення необхідної стійкості будівлі.
- 3 Метод емпіричних даних. Цей метод використовується для визначення розмірів площі для ущільнення та глибини ущільнення на основі досвіду з будівництва та експлуатації подібних будівель та споруд.

При виборі методу визначення розмірів площі для ущільнення та глибини ущільнення необхідно враховувати всі фактори, які можуть вплинути на стійкість будівлі та забезпечити необхідний рівень безпеки та надійності.

Визначення відстані між центрами ґрунтових паль при застосуванні технології ущільнення ґрунтовими палями зазвичай залежить від таких факторів, як діаметр паль, довжина паль, типу ґрунту та навантаження, що буде впливати на палі.

У загальному випадку, рекомендується, щоб відстань між центрами ґрунтових паль була не менше двох діаметрів паль. Однак, це правило може бути змінено в залежності від умов будівництва та конкретних властивостей ґрунту. Також необхідно зазначити що формування поля з ґрунтових паль відбувається с зовнішнього периметру пального поля до його центру.

Якщо заборонено розташовувати палі занадто близько до будівель або інших споруд, можна використовувати більшу відстань між палями, що збільшить кількість паль, необхідних для ущільнення.

Також варто зазначити, що рекомендована відстань між палями може відрізнятись в залежності від типу паль та властивостей ґрунту.

Кількість ґрунтових паль, необхідних для застосування технології ущільнення ґрунтовими палями, залежить від таких факторів, як площа поверхні, що потрібно ущільнити, типу ґрунту та характеристик ґрунту,

глибина ущільнення, діаметр та довжина палі, навантаження, яке буде діяти на палі тощо.

Перша група пальових методів використовує в якості матеріалу палі той ґрунт що є на місці будівництва.

Сутність першого методу полягає в зануренні в ґрунт "голки" через яку подається вода для водонасичення ґрунту. Метод гідровіброущільнення [4] полягає в послідовному зануренні в ґрунт (під власною вагою) гідровібратора (рисунок 1.10), виконаного у вигляді витягнутого циліндричного корпусу з вбудованим електродвигуном і шарнірно з'єднаного з колонами напрямних труб. Для подачі води під тиском гідровібратор забезпечується трубопроводами. Віброущільнення ґрунту проводиться на глибину, на яку "потоне" вібратор.



Рисунок 1.10 – Приклад гідровібратора

Інструмент поступово занурюють до заданої глибини. Під впливом вібрацій важкі зерна ґрунту переміщуються вниз за рахунок чого відбувається ущільнення ґрунту і утворення умовної палі з більш щільним розподілом матеріалу ґрунту ніж навколишній матеріал.

Наступний метод глибинного ущільнення ґрунтів схожий на попередній але в якості "робочої рідини" ("робочого тіла") виступає повітря: цей метод включає використання струменів повітря, щоб просуватися через ґрунт, роздуваючи його і стискаючи. Це може бути досягнуто за допомогою пневматичних вібраторів або глибинних пневматичних установок, які подають струми повітря через свердловини в ґрунт.

При пневмопульсаційному методі ущільнення в товщу водонасиченого піщаного ґрунту занурюється голкофільтр, який послідовними поштовхами з частотою до 80 Гц нагнітається стиснене повітря за допомогою спеціальної пульсаційної установки. Динамічний вплив пульсації повітря на ґрунт аналогічний за своїм характером впливам від звичайного глибинного вібратора. Ущільнення ґрунту викликається коливаннями при проходженні пружної хвилі.

У цих двох методах також можливе часткове заміщення ґрунту за рахунок введення до місця роботи вібратора додаткових матеріалів (пісок, щебінь, гравій).

Метод гідростатичного тиску заснований на навантаженні ґрунту водяним стовпом. Цей метод використовується зокрема для ущільнення м'яких ґрунтів, таких як глина або слиз, де вода використовується як носій для тиску на ґрунт і прискорення процесу ущільнення.

Метод гідропневмопульсаційного [9] ущільнення заснований на динамічному впливі фільтраційних сил, або так званих динамічних фільтраційних циклів.

Згідно з цим методом в товщу піску основи занурюється голкофільтр, який за допомогою розподільного клапанного пристрою поперемінно підключається до напірного та вакуумного насосів.

Таким чином, у ґрунті створюються фільтраційні «поштовхи», що руйнують структуру і призводять до його подальшого ущільнення під дією власної ваги. При цьому вибирається така тимчасова послідовність фільтраційних «поштовхів», коли наступний «поштовх» створюється тільки після переукладання частинок ґрунту від попереднього динамічного впливу фільтраційних сил.

Слабкі глинясті і замулені ґрунти ущільнюються піщаними або ґрунтовими палями. Їх формують за допомогою товстостінних паль-оболонки, виготовлених з труб діаметром понад 400 мм, з спеціальною насадкою, що розкривається або залишається в ґрунті. Палю-оболонку занурюють вібратором або забивають пневматичним молотом в ґрунт. При зануренні спеціальна насадка розсуває ґрунт і ущільнює його. Занурену палю-оболонку поступово, пошарово, заповнюють піском або підготованим місцевим ґрунтом. Кожний шар трамбують. По мірі заповнення палі-оболонки її також поступово, пошарово, вилучають. При цьому ґрунт, що трамбується, розсуває ступки спеціальної насадки, або видавлює її і залишає в ґрунті, якщо це передбачено конструктивно (рисунок 1.11).

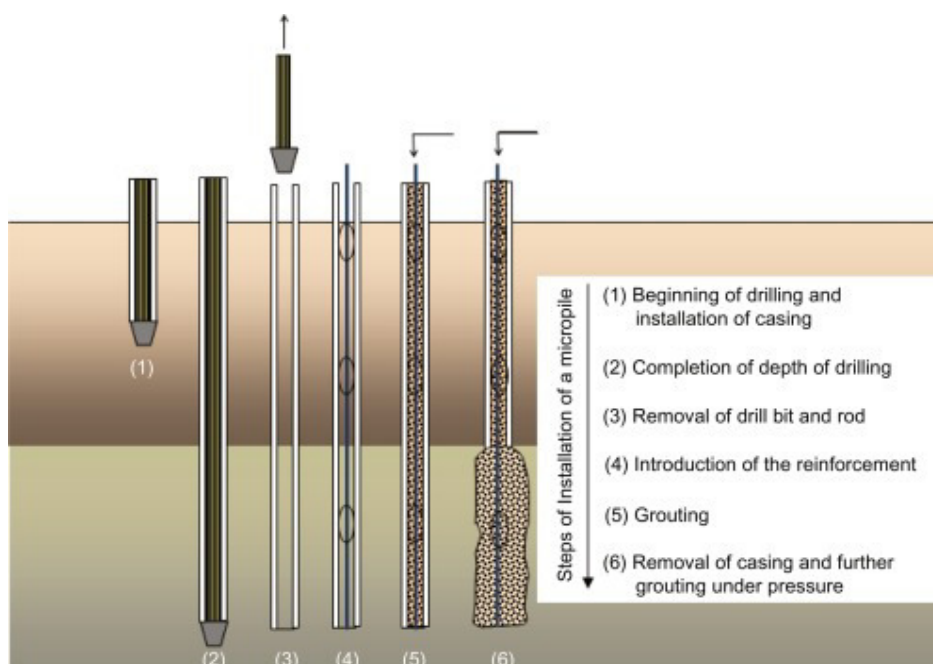


Рисунок 1.11 – Етапи роботи з палями-оболонками

Цим методом вдається ліквідувати просідковість лесових ґрунтів лише на глибину занурення палі, що може бути серйозним недоліком цього методу.

Зазвичай після глибинного ущільнення виконують поверхневе, а потім виконують підчистку поверхні основи для забезпечення виходу на проектні відмітки.

1.5 Огляд ущільнення ґрунтів основ методом вибуху

Ущільнення ґрунтів основ вибуховим методом є одним із способів підвищення їх густини та міцності за допомогою вибуху. В останні роки посилилась тенденція застосування ущільнення ґрунтів основ методом вибуху. Проводяться роботи з дослідження його ефективності для ущільнення основ золошлаковідвалів, хвостосховищ і земляних гребель з метою підвищення їх стійкості та збільшення ємності.

Основні етапи ущільнення ґрунту методом вибуху включають включають в себе.

Підготовчі роботи: Спочатку визначається місце, де потрібно провести ущільнення ґрунту. Встановлюються вибухові заряди, які розміщуються у вирахованих місцях в ґрунті. Параметри вибухових зарядів, такі як кількість, тип та розмір, вибираються відповідно до вимог проекту та характеристик ґрунту.

Вибух: Вибухові заряди запускаються в контрольованих умовах згідно з планом активації. Під час вибуху відбувається надшвидка реакція окислення активних матеріалів заряду, яка породжує велику кількість робочого газу з великими градієнтами тиску. Різке розширення великого об'єму газів призводить до руйнування структури ґрунту з переводом його, на короткий термін, у псевдозріджений стан, в якому відбувається зміщення та ущільнення

часточок ґрунту, з видаленням вологи, за умови її наявності (рисунок 1.12).

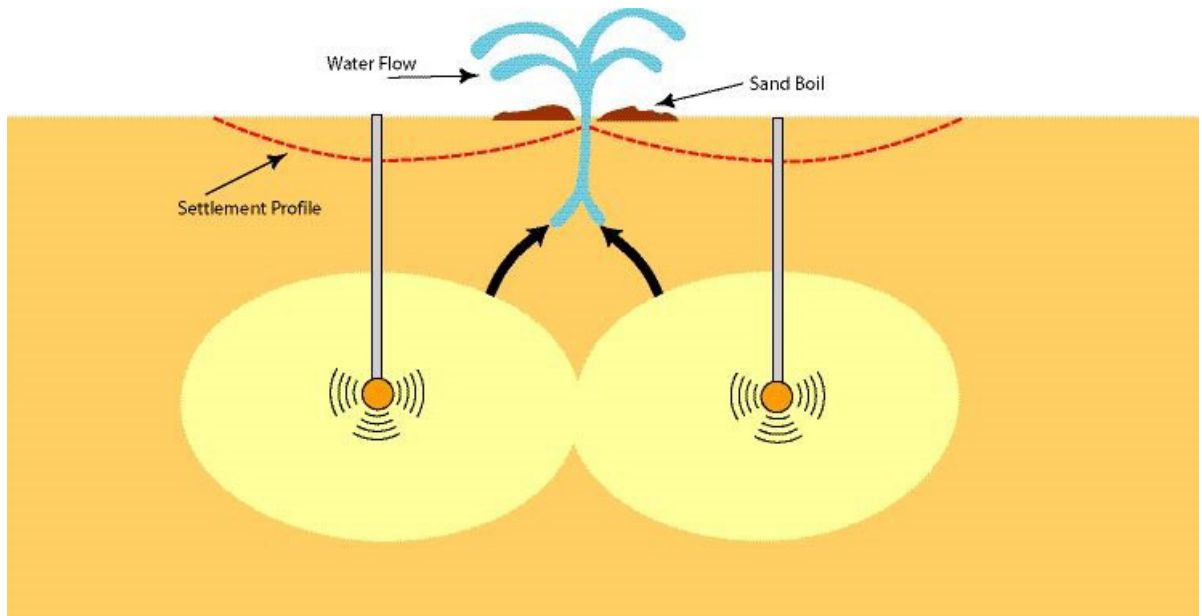


Рисунок 1.12 – Схематичне зображення ущільнення ґрунтів основ методом вибуху

Обробка результатів: Після вибуху необхідно виміряти глибину осідання та порівняти її з проектною (в залежності від геологічних умов оцінити виток рідини).

