

6. ШТУЧНІ ОСНОВИ

6.1. РІЗНОВИДИ ШТУЧНИХ ОСНОВ, ЯКІ ВИГОТОВЛЯЮТЬ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНЕВОГО ТА ГЛИБИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ

Динамічним способом ущільнюють глинисті ґрунти (при коефіцієнті водонасичення $S_r \leq 0,7$) і піски від малого ступеня водонасичення до насичених водою. Ущільнення водонасичених глинистих ґрунтів короточасним навантаженням неможливе через довгочасність процесу витіснення води з пор ґрунту.

Потрібну щільність ґрунту ρ_{ds} , який ущільнюють, визначають через щільність сухого ґрунту ρ_d чи через коефіцієнт ущільнення k_s , що являє собою відношення фактично отриманого значення щільності сухого ущільненого ґрунту ρ_{ds} до його максимального значення за стандартним ущільненням $\rho_{d \max}$:

$$k_s = \rho_{ds} / \rho_{d \max}. \quad (6.1)$$

Орієнтовно $\rho_{d \max}$ може бути визначена як

$$\rho_{d \max} = \rho_s / (1 + w_o \rho_s), \quad (6.2)$$

де w_o – оптимальна вологість ґрунту, яку при поверхневому ущільненні важкими трамбівками орієнтовно приймають $W_o \approx W_p - (0,01 \div 0,03)$, а при укочуванні $W_o \approx W_p$; W_p – вологість на межі