Ущільнення ґрунту вибуховим методом використовується там, де інші методи ущільнення ґрунту, такі як вібрація чи пресування, можуть бути недостатньо ефективними. Цей метод допомагає підвищити густину та міцність ґрунту, зокрема в скелястих, кам'янистих або важкодоступних областях.

Однак важливо зауважити, що вибухи мають потенційно негативний вплив на навколишнє середовище та можуть створювати значний шум та викиди пилу та газів. Тому вони повинні проводитися з додержанням вимог безпеки та з урахуванням вимог стандартів і регулюючих органів.

1.6 Огляд глибинного ущільнення ґрунтів основ установками поздовжнього вібрування

Просторовий ущільнювач поздовжнього вібрування виготовляється з трубчастої штанги, яку, з метою підвищення продуктивності, модернізують шляхом збільшення радіусу дії ущільнювача забезпечуючи радіальними елементами вздовж довжини штанги для надання ущільнювачу просторової структури. Ущільнювач типу «віброялінка» має достатньо просту та технологічну конструкцію, що складається зі зварених деталей, що не вимагають верстатної обробки, що дозволяє виготовляти його безпосередньо на об'єкті будівництва. Просторова структура є багаторівневою системою, що нагадує «ялінку», що містить у кожному ярусі по чотири хрестоподібно розташованих і приварених до штанги пластинчастих елементи, що мають у вертикальній площині форму трапеції, що звужується до зовнішнього кола. Висота ділянки штанги з просторовою структурою визначається проектною глибиною ґрунту основи який підлягає ущільненню.

Для якісного ущільнення заданого об'єму ґрунту основи необхідно витримати рекомендовані величини насичення водою. Для забезпечення рівня водонасичення безпосередньо в процесі роботи ущільнювача трубчаста штанга має в нижньому кінці штанги сопло і патрубок у верхній частині для подачі під тиском води в ґрунт основи. Ущільнювач через фланець у верхній частині трубчастої штанги жорстко з'єднується з вібронавантажувачем.

Процес ущільнення на заданій точці ущільнення основи, описаною вібраційною установкою включає занурення в ґрунт основи на задану глибину, подальший підйом ущільнювача і періодичне, у міру підйому, повторне опускання його при безперервній роботі віброгенератора. На всьому проміжку часу занурення та підйому ущільнювача через сопло в нижньому кінці штанги в ґрунт під тиском подається вода.

При цьому динамічне збудження водонасиченого середовища викликається одночасно у всьому об'ємі масиву ґрунту в радіусі дії ущільнювача на глибину його занурення. Ґрунт при вібрації ущільнюється не тільки внаслідок більш компактного переукладання часточок після розрідження, але також від впливу високочастотних ударів елементів ущільнювача.

1.7 Огляд електроіскрового методу ущільнення ґрунтів основ

Електроіскровий метод [8] ущільнення використовує енергію ударного імпульсу, що виникає при високовольтному розряді. Високовольтні розряди виробляються в ґрунтовому середовищі за допомогою імпульсного генератора, який дозволяє викликати дозовані кількості електричної енергії через задані проміжки часу.

Високовольтний трансформатор імпульсного генератора перетворює електричний струм до напруги 80-100 кВ. Потім струм випрямляється і надходить у батарею високовольтних конденсаторів, які пов'язані кабелем із двома ізольованими один від одного електродами. Електроди разом з розрядником монтуються в трубчастій штанзі, що занурюється в ґрунтове середовище.

Коли напруга на обкладках конденсаторів досягає необхідного значення, ініціюється пробій. У цей момент до кінців електродів надходить електричний струм високої напруги, створюється потужне електричне поле у вологому середовищі, і внаслідок цього відбувається пробій міжелектродного проміжку. Високовольтний розряд супроводжується миттєвим випаровуванням води водонасиченого середовища в зоні ущільнення, з дуже високими значеннями тиску. Тривалість пробою дуже мала. Після чергового пробою відбувається

повторне заряджання конденсаторів, і процес знову повторюється. Час між розрядами підтримується автоматично. Ударна хвиля при високовольтному розряді, аналогічна до вибуху заряду вибухової речовини, руйнує структуру водонасиченого ґрунту і призводить до його розрідження. Через деякий час ґрунт набуває більш щільної структури.

1.8 Огляд методів закріплення ґрунтів основ

Несучу здатність слабких ґрунтів і тріщинуватих горних порід можливо збільшити методами штучного закріплення з використанням різноманітних хімічних реагентів: селікатизація, смолизація, цементація.

Наступна група пальових методів полягає в виконанні свердловин в ґрунті на значну глибину та заливання (або ін'єкції) в них розчинів з різноманітними матеріалами (цемент, полімери, смоли і т.і.) які забезпечують додаткову міцність та стійкість ґрунту що обробляється.

Ін'єкційний метод використовується для зміцнення слабких ґрунтів або заповнення порожнин в ґрунті за допомогою спеціальних матеріалів. При ін'єкційному методі рідини або цементно-піщані суміші вводяться під високим тиском в ґрунт. Це дозволяє матеріалу проникнути в порожнини та щілини, а також збільшити щільність ґрунту. Ін'єкційні матеріали можуть бути полімерними смолами, цементом, ґрунтовими сумішами або спеціальними хімічними сполуками (рисунок 1.13). Цей метод дозволяє покращити механічні властивості ґрунту, збільшити його несучу здатність та стійкість.

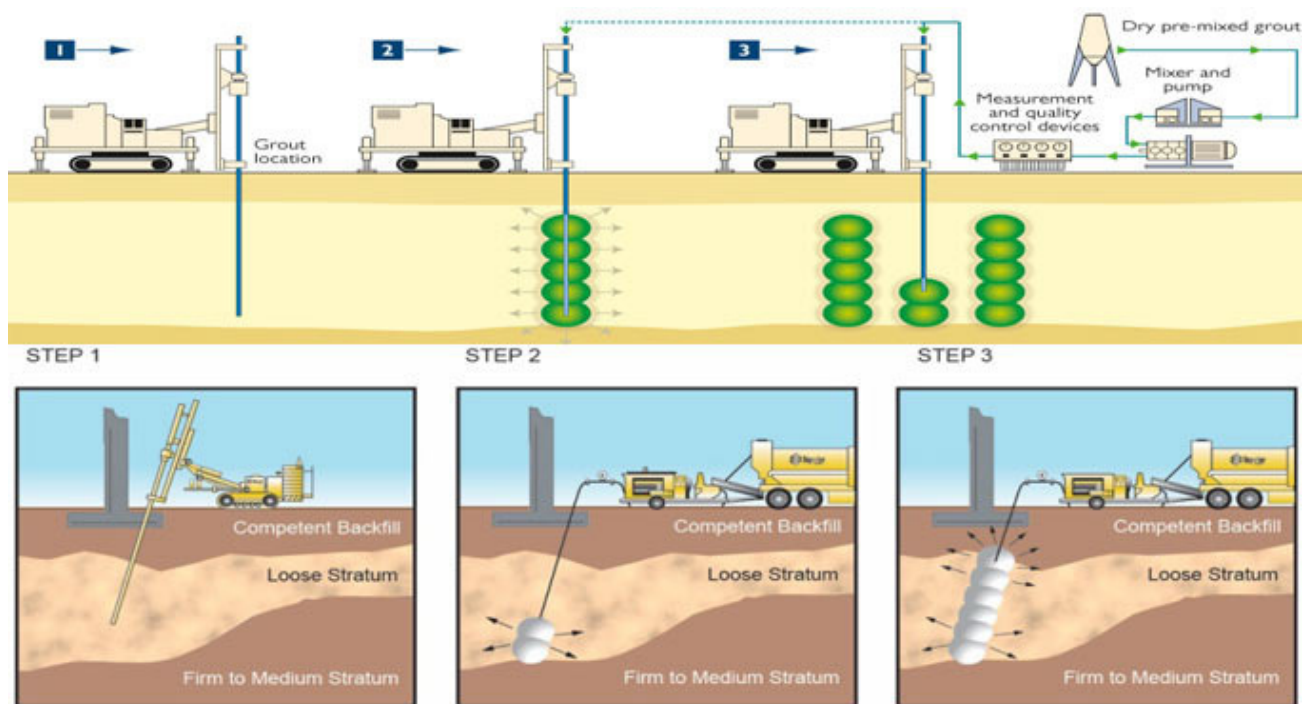


Рисунок 1.13 – Приклад ін'єкційного методу

Силікатизація і смолизація в загальному технологічному сенсі подібні. Роботи за цими методами включають в себе: розчистку ділянки що підлягає закріпленню, занурення ін'єкторів, підготовка компонентів і приготування сумішей (розчинів), нагнітання суміші до свердловини, видалення ін'єкторів, тампонаж свердловин. На глибинах до 7 м використовують голки-ін'єктори які забивають в ґрунт. На глибинах до 30 м використовують ін'єктори-тампони які занурюють у попередньо пробурені свердловини.

Голка-ін'єктор (рисунок 1.14) являє собою збірну конструкцію, виконану з сталевих товстостінних труб з нарізаними на кінцях різьбленнями, і з'єднаними між собою металевими муфтами. Відповідно до креслення, в трубах є отвори для виходу різних сумішей. Такі ін'єктори забивають у ґрунт пневматичними молотами або вібраторами. Видаляють ін'єктор за допомогою домкрата. Для нагнітання суміші використовують гідравлічні насоси.

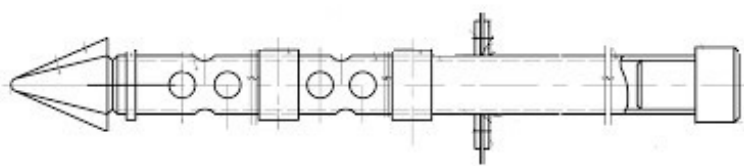


Рисунок 1.14 – Приклад голки-ін'єктора

Ін'єктори-тампони (рисунок 1.15) занурюють у попередньо пробурені свердловини на задану глибину, надувають повітрям, після чого через ін'єктор подають закріплюючий розчин. Надутий манжет тампону перекриває свердловину і перешкоджає витоку закріплюючого розчину у верхню частину а також забезпечує необхідний проектний тиск в зоні закріплення. Після насичення першої заходки ін'єктор з тампоном піднімають на нову відмітку та повторюють операції.

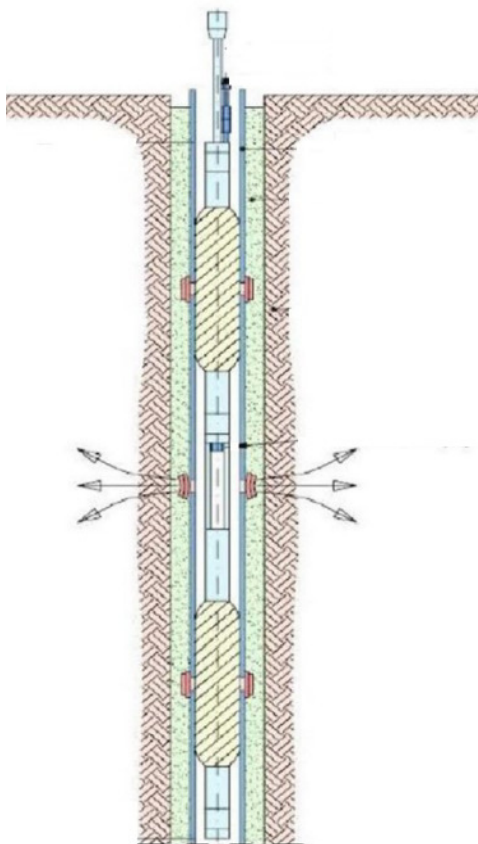


Рисунок 1.15 – Приклад ін'єктора-тампона

Лессовидні ґрунти рекомендовано закріплювати розчинами силікату натрія. При його взаємодії з солями кальцію, що входять до складу лесса, утворюється гель кремневої кислоти, який цементує (закріплює) часточки льосу, перетворюючи їх в каменеподібну масу.

Піски (сухі або водонасичені) з високим коефіцієнтом фільтрації рекомендовано закріплювати методом дворозчиної силікатизації. Під час першого проходу нагнітають розчин силікату натрію, а потім хлорида кальція. Розчин силікату натрію нагнітають при зануренні голки-ін'єктора. При зворотному русі (видаленні) голки-ін'єктора нагнітають хлорида кальція.

Пилуваті піски (сухі або водонасичені) рекомендовано закріплювати сумішшю розчинів силікату натрія і фосфорної кислоти.

Дрібні піски рекомендовано закріплювати розчином карбамідної кислоти на водній основі в суміші з розчином соляної кислоти. Такий метод називається смолізацією.

За допомогою цементації рекомендоване закріплення тріщинуватих скельних порід, гравелистих і пухких піщаних ґрунтів. До складу робіт з цементації основи входять технологічні процеси:

- розчистки поверхні ґрунтів, з якої виконують закріплення;
- буріння свердловин, їх продувка або промивання (в скельних породах);
- встановлення ін'єкторів;
- гідравлічних випробувань свердловин;
- нагнітання ін'єкційного розчину;
- вилучення ін'єкторів.

Гідравлічні випробування свердловин проводять перед початком робіт по закріпленню методом цементації для виявлення та визначення ступеню водопоглинення. В залежності від отриманих даних визначають склад та консистенцію цементуючого розчину. Одночасно, під час гідравлічних випробувань, відбувається зволоження поверхні часточок ґрунту, що запобігає осадженню розчину в найближчих до свердловини порах і дозволяє досягти

максимального радіусу закріплення. Якщо, під час гідравлічних випробувань, свердловини легко поглинають воду, можливе пряме нагнітання розчину. Якщо вода поглинається повільно, тоді свердловини підключають до кільцевої насосної установки, в якій створюється неперервний рух розчину під заданим тиском, що запобігає осадженню розчину в трубопроводах.

В піщані і гравелісті ґрунти ін'єктори занурюють на величну заходки - висоти вертикальної зони закріплення. Після нагнітання розчину ін'єктори занурюють до наступної проектної відмітки (зони).

Скельні породи також закріплюють по зонах, але після закріплення верхньої зони, ін'єктор видаляють, а свердловину добурюють на глибину наступної проектної відмітки, не очікуючи тужавлення розчину.

Наступний метод закріплення ґрунтів - термічний. Цей метод може бути використаний для закріплення лише лесовидних і пористих суглинчастих ґрунтів за умови їх залягання вище рівня ґрунтових вод.

Термічне закріплення ґрунтів (рисунок 1.16) є результатом спалювання палива (газоподібного, рідкого) безпосередньо в свердловинах, що пробурені на всю глибину ґрунту що підлягає закріпленню. Спалювання палива відбувається при підвищеному тиску повітря що подається до зони горіння. Закріплення ґрунту відбувається в тілі масиву від розпечених газів (продуктів згоряння пливо-повітряної суміші) що проникають крізь пори ґрунту. В результаті навколо свердловини утворюється стовп обпаленого ґрунту, діаметр якого залежить від тривалості обпалу.

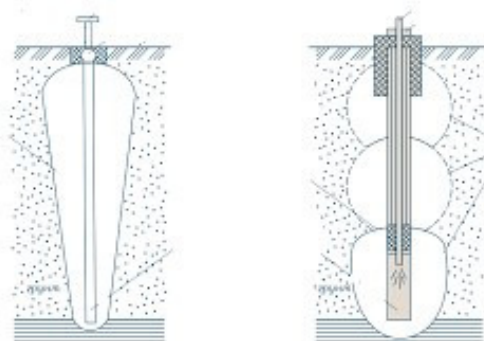


Рисунок 1.16 – Умовна схема термічного методу закріплення ґрунтів

2 ВИБІР МЕТОДУ ВІБРОДИНАМІЧНОГО ГЛИБИНОГО УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ ОСНОВ

2.1 Загальні положення

Дані дослідження виконані для вибору методу та основних параметрів вібродинамічного глибинного ущільнення ґрунтів основ для зведення на них капітальних будівель та споруд.

В якості основих методів динамічного глибинного ущільнення шару водонасичених ґрунтів основ може бути застосований вибуховий метод і метод поверхневого трамбування.

При цьому ущільнення поверхневого шару маловологих (вологих) ґрунтів основи та ґрунтів при нарощуванні подушок (насіпів) повинно здійснюватися методом пошарового ущільнення віброкатками (віброплитами) при інтенсивному зволоженні ґрунту.

За наявності поверхневого шару маловологих (вологих) ґрунтів основ з товщиною шару більше 1,5-2 м слід застосовувати метод глибинного віброущільнення відразу на всю глибину основи, що ущільнюється, при насиченні маловологого шару ґрунту водою безпосередньо в процесі його віброущільнення.

При цьому забороняється застосовувати метод глибинного віброущільнення за наявності в основі корінних порід, складених глинистими ґрунтами текучої або плинно-пластичної консистенції. Ця заборона накладена через небезпеку втрати структурної міцності цих ґрунтів через високочастотний вібраційний вплив на них.

Попередня кількісна оцінка глибини і зони ущільнення ґрунтів основ, щільності складання що досягається, та основних параметрів вібродинамічного

глибинного ущільнення основ повинна виконуватись на стадії проектування ґрунтів основ і в подальшому повинна остаточно уточнюватися в експериментальних польових дослідженнях, які завжди передують етапу виробничого ущільнення.

2.2 Основний фактор для оцінки застосування різних вібродинамічних методів глибинного ущільнення основ

При виборі методу вібродинамічного глибинного ущільнення ґрунтів основ основним фактором рекомендовано приймати глибину ущільнення основи що повинна досягатися і яка залежить від величини вібродинамічного впливу. Величина вібродинамічної дії визначається максимальним тиском ударної хвилі P_{max} або максимальним прискоренням коливань $A_K \omega^2$ на ґрунти основи. Взаємозв'язок між глибиною ущільнення, що досягається, і максимальним тиском ударної хвилі або прискорень коливань визначається залежністю:

$$h_{ущ} = f(P_{max} \text{ або } A_K \omega^2) \quad (2.1)$$

При ущільненні водонасичених ґрунтів основ головним критерієм для визначення глибини ущільнення, що досягається, є критичне значення співвідношення Δ_K між тиском ударної хвилі і статичними напругами в скелеті ґрунту або прискорень коливань ґрунту $A_K \omega^2$ на заданій глибині ущільнення основи, які виражаються залежностями:

- для динамічного ущільнення ґрунтів основ методом глибинних вибухів та поверхневого трамбування:

$$\Delta_K = \frac{\sigma(P_{max})}{\sigma(\gamma_{гр})} \quad (2.2)$$

де $\sigma(P_{max})$ – максимальні тиски ударної хвилі, що передаються на скелет ґрунту основи;

$\sigma(\gamma_{гр})$ – вертикальні напруження в скелеті ґрунту основи на глибині Z ущільнюваної основи, що визначаються за формулою:

$$\sigma(\gamma_{гр}) = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (1 - n) \cdot Z \quad (2.3)$$

де γ_s, γ_w – питома вага частинок ґрунту та води;

n – пористість ґрунту основи;

– для віброущільнення піщаних ґрунтів основ

$$A_K \omega^2 = (0,9 \div 1)g \quad (2.4)$$

де A_K – критична амплітуда вібрації ґрунтів основи;

ω – кругова частота коливань;

g – прискорення вільного падіння.

Для практичних розрахунків величина $\sigma(P_{max})$ може бути прийнята рівною $0,01(P_{max})$.

Величина максимального тиску ударної хвилі та амплітуди A_0 вібрацій визначаються залежно:

– для глибинних вибухів [12]

$$P_{max} = 60,0 \cdot \left(\frac{3 \cdot \sqrt{C}}{R} \right)^{1,05} \quad (2.5)$$

де P_{max} - максимального тиску ударної хвилі, МПа;

C – маса заряду у тротиловому еквіваленті, кг;

R – відстань від центру вибуху заряду, м;

- для поверхневого трамбування

$$P_{max} = 10,0 \cdot \left(\frac{\sqrt{Q \cdot H}}{R} \right)^{1,05} \quad (2.6)$$

де Q - вага трамбування, кН;

H - висота скидання трамбування, м;

R – відстань від центру удару трамбування, м;

– для глибинного віброущільнення

$$A_0 = A_k \cdot e^{\frac{r}{\delta}} \quad (2.7)$$

де A_0 – амплітуда вібрації віброущільнювача на заданій глибині ущільнення основи, м;

r – відстань від віброущільнювача, на якому відбувається ефективне віброущільнення ґрунтів основою, м;

δ – коефіцієнт загасання вібрації з відстанню від джерела коливань, м;

Відстань r визначається із залежності:

$$D = 2 \left(r + \frac{d_y}{2} \right) \quad (2.8)$$

де D – діаметр зони віброущільнення, що приймається з практичного досвіду, м;

$d_{ущ}$ – діаметр просторового віброущільнювача разом із радіальними елементами, м.

Величина амплітуди вібрації віброущільнювача A_0 на заданій глибині ущільнювача основи визначається за виразом:

$$A_0 = \frac{P_0 - (P_{тр}^{дин} + P_{лоб}^{дин})}{(m_B + m_y) \cdot (2\pi f)^2} \quad (2.9)$$

де P_0 - максимальна вимушена сила віброзанурювача;

$m_B, m_{ущ}$ - маса віброзанурювача та віброущільнювача;

$P_{тр}^{дин}, P_{лоб}^{дин}$ – сила динамічного опору тертя по бічній поверхні віброущільнювача та лобового віброзанурення, кН.

При віброзануренні віброуючого елемента у водонасичені ґрунти основи значення динамічного опору тертю $P_{тр}^{дин}$ віброуючого елемента та його лобовому опору $P_{лоб}^{дин}$ повинно прийматися з урахуванням їх зниження порівняно з статичним опором тертю $P_{тр}^{стат}$ по бічній поверхні віброущільнювача і лобовому опору $P_{лоб}^{стат}$ його зануренню у співвідношеннях:

$$P_{тр}^{дин} = (4,5 - 6) P_{тр}^{стат} \quad (2.10)$$

$$P_{лоб}^{дин} = (2,5 - 3) P_{лоб}^{стат} \quad (2.11)$$

Сила статичного тертя $P_{\text{тр}}^{\text{стат}}$ по бічній поверхні віброущільнювача визначається формулою:

$$P_{\text{тр}}^{\text{стат}} = S_{\text{бок}} \cdot f_{\text{тр}} \quad (2.12)$$

де $S_{\text{бок}}$ – площа бічної поверхні штанги віброущільнювача з просторовими елементами ущільнювача, м^2 ;

$f_{\text{тр}}$ – розрахунковий статичний опір тертю ущільнюваного шару основи.

Сила лобового опору зануренню віброущільнювача:

$$P_{\text{лоб}}^{\text{стат}} = F \cdot R_{\text{СТ}} \quad (2.13)$$

де F – площа спирання віброущільнювача на ґрунт ущільнюваної основи, м^2 ;

$R_{\text{СТ}}$ – розрахунковий статичний опір під вістрям віброущільнювача на заданій глибині занурення в ґрунт основи.

2.3 Відомості щодо призначення параметрів ущільнення основ вібродинамічних методів

Відповідно до рекомендацій для заданої глибини занурення заряду, що забезпечує відсутність вирви викиду та випору ґрунту, маса C заряду $ВР$ визначається за залежністю:

$$C = 0,055h^3, \quad (2.14)$$

де h - глибина закладення заряду, м .

Відстань між зарядами у плані слід приймати рівною двом радіусам ефективної дії ($2R_{\text{еф}}$). За радіус ефективної дії $R_{\text{еф}}$ прийнято половину максимальної відстані між зарядами в плані, при якому відбувається досить рівномірне ущільнення ґрунту основи.

Радіус ефективної дії визначається залежно від:

$$R_{\text{еф}} = K_3 \sqrt[3]{C}$$

де K_3 – емпіричний коефіцієнт.

Для здійснення ущільнення методом поверхневого трамбування слід застосовувати важкі трамбівки. Загальна маса двомасної трамбівки призначається з умови, щоб питомий статичний тиск на ґрунт основи по всій площі становив не менше 0,015-0,02 МПа, а висота скидання H була рівною $6r_{\text{тр}}$ (де $r_{\text{тр}}$ - радіус двомасної трамбівки).

Для здійснення методу глибинного віброущільнення ґрунтів основ доцільно використовувати віброустановку з просторовим віброущільнювачем типу «ялинка».

Для ущільнення пухких піщаних ґрунтів основ до проектної щільності необхідно здійснити не менше 4 черг вибухів у межах основи, що ущільнюється, не менше 6-8 скидань важкої трамбування в один слід і 2,5 хв вібрування на 1 м глибини ущільнюваного ґрунту на кожній точці ущільнення основи.

3 УЩІЛЬНЕННЯ ВОДОНАСИЧЕНИХ ГРУНТІВ ОСНОВ ПОСЛІДОВНИМ АКТИВУВАННЯМ ЗАРЯДІВ

3.1 Загальні положення

При застосуванні вибухового методу ущільнення ґрунтів основ на початковому етапі перевага надавалася методу одночасного підривання зарядів у кожній черзі. Даний прийом полягав у монтажі вибухової мережі, що з'єднує всі заряди даної черги детонуючим шнуром, в єдину мережу, що утворює в плані замкнутий контур і їх одночасна активація. При цьому монтаж та подальше підривання зарядів наступної черги проводилися тільки після повної стабілізації осідання основи від підривання зарядів попередньої черги. Це ґрунтувалося на наступних постулатах, взятих із рекомендацій:

- 1 Заданий характер зміни щільності масиву ґрунту в плані та по глибині переважно досягається числом серій вибухів зарядів у даному місці. Збільшуючи кількість серій вибухів, збільшують осідання поверхні та щільність ґрунту.
- 2 При інтервалі часу Δt між вибухами зарядів, меншим за час ущільнення $t_{ущ}$, збільшується лише радіус ефективної дії та глибина ущільнення від наступних вибухів.

Крім того, вважалось [12], що рекомендована послідовність підривання сприяє найбільш ефективному руйнуванню структури ґрунту за рахунок підвищення інтенсивності динамічного впливу та збільшення густини ґрунту в процесі подальшої консолідації.

Відповідно до цих постулатів підривання наступних зарядів у розрідженому ґрунті може сприяти тільки розширенню зони руйнування структури ґрунту, але не дає додаткового підвищення густини.

Переваги послідовного підривання зарядів у порівнянні з одночасним ґрунтувалися як на обліку відомих ефектів розвитку фільтраційних сил у процесі консолідації ґрунту від вибуху та проходження наступної ударної хвилі по частках розрідженого та нестабілізованого ґрунту [12], так і на багаторазовому руйнуванні структури ґрунту у прилеглих зонах підривання зарядів.

3.2 Вплив розвантаження ґрунту на послідовність підривання зарядів

Інтервал запізнення Δt при послідовному підриванні зарядів впливає на ефективність використання енергії вибуху наступного заряду за рахунок розвантаження шарів ґрунту основи вищележачими шарами. При цьому повинна бути ліквідована неуцільнена зона в проміжках між суміжними зарядами і досягнуто, у першому випадку, повторного впливу вибуху на раніше переукладений шар від вибуху попереднього заряду, а в другому – вплив на зони, що примикають до зони розрідження від першого заряду.

Відповідно до [12] глибина h закладання заряду в шарі основи з умови камуфлетності енергії вибуху визначається за залежністю:

$$h = 3 \cdot \sqrt{\frac{C}{0,055}} \quad (3.1)$$

де C – маса заряду вибухової речовини (ВР), кг.

У цьому випадку залежність між розрахунковою глибиною закладання заряду в шарі водонасиченого ґрунту та глибиною ущільнення ґрунтів основи визначається співвідношенням

$$h_{уц} = \frac{h}{0,67} \quad (3.2)$$

Для характеристики зміни напруженого стану скелета ґрунту основи при дії ударної хвилі може використовуватись співвідношення:

$$\Delta = \frac{\sigma(P_{max})}{\sigma(\gamma_{гр})} \quad (3.3)$$

де $\sigma(P_{max})$ - максимальний тиск ударної хвилі, що передаються на скелет ґрунту основи.

В окремому випадку відсутності газів в ґрунті основи за [12]:

$$\sigma(P_{max}) = \frac{(\beta_T \cdot m + \beta_T \cdot n) \cdot P_{max}}{(\beta_T \cdot m + \beta_T \cdot n + \beta_{СК})} \quad (3.4)$$

де $m = 1-n$; β_T , β_B , $\beta_{СК}$ - відповідно коефіцієнти об'ємної стисливості мінеральних часточок, води та скелета ґрунту основи.

У [12] наведено залежність для максимального тиску при сферичних хвилях:

$$P_{max} = K_1 \cdot \left(\frac{3 \cdot \sqrt{C}}{R} \right)^{\mu_1} \quad (3.5)$$

де P_{max} - максимальний тиск, МПа;

C - маса заряду, кг;

R - відстань від центру заряду, м;

K_1 , μ_1 - емпіричні коефіцієнти, що залежать в основному від вологості та вмісту газу в ґрунті. Коефіцієнт характеризує інтенсивність затухання тиску зі збільшенням відстані від джерела динамічного впливу.

В окремому випадку для водонасичених пісків з незначним вмістом у них затисненого газу залежність (3.5) для максимального тиску ударної хвилі в ґрунтах основи має вигляд:

$$P_{max} = 60,0 \cdot \left(\frac{3 \cdot \sqrt{C}}{R} \right)^{1,05} \quad (3.6)$$

де P_{max} - максимальний тиск, МПа;

C - маса заряду, кг;

R - відстань від центру заряду, м.

Вертикальна напруга в скелеті ґрунту основи на глибині Z з урахуванням зважуючої дії води визначається як

$$\sigma(\gamma_{гр}) = (\gamma_S - \gamma_W) \cdot (1 - n) \cdot Z \quad (3.7)$$

де γ_S , γ_W - питома вага частинок ґрунту та води;

n – пористість ґрунту.

Критичне значення Δ_K , за даними [12] відповідає такому зміщенню частинок, при якому відбувається повне руйнування структури ґрунту основи, що дозволяє визначати контури області найкращого ущільнення ґрунту основи. Величина Δ_K є узагальненою характеристикою для конкретного ґрунту та визначається з експериментальних досліджень максимальних зон руйнування його структури та ущільнення.

Співвідношення (3.3) [12] аналогічні формулам [13]:

$$\Delta_{\text{Ц}} = \frac{\tau_{\text{дин}}}{\sigma_{\text{стат}}} \quad (3.8)$$

де $\Delta_{\text{Ц}}$ – коефіцієнт циклічного навантаження;

$\tau_{\text{дин}}$ – динамічна напруга зсуву в ґрунті основи від зовнішнього навантаження;

$\sigma_{\text{стат}}$ – статична напруга в скелеті ґрунту основи на заданій глибині ущільнення.

Формула (3.8) використовується фахівцями в галузі сейсмостійкого будівництва для виявлення умов небезпечного розрідження ґрунтів основи під час землетрусу.

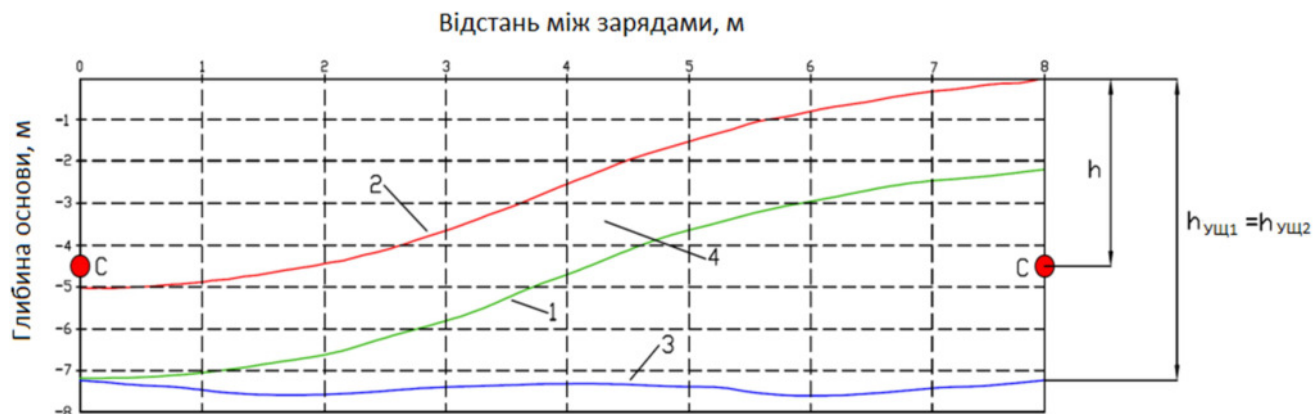
На рисунку 3.1 зображено взаємодію зон розрідження ґрунту для вибуху двох зарядів. З рис. 3.1 випливає, що при послідовному вибуху двох зарядів з інтервалом $\Delta t \geq t_{\text{уц}}$ у нижній частині в проміжках між зарядами існує значна «мертва зона», не схильна до повного розрідження ґрунту.



1 – зона розрідження ґрунту від вибуху першого заряду; 2 – те саме, другого заряду; 3 – «мертва зона», не схильна до розрідження ґрунту основи
 Рисунок 3.1 – Характер зон розрідження ґрунту при послідовному вибуху двох поруч розташованих зарядів з $\Delta t \geq t_{ущ}$

У процесі консолідації ґрунту межа r_1 розрідженого шару ґрунту переміщається до поверхні та процес консолідації повністю закінчується при $r_1 = h_{ущ1}$. При цьому наступний вибух розташованого поруч заряду з інтервалом часу $\Delta t < t_{ущ1}$ дозволяє не тільки забезпечити розрідження ґрунту у цій нерозрідженій зоні, а й повторно впливати на ґрунти основи, що піддані впливу попереднього заряду. Ця обставина призводить до багаторазового розрідження ґрунту в проміжках між зарядами, що повторюються при наступних чергах вибухів.

Згідно розрахунків видно (рисунок 3.2), що найбільша ефективність вибуху наступного заряду, що сприяє руйнуванню структури ґрунту та повторному (багаторазовому) впливу на ґрунти основи, досягається при співвідношенні межі r_1 зони консолідації ґрунту від вибуху попереднього заряду до глибини ущільнення ґрунту $h_{ущ1}$ і межах 0,25-0,3.



1 – зона розрідження ґрунту від вибуху першого заряду; 2 – те саме в процесі консолідації ґрунту за час Δt , після вибуху першого заряду; 3 – зона розрідження ґрунту від вибуху другого заряду з інтервалом $\Delta t = 0,3t_{ушц}$; 4 – зона повторного розрідження ґрунту основи

Рисунок 3.2 – Взаємодія зон розрідження ґрунту при послідовному підриванні двох поруч розташованих зарядів з інтервалом $\Delta t \leq t_{ушц}$

За певною залежністю [9] маємо взаємозв'язок інтервалу між вибухами зарядів Δt і величиною шару r_1 консолідації ґрунту основи за цей період часу в наступному вигляді:

$$\Delta t = \frac{\gamma_w}{\gamma_{BP}} \cdot \frac{r_1}{K_\phi} \cdot \frac{n_1 - n_2}{1 - n_1} \quad (3.8)$$

Отже, у перерахунку на час консолідації шару ґрунту r_1 , маємо

$$\Delta t = (0,25 - 0,3) t_{ушц1} \quad (3.9)$$

За аналогією з цим проведемо аналіз зон ущільнення водонасиченого піщаного ґрунту основи глибинними зарядами при коротко сповільнених інтервалах часу між вибухами зарядів.

Вважаємо (рисунок 3.3), що в повністю водонасиченому ґрунтовому середовищі основи виробляється вибух камуфлетного заряду масою C , а потім у цьому місці до початку процесу консолідації відбувається вибух такого ж за масою заряду.

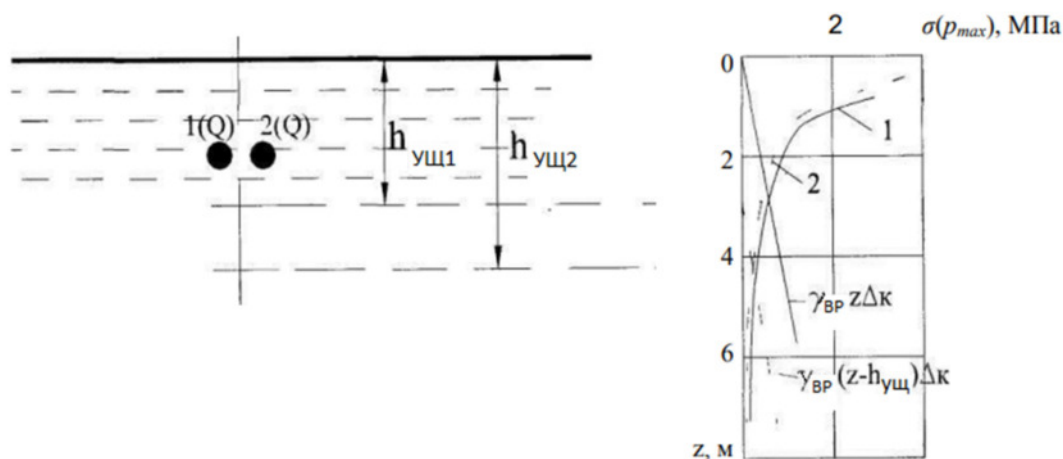


Рисунок 3.3 – Глибина зон руйнування структури та ущільнення ґрунту основи при послідовних вибухах зарядів з короткосповільненим інтервалом часу Δt після розвантаження нижчого шару ґрунту основи

При руйнуванні структури ґрунту основи від попереднього вибуху, надлишковий тиск що виникає у воді в зоні розрідження призведе до розвитку фільтраційних сил у ґрунті основи, призведе до послаблення міцності структури ґрунту далеко за межами зони розрідження. У цьому випадку наступний вибух, у момент досягнення максимального значення надлишкового порового тиску від попереднього впливу, повинен забезпечити найбільше розрідження структури ґрунту основи в зонах, що примикають до зони розрідження. Отже, при наступному динамічному впливі в початковій фазі розрідження ґрунту від попереднього впливу виникає розширення зони руйнування структури основи, а значить, і ущільнення ґрунту.

Розрахунки показують, що найбільший ефект розширення зони розрідження від подальшого впливу вибуху досягається при короткосповільненому підриванні, що виражається в частках секунди. Однак при цьому має розвиватись поровий тиск від попереднього динамічного впливу.

З урахуванням вищевикладеного, а також того, що вибух послідовних зарядів в одному місці практично неможливий, для досягнення ефекту

збільшення глибини і радіусу зони ущільнення може бути запропоновано рішення, коли заряди в плані розташовуються з більш рясною сіткою в ґрунтах основи.

В даному випадку заряди повинні розташовуватися з кроком R , меншим $2R_{\text{еф}}$, де $R_{\text{еф}}$ - радіус ефективної дії вибуху заряду в плані.

Моделювання показують можливість збільшення глибини ущільнення ґрунту при короткосповільненому інтервалі часу між послідовними вибухами зарядів без збільшення маси заряду. При цьому досягається досить рівномірне ущільнення ґрунту як у глибині шару основи, так і у плані.

3.3 Обґрунтування інтервалу між вибухами послідовних зарядів

Згідно з [12] час ущільнення $t_{\text{уЩ}}$ шару ґрунту основи знаходять за формулою:

$$t_{\text{уЩ}} = \frac{\gamma_W}{\gamma_{BP}} \cdot \frac{r_1}{K_{\Phi}} \cdot \frac{n_1 - n_2}{1 - n_1} \quad (3.10)$$

де γ_W – питома вага води;

γ_{BP} – питома вага зваженого у воді ґрунту;

$h_{\text{уЩ}}$ – потужність шару основи, що ущільнюється;

K_{Φ} - коефіцієнт фільтрації ущільнюваного ґрунту;

n_1 – вихідна пористість ґрунту;

n_2 – пористість ґрунту після етапу ущільнення.

Осадка поверхні шару ґрунту основи

$$S = h_{\text{уЩ}} \cdot \frac{n_1 - n_2}{1 - n_1} \quad (3.11)$$

Якщо прийняти $\frac{n_1 - n_2}{1 - n_1} \approx \frac{n_1 - n_2}{1 - n_2}$, $\gamma_W \approx \gamma_{BP}$ тоді з виразів (3.10) і (3.11)

отримаємо:

$$t_{ущ} = \frac{s}{K_{\Phi}} \quad (3.12)$$

За даними досліджень [4] коефіцієнт фільтрації K_{Φ} становив для дрібних пісків 2 м/сут (0,0023 см/с), середніх - 10 м/сут (0,012 см/с).

3.4 Призначення параметрів ущільнення основ під час послідовної активації зарядів

Відповідно до [12] при ущільненні глибинними вибухами шару водонасичених ґрунтів основи необхідна маса заряду C , кг, що забезпечує відсутність випору та вирви викиду, визначається за залежністю:

$$C = 0,055h^3 \quad (3.13)$$

де h - глибина закладення заряду в шарі основи, м.

У цьому випадку розрахункова глибина ущільнення шару пухкого ґрунту основи:

$$h_{ущ} = 1,5h \quad (3.14)$$

За наявності привантаження ущільнюваного шару водонасичених ґрунтів шаром неводонасиченого ґрунту (коефіцієнт водонасичення $S_r < 0,8$) або за наявності шарів, що істотно відрізняються за щільністю від насичених водою, в залежність (2.14) слід замість h підставляти приведену глибину закладення заряду:

$$h_{ПР} = \frac{h_1 \cdot \rho_1 + h_2 \cdot \rho_2 + \dots + h_n \cdot \rho_{нас}}{\rho_{нас}} \quad (3.15)$$

де h_1, h_2 і ρ_1, ρ_2 – відповідно товщина шарів та щільності неводонасиченого привантаження та шарів ґрунту основи, що відрізняються за щільністю від насиченого водою піску;

$\rho_{нас}$ – щільність водонасичених ґрунтів.

Радіус ефективної дії $R_{\text{еф}}$, інакше – максимальна відстань, на якій можна розміщувати заряди в плані для отримання рівномірного ущільнення ґрунтового масиву, визначається за залежністю

$$R_{\text{еф}} = K_3 \sqrt[3]{C} \quad (3.16)$$

У розрахунках по [12] не враховується вплив розвантаження скелета ґрунту на процес багаторазового руйнування структури ґрунту ущільнюваної основи.

Проведені теоретичні розрахунки [4] показують, що цей ефект максимально проявляється при інтервалі часу між вибухами зарядів (груп зарядів) $\Delta t = (0,25 \dots 0,3)t_{\text{уЩ}}$.

Час ущільнення невимушеного шару $h_{\text{уЩ}}$ знаходять за формулою

$$t_{\text{уЩ}} = \frac{e_{\text{н}} - e_{\text{к}}}{K_{\text{ф}} \cdot (1 + e_{\text{н}})} h_{\text{уЩ}} \quad (3.17)$$

де $K_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації ущільнюваного ґрунту основи;

$e_{\text{н}}$ і $e_{\text{к}}$ – коефіцієнти пористості ґрунту до і після ущільнення ґрунту основи вибухами.

4 УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ ДВОМАСНОЮ ВАЖКОЮ ТРАМБІВКОЮ

4.1 Загальні положення

Двомасна трамбівка являє собою зовнішню ударну частину у вигляді плоскої плити з отвором і направляючими для внутрішнього циліндра, в якій удар зовнішньої її частини по поверхні ґрунтів основи проводився по всій площі підосви трамбування, а внутрішній – через плиту, що перекриває отвір зовнішньої ударної її частини, на ширину, що перевищує діаметр підосви внутрішньої частини трамбування в 1,2 рази. Переміщення внутрішньої ударної частини до упорів і скидання проводилися по напрямних, закріплених на цій плиті, а плита була укріплена ребрами жорсткості.

Вперше випробуваний варіант двомасного трамбування поряд з відомими перевагами мав і недоліки. Разом з конструктивними недоліками, що виражаються в низькій надійності ребристої плити з вертикальними стійками, через яку робився удар внутрішньої частини по ґрунту основи, мала місце суттєво різна величина осідання поверхні основи під внутрішньою та зовнішньою частинами трамбування.

У зв'язку з вищевикладеним спочатку випробувальний варіант двомасної трамбівки був удосконалений шляхом видалення ребристої плити. Таким чином, новому варіанті двомасної трамбівки удар як зовнішньої, так і внутрішньої її частини наноситься безпосередньо по ґрунту основи.

До відомих переваг двомасної трамбівки, слід віднести мінімізацію випору ґрунту в місці удару трамбування, збільшення глибини ущільнення, рівномірність осідання ґрунту основи під зовнішньою та внутрішньою частинами даного варіанта двомасної трамбівки.

4.2 Порівняння варіантів двомасної трамбівки

В математичній моделі двомасна трамбівка вільно скидається з висоти H на ґрунт основи (рисунок 4.1), що моделюється пружно-пластичним обмежувачем переміщення. Пружність пружини обмежувача визначається коефіцієнтом жорсткості основи K_z .

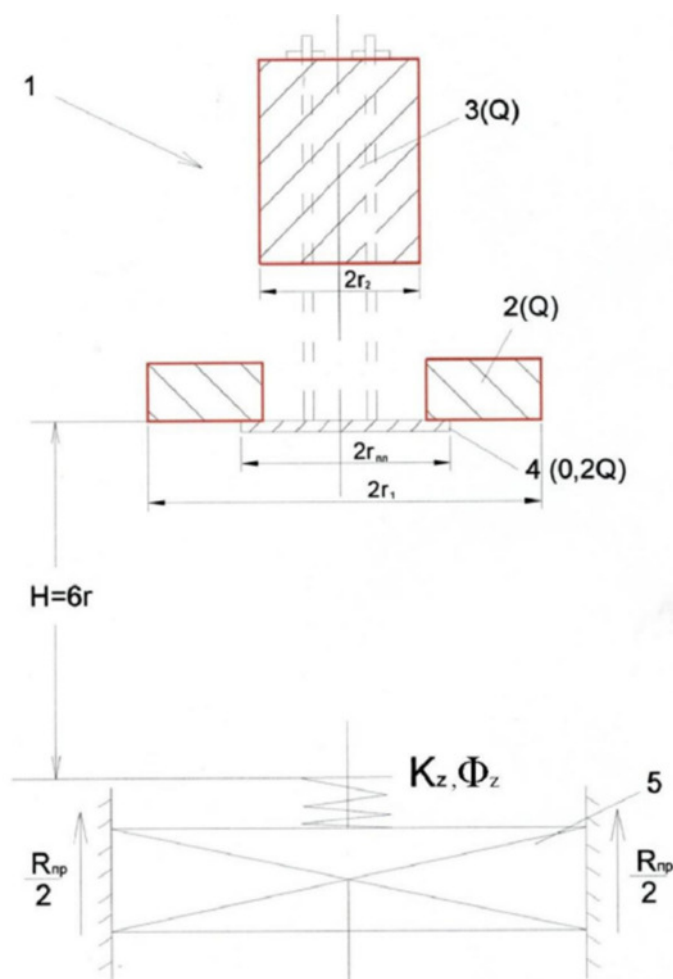


Рисунок 4.1 – Схема системи «двомасна трамбівка – ґрунт основи»

Переміщення невагомої пробки 5 стає можливим у разі, якщо зусилля у пружині перевищить граничний опір ґрунту основи $R_{лр}$. При цьому приймаємо, що удар внутрішньої ударної частини наноситься з інтервалом часу, коли

залишкові зміщення ґрунту основи від удару першої частини двомасної трамбівки вже закінчилися.

У розрахунках порівнюються два варіанти двомасного трамбування: перший варіант - коли удар зовнішньої 2 ударної частини наноситься по всій площі підошви трамбування радіусом r_1 , а внутрішньої 3 - через плиту радіусом $r_{пл}$; другий варіант - удар зовнішньої 2 ударної частини проводиться кільцем з отвором, а внутрішньої 3 - безпосередньо по ґрунту основи.

Маси зовнішньої та внутрішньої ударної частин трамбівки призначені рівними величині Q , а маса плити (з напрямними та упорами) – $0,2Q$.

Висоту скидання двомасної трамбівки задають рівною br , де r - радіус підошви трамбівки, рівний радіусу зовнішньої частини двомасної трамбівки r_1 .

Коефіцієнт жорсткості основи визначається за методикою, що використовується під час проектування фундаментів під машини [9]:

$$K_Z = \pi \cdot r_T^2 \cdot C_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r}\right) \quad (4.1)$$

де r_T - радіус підошви трамбівки, м;

C_0 - коефіцієнт жорсткості;

Δ – коефіцієнт, який можна приймати у практичних розрахунках незалежно від ґрунтових умов рівним 1 м^{-1} .

Граничний опір ґрунту основи $R_{пр}$ вдавлюванню трамбівки визначається за формулами теорії граничної рівноваги з використанням залежності з роботи [8]:

$$R_{пр} = \pi \cdot r_T^2 \cdot (A_K \cdot \gamma \cdot r + B_K \cdot q + C_K \cdot c) \quad (4.2)$$

де A_K , B_K , C_K – безрозмірні коефіцієнти, що є функцією кута внутрішнього тертя φ ;

γ – питома вага ґрунту основи кг/м^3 ;

q – інтенсивність рівномірно розподіленого привантаження на рівні підошви штамп.

Приймаємо $c = 0$ тоді з (4.2) маємо:

- для удару зовнішньої частини двомасної трамбівки:

$$R_{\text{пр}} = \pi \cdot r^3 \cdot A_K \cdot \gamma \quad (4.3)$$

- для внутрішньої, з урахуванням статичного привантаження величиною q від зовнішньої ударної частини

$$R_{\text{пр}} = \pi \cdot r^2 (A_K \cdot \gamma \cdot r + B_K \cdot q) \quad (4.4)$$

При цьому граничний опір $R_{\text{пр}}$ вдавлюванню для кільцевої зовнішньої частини двомасної трамбівки обчислюється по залежності:

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{пр}}(r_1) - R_{\text{пр}}(r_2) \quad (4.5)$$

де $R_{\text{пр}}(r_1)$ і $R_{\text{пр}}(r_2)$ – граничні опори вдавлюванню штампів радіусами r_1 і r_2 .

Рівняння взаємодії ударних частин двомасної трамбівки з пружиною обмежувача має вигляд:

$$m_r \cdot \ddot{Z} + K_Z \cdot Z = 0 \quad (4.6)$$

де $m_r = \frac{Q_r}{g}$ - маса ударних частин двомасної трамбівки.

Ввівши позначення $\lambda_Z^2 = \frac{K_Z}{m_r}$, перетворюємо вираз (4.6):

$$\ddot{Z} + \lambda_Z^2 \cdot Z = 0 \quad (4.7)$$

де λ_Z - кругова частота вільних коливань ударних частин двомасної трамбівки.

Загальне рішення (4.6) має вигляд:

$$Z = A \cdot \sin(\lambda_Z) \cdot t + B \cdot \cos(\lambda_Z) \cdot t \quad (4.8)$$

де A і B – невідомі постійні коефіцієнти, які знаходять із початкових (граничних) умов.

При миттєво прикладеному імпульсі початкові умови задаються залежностями $Z = 0$, $\dot{Z} = V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ при $t = 0$. Рівняння (4.6) прийме вигляд:

$$Z = \frac{V_0}{\lambda_Z} \cdot \sin(\lambda_Z) \cdot t \quad (4.9)$$

З (4.9) формула визначення граничного пружного переміщення ударних частин двомасної трамбівки, з урахуванням виразів для V_0 і λ_Z , прийме вигляд:

$$Z_{\text{ПР}} = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot Q_{\text{ПР}}}{K_Z}} \quad (4.10)$$

З умови рівності максимального зусилля в пружині $K_Z \cdot Z_{\text{ПР}}$ та опору ґрунту основи $R_{\text{ПР}}$ отримані рівняння, що дозволяє визначити граничні ваги ударних частин двомасної трамбівки, при дії яких відбувається продавлювання обмежувача:

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{R_{\text{ПР}}^2}{2 \cdot H \cdot \pi \cdot r^2 \cdot C_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r}\right)} \quad (4.11)$$

Обчислені $Q_{\text{ПР}}$ по (4.11) будуть заниженими внаслідок неврахування поглинання енергії в основі та її розсіювання в ґрунтовому масиві. Тому $Q_{\text{ПР}}$ повинні бути скориговані їх множенням на коефіцієнт Z з формули для пружного переміщення тіла на демпфуючій основі [9]:

$$Z = \frac{V_0}{\lambda_Z'} \cdot e^{-\frac{\Phi \cdot \lambda_Z'^2}{2} \cdot t} \sin(\lambda_Z' \cdot t) \quad (4.12)$$

де Φ – модуль згасання, що характеризує демпфуючі властивості основи;

λ_Z' - кругова частота з урахуванням демпфування, що приймається приблизно рівною λ_Z .

З (4.12) маємо вираз для визначення пружного переміщення ударних частин, що коливаються, двомасної трамбівки в момент часу $t = \frac{\pi}{2 \cdot \lambda_Z'}$:

$$Z_{\text{ПР}} = \frac{V_0}{\lambda_Z'} \cdot e^{-\frac{\pi \cdot \Phi \cdot \lambda_Z}{4}} \quad (4.13)$$

Кругова частоти коливань:

$$\lambda_Z = \sqrt{\frac{K_Z}{m_T}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot r^2 \cdot C_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r}\right) \cdot g}{\pi \cdot r^2 \cdot h_T \cdot \gamma_T}} \approx 68,6 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{2}{\Delta r}}{h_T}}, \frac{1}{c} \quad (4.14)$$

де m_T , h_T , γ_T - маса, висота і питома вага матеріалу трамбування;

$h_T = 0,5r$ - приймаємо.

Використовуючи формули (4.14), (4.13) і (4.9), знайдемо наступний наближений вираз для визначення граничної ваги трамбівки, при якому відбувається залишкове переміщення ґрунту основи під трамбівкою:

$$Q_{\text{пр}} \approx 3,0 \cdot \frac{R_{\text{пр}}^2}{2 \cdot H \cdot \pi \cdot r^2 \cdot C_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta \cdot r}\right)} \quad (4.15)$$

Скориставшись тією самою розрахунковою моделлю, визначимо осадку основи для випадку, коли $Q_r > Q_{\text{пр}}$.

Рівняння переміщення пробки прийме вигляд:

$$m_r \cdot \ddot{Z} = R_{\text{пр}} \quad (4.16)$$

$$\ddot{Z} = \frac{R_{\text{пр}}}{m_r} = \frac{R_{\text{пр}} \cdot g}{Q \cdot r} \quad (4.16a)$$

З рівняння (4.16)

$$\dot{Z} = a \cdot t + C_1 \quad (4.17)$$

$$\dot{Z} = \frac{a}{2} \cdot t + C_1 \cdot t + C_2 \quad (4.18)$$

Для початкових умов $Z = 0$, $\dot{Z} = v'$ при $t = 0$ визначимо коефіцієнти C_1 і C_2 , після чого рівняння руху пробки набуде вигляду:

$$\dot{Z} = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v' \cdot t \quad (4.19)$$

Швидкість руху:

$$\dot{Z} = a \cdot t + v' \quad (4.20)$$

З кінцевих умов $Z = \delta$, $\dot{Z} = v'$ при $t = t_2$ отримаємо

$$t_2 = \frac{v'}{a} \quad (4.21)$$

Підставляючи (4.21) до (4.19), отримаємо рівняння для визначення переміщення пробки:

$$\delta = \frac{-v'}{2 \cdot a} \quad (4.22)$$

Початкову швидкість переміщення пробки v' знайдемо з наступної залежності для співвідношення між загальною енергією удару частин двомасної трамбівки та енергією, витраченою на пружні деформації ґрунту основи:

$$\frac{Q \cdot r \cdot v_0^2}{2 \cdot g} - \frac{Q \cdot r \cdot v^2}{2 \cdot g} = Q_{\text{пр}} \cdot H \quad (4.23)$$

де $\frac{Q \cdot r \cdot v_0^2}{2 \cdot g}$ – кінетична енергія ударної частини двомасної трамбівки в момент, що передуює удару по поверхні основи;

$\frac{Q \cdot r \cdot v^2}{2 \cdot g}$ – кінетична енергія ударної частини двомасної трамбівки в момент

початку переміщення пробки;

$Q_{\text{пр}} \cdot H$ - енергія ударної частини двомасної трамбівки, витрачена на пружні деформації ґрунту основи.

З рівняння (4.23) отримуємо:

$$v' = \sqrt{v_0^2 - \frac{Q_{\text{пр}} \cdot H \cdot 2 \cdot g}{Q_r}} \quad (4.24)$$

Розрахунки проведені за вище викладеною математичною моделлю показують, що величини залишкових осад від удару як зовнішньої, так і внутрішніх частин розробленого варіанта двомасної трамбівки завжди перевищують аналогічні значення осадок у раніше відомого варіанта двомасної трамбівки, що свідчить про її велику здатність до ущільнення ґрунтів основ.

4.3 Теоретичне обґрунтування інтервалу часу між ударами окремих частин двомасної трамбівки

Метод ущільнення водонасичених ґрунтів складається з послідовних ударів одномасною трамбівкою в заданій кількості в кожній точці ущільнення. При цьому після кожного удару одномасної трамбівки в зоні її дії відбувається руйнування структури ґрунту, його розрідження та подальша консолідація, при якій відбувається віджимання порової води та утворення більш щільного укладання частинок ґрунту. Для якісного ущільнення основи необхідно призначити таку часову послідовність Δt між ударами трамбування, при якій наступний її удар здійснюється лише після повної консолідації $t_{\text{ущ}}$ розрідженого шару ґрунту від попереднього удару трамбування.

Як показали результати дослідно-виробничих випробувань двомасової трамбівки, наступний удар другої її частини, зроблений до припинення Δt

процесу переукладання частин від попереднього удару першої $t_{уц}$, призводить до розширення зони розрідженого ґрунту і підвищення тиску води в порах. Даний ефект може бути, насамперед, пояснений явищем тимчасового розвантаження нижчих мас ґрунту в результаті розрідження вищележачого шару від впливу першої ударної частини двомасоної трамбівки.

Враховуючи, що вплив важких трамбівок наближається за своїм характером до дії ударних хвиль при вибуху, для кількісної оцінки збільшення зон розрідження ґрунту при впливі другої частини двомасоної трамбівки може бути використана методика, аналогічна до тієї, яка використовується при визначенні зон ущільнення глибинними вибухами.

Взаємозв'язок між вагою трамбування, висотою падіння та параметрами ударних хвиль може бути виражена залежністю у вигляді

$$\rho, \sigma, h_{уц} = f(\sqrt{\alpha \cdot Q \cdot H}) \quad (4.28)$$

де α – коефіцієнт, що враховує властивості ґрунтового масиву, що ущільнюється, рівний 0,01 – 0,1, в середньому 0,025 м/кН.

$$P_{max} = K_2 \cdot \left(\frac{Q \cdot H}{R}\right)^{\mu_2} \quad (4.29)$$

де Q - вага трамбівки, кН;

H – висота її падіння, м;

R - відстань від центру удару трамбування в ґрунтовому масиві, що ущільнюється, м;

K_2, μ_2 – емпіричні коефіцієнти, отримані за даними вимірювання параметрів ударних хвиль при впливі трамбівки. Як і під час вибухів у водонасичених ґрунтах прийmemo $\mu_2 = 1,05$.

Зі зіставлення даних щодо визначення зон ущільнення ґрунтів при вибуху та при ударі трамбівкою знайдемо

$$P_{max} = 10,0 \cdot \left(\frac{Q \cdot H}{R}\right)^{1,05} \quad (4.30)$$

Теоретичні дослідження показують збільшення на 30 % глибини ущільнення ґрунту при дії двомасоної трамбівки порівняно з одномасною при

однаковій їх масі та висоті скидання, що підтверджується даними порівняльних дослідних випробувань одномасної та двомасної трамбівки.

Вважаючи, що руйнація структури ґрунту закінчується деформаціями зсуву, приймаємо

$$\Delta t = \frac{r}{v_s} \quad (4.30)$$

де Δt – інтервал часу повного руйнування структури ґрунту в зоні впливу першої ударної частини двомасної трамбівки, с;

r – радіус зони розрідження ґрунту, що приймається рівним глибині ущільнення;

v_s - швидкість поширення хвиль від удару трамбування або його частини.

Використовуючи залежності (3.3) – (3.4), (3.7) та (4.30), запишемо

$$\gamma_{BP} \cdot h_{ущ} \cdot \Delta_K = 0,01 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{Q \cdot H}{h_{ущ}} \right)^{1,05} \quad (4.32)$$

за умови $\mu = 1,0$:

$$h_{ущ} = 10,0 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{Q} \cdot H}{\gamma_{BP} \cdot \Delta_K}} \quad (4.33)$$

Відомо, що швидкість поширення поперечних хвиль визначається за виразом

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{G \cdot g}{\gamma}} \quad (4.34)$$

де ρ, γ – щільність та питома вага ґрунту;

g – прискорення вільного падіння;

G – модуль зсуву ґрунту.

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \quad (4.35)$$

де E – модуль пружності ґрунту, кН/м²;

μ – коефіцієнт Пуассона.

За умови спрощення:

$$h_{ущ} = \sqrt{\alpha \cdot Q \cdot H} \quad (4.36)$$

Отримаємо:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{Q \cdot H}{G}} = \sqrt{K \cdot \frac{Q \cdot H}{G}} \quad (4.37)$$

де $K = \frac{\alpha \cdot \gamma}{g} \approx 2\alpha$

Враховуючи, що найбільша ефективність удару другої частини двомасної трамбівки для збільшення глибинного ущільнення досягається при максимальному руйнуванні структури ґрунту та розвитку порового тиску від впливу першої її частини, для практичних розрахунків приймемо $K = 0,2$ с/м.

Розрахунки за формулою (4.37) показують, що інтервал часу між послідовними ударами окремих частин двомасної трамбівки не перевищує кількох десятих секунд.

Для умови, прийнятої в розділі 4.2, припущення, при якому удар другої (внутрішньої) частини двомасної трамбівки повинен здійснюватися до моменту можливого відскоку після удару її першої (зовнішньої) частини, запишемо

$$\Delta t = 2 \cdot t_1 + t_2 \quad (4.38)$$

де t_1 і t_2 – відповідно час пружного та залишкового переміщень першої частини двомасної трамбівки при ударі у напрямку її скидання, с.

Час переміщення ударних частин, що коливаються, двомасної трамбівки з урахуванням прийнятого в розділі 3.2 спрощення у вигляді $\lambda'_z = \lambda_z$ визначається за виразом

$$t_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \lambda_z} \quad (4.38)$$

де λ_z – кругова частота коливань трамбування, 1/с.

Кругова частота коливань трамбівки

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z \cdot g}{Q_r}} \quad (4.40)$$

де K_z – жорсткість основи;

Q – вага трамбівки.

Приймаємо:

$$K_Z = K_Z(r_1) - K_Z(r_2) \quad (4.41)$$

з урахуванням виразу (4.1) маємо

$$K_Z = \pi \cdot C_0 \cdot \left(r_1^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_1} \right) - r_2^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_2} \right) \right) \quad (4.42)$$

де r_1 , r_2 – відповідно радіус зовнішньої та внутрішньої частин двомасної трамбівки.

Вага зовнішньої ударної частини двомасної трамбівки знаходять за виразом

$$Q_r = Q_r(r_1) - Q_r(r_2) = 0,5 \cdot \pi \cdot \gamma_T \cdot (r_1^3 - r_2^3) \quad (4.43)$$

Підставляючи (4.42) та (4.43) у (4.40), отримаємо:

$$\lambda_Z = \sqrt{\frac{C_0 \cdot g \cdot \left(r_1^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_1} \right) - r_2^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_2} \right) \right)}{0,5 \cdot \gamma_T \cdot (r_1^3 - r_2^3)}} \quad (4.44)$$

або для практичних розрахунків:

$$\lambda_Z \approx \sqrt{\frac{g \cdot \left(r_1^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_1} \right) - r_2^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\Delta r_2} \right) \right)}{r_1^3 - r_2^3}} \quad (4.45)$$

Обчислений (4.45) і (4.39) час пружного переміщення зовнішньої частини двомасної трамбівки t_1 радіусом від 1 до 1,5 м становить від 0,012 до 0,016 с.

Час залишкового переміщення t_2 ударних частин двомасної трамбівки визначається за формулою:

$$t_2 = -\frac{v'}{a} \quad (4.46)$$

де v' – швидкість на момент початку переміщення пробки, м/с;

a – прискорення руху трамбівки або її частини, м/с².

Підставляючи (4.3) (4.5), маємо для кільцевої зовнішньої ударної частини двомасної трамбування:

$$R_{\text{пр}} = \pi \cdot \gamma_T \cdot A_k \cdot (r_1^3 - r_2^3) \quad (4.47)$$

З урахуванням (4.43) та (4.47) по (4.16а) знайдемо:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \gamma \cdot A_k \cdot g}{\gamma_T} \quad (4.48)$$

або, для практичних розрахунків, перетворюємо:

$$\alpha = 1,32 \cdot A_k \cdot g \quad (4.49)$$

Перетворюючи (4.27) з використанням (4.15) і (4.47), граничні ваги $Q_{\text{пр}}$ кільцевої зовнішньої ударної частини двомасної трамбівки, що викликають її залишкові переміщення, знайдемо за виразом

$$Q_{\text{пр}} = \frac{3,0 \cdot \pi \cdot A_k^2 \cdot \gamma^2}{2 \cdot H \cdot C_0} \cdot \left(\frac{r_1^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_1}} - \frac{r_2^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_2}} \right) \quad (4.50)$$

З урахуванням (4.43) вираз (4.24) для швидкості початку залишкового переміщення кільцевої зовнішньої ударної частини двомасної трамбівки матиме вигляд:

$$V = \sqrt{V_0 - \frac{6,0 \cdot \gamma \cdot A_k^2 \cdot g}{C_0 \cdot \gamma_T \cdot (r_1^3 - r_2^3)} \cdot \left(\frac{r_1^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_1}} - \frac{r_2^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_2}} \right)} \quad (4.51)$$

або, для практичних розрахунків можливе спрощення:

$$V = \sqrt{V_0 - \frac{5,45 \cdot 10^{-3} \cdot A_k^2 \cdot g}{(r_1^3 - r_2^3)} \cdot \left(\frac{r_1^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_1}} - \frac{r_2^4}{1 + \frac{2}{\Delta r_2}} \right)} \quad (4.50)$$

Таким чином, обчислений за формулою (4.37) інтервал Δt_1 для ущільнення водонасичених ґрунтів може бути скоригований по Δt_2 для отримання максимального гарантованого ефекту привантаження ґрунту основи масою зовнішньої частини двомасної трамбівки при ударі її внутрішньої частини для виключення випору і розриву і при цьому має не перевищувати ці значення.

4.4 Рекомендації щодо призначення параметрів двомасної трамбівки для ущільнення ґрунтів основ

Основним параметром для ущільнень ґрунтів основ двомасною трамбівкою є глибина ущільнення, яка більш точно може бути знайдена з використанням залежностей (3.3), (3.4), (3.7) та (4.30). Для орієнтовних розрахунків може використовуватись залежність:

$$h_{уц} = \sqrt{\alpha \cdot Q \cdot H} \quad (4.53)$$

де $\alpha = 0,1-0,01$ м/кН;

Q – вага трамбування, кН;

H – висота скидання трамбування, м;

причому на попередній стадії проектування параметрів ущільнення більші значення α рекомендується застосовувати при ущільненні водонасичених ґрунтів, а менші – для ґрунтів природної вологості 6-8% та оптимальної.

Висоту скидання двомасної трамбівки H слід призначати рівною $6r$, а загальна вага Q – виходячи з питомого статичного тиску на ґрунти основи не менше 0,015 – 0,02 МПа.

Співвідношення мас внутрішньої Q_2 і зовнішньої Q_1 ударних частин двомасної трамбівки має становити:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1}{(1,0...1,5)} \quad (4.54)$$

а відповідних площ основи –

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{(1,5...3,0)} \quad (4.55)$$

Інтервал часу Δt між ударами окремих частин двомасної трамбівки повинен призначатися за формулою

$$\Delta t = \sqrt{\frac{K \cdot Q \cdot H}{G}} \quad (4.56)$$

де K – коефіцієнт умов ґрунтів $\text{с}^2/\text{м}^3$;

G – динамічний модуль зсуву ґрунту основи, МПа.

Необхідно, щоб отримане значення Δt за формулою (4.56) не перевищувало 0,05–0,07 для того, щоб максимально використовувати ефект привантаження ґрунту масою зовнішньої ударної частини двомасної трамбівки при ударі її внутрішньої частини. Причому нижня межа практично повністю виключає вплив відскоку на ефективність впливу двомасної трамбівки за рахунок додаткового привантаження ґрунту масою зовнішньої частини при ударі внутрішньої.

За відомим Δt різниця у висотах падіння Δh окремих ударних частин двомасної трамбівки має бути:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot (H + \Delta h)}{g}} - \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \quad (4.57)$$

де H - висота скидання двомасної трамбівки на ґрунти основи, м;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

ВИСНОВКИ

Відповідно до викладеного в магістерській роботі ставилися та вирішувалися такі завдання: в розділах з першого по четвертий виконано теоретичні дослідження існуючих методів підсилення ґрунтів основ, в п'ятому розділі виконано розрахунок пального фундаменту за наданими похідними даними.

В цілому, проектування основ ущільненням та закріпленням є важливим етапом будівельного процесу, який дозволяє створювати міцні та стійкі фундаменти для об'єктів різного призначення. У сучасній будівельній практиці підсилення ґрунтів основ є ефективним прийомом покращення фізико-механічних властивостей як природних, так і техногенних основ у ґрунтових спорудах, що збільшує надійність та економічність споруд.

У зв'язку з тим, що потреби гідроенергетичного та інших видів будівництва в якісному облаштуванні насипів, підготовці основ, зведенні ґрунтових споруд тощо, дуже великі, вдосконалення методів їх ущільнення є важливим завданням.

Проектування основ вимагає високого рівня експертизи та досвіду зі створення конструкційних і технологічних рішень. Тому для його виконання необхідне залучення спеціалісти з різних галузей, таких як інженери-геотехніки, будівельні інженери, архітектори та інші фахівці.

Важливо також враховувати рекомендації відповідних нормативних документів та експертів у галузі будівництва, а також конкретні умови будівництва та властивості ґрунту.

Для ущільнення ґрунтів використовується як статичне, і динамічне навантаження чи його поєднання. Для ущільнення незв'язних і слабозв'язкових ґрунтів основ застосовуються динамічні методи ущільнення, т.к. статичне їхнє навантаження малоефективне.

Для ущільнення потужних шарів ґрунту застосовуються глибинні методи динамічного ущільнення основ важкими трамбівками, вибухами та віброущільненнями ущільнювачами типу «ялинка».

В основу методики вибору того чи іншого способу вібродинамічного ущільнення основ покладена величина вібродинамічної дії, яка залежить, від основних робочих параметрів ущільнюючих снарядів і механізмів, маси зарядів, ваги і висоти скидання трамбування, маси і вимушувача.

Найбільш поширеним методом ущільнення основ є їх поверхнєве ущільнення в умовах пошарового укладання ґрунтових матеріалів усіх видів в основному віброкотками.

Ущільнення ґрунтів важкими трамбівками застосовується для підсилення піщаних і глинистих ґрунтів основ за їх оптимальної вологості.

В даний час для ущільнення ґрунтів основ застосовуються одномасні трамбівки у вигляді розпластаної плити круглої або багатокутної форми конфігурації в плані. Дані трамбівки мають істотні недоліки, що виражаються у значному випорі та розпушенні ґрунту в місці удару трамбівки та неможливості підвищити глибину ущільнення ґрунтів основи без збільшення маси та висоти скидання такої трамбування.

Конструкція двомасної трамбівки, що складається з двох окремих ударних мас, що послідовно взаємодіють з ґрунтом із заданим інтервалом часу, позбавлена зазначених недоліків.

Використання такої трамбівки дозволяє збільшити обсяг втрамбованого ґрунту та глибину ущільнення основи порівняно з одномасною трамбівкою, при однакових їх масі та висоті скидання.

Вибуховий метод ущільнення знайшов широке застосування для ущільнення просадних лесових ґрунтів основ. Спосіб ущільнення ґрунтів глибинними вибухами полягає у послідовному зануренні на ущільненій ділянці основи зарядів ВР на задану глибину з певним кроком з наступною активацією.

Ущільнення водонасичених ґрунтів основ методом послідовного підривання зарядів є більш ефективним, порівняно з методом одночасного підривання за рахунок багаторазового руйнування структури ґрунту при послідовному підриванні зарядів. Метод ущільнення, заснований на використанні цього явища, дозволяє на 25-30% збільшити відносні осадки шару основи, що ущільнюється, і досягти значно більшої щільності укладання ґрунтів основи.

Метод глибинного віброущільнення ґрунтів основ установкою поздовжнього вібрування, з просторовим ущільнювачем у вигляді «ялинки». Основною перевагою даного методу порівняно з іншими методами, такими, як вибуховий метод, трамбування та віброукатка, є можливість ущільнення маловологих ґрунтів основ на глибину понад 2,5-3 м (при насиченні їх водою безпосередньо в процесі роботи віброущільнювача).

Однією із переваг проектування основ ущільнених ґрунтовими палями є те, що вони дозволяють зберігати природні ресурси та економити на використанні матеріалів. Також цей метод може бути застосований на будівництві в умовах, де традиційні методи будівництва не є можливими або не ефективні.

Ін'єкційний метод закріплення ґрунту має кілька переваг, включаючи швидкість виконання, точність контролю та можливість використання в різних умовах ґрунту. Він може бути застосований для підсилення основ будівель, тунелів, стін підвалів, мостів та інших інженерних споруд. Цей метод зручний до використання як на початкових етапах будівництва так і на останніх етапах або під час експлуатації об'єкта, для усунення виявлених недоліків.

Досить часто на практиці в будівельному проекті використання якогось одного окремого методу підсилення основ не дає потрібного результату і за результатами геологічних досліджень доводиться поєднувати методи або їх окремі елементи для досягнення бажаного результату.

СПИСОК ВИКОРИТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вільна електронна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення: 20.08.2023).
2. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. [Чинний від 2019–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 128 с.
3. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 36 с.
4. Пошукова система на основі генеративного попередньо-тренованого трансформера. URL: <https://chat.openai.com/> (дата звернення: 20.09.2023)
5. Технологія будівельного виробництва: навчальний посібник / В.М. Гуденко. – Київ : Аграрна освіта, 2010. – 481 с
6. Офіційний сайт Menard Group <https://www.menard-group.com/> (дата звернення: 20.10.2023).
7. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: ”Пороги“, 2012. – 197 с.: іл.
8. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлєв, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников. – Полтава : ПНТУ, 2003. – 446 с.: іл.
9. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник /за ред. Л. М. Шутенка. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 563 с.
11. Механіка ґрунтів : навчальний посібник / М.М. Костюченко. – Інтернет-ресурс Київського університету. – 116 с.
12. Idriss, I.M., Boulanger, R.W. Soil liquefaction during earthquakes. USA, California: EERI, 2008, 240 p.

13. ДСТУ Б В.2.6-12-97 Конструкції будівель і споруд. Двері підвищеної міцності. Методи механічних випробувань. [Чинний від 1997–07–01]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури України, 1997. 62 с.

14 ДСТУ-Н В.1.1-27-2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011–11–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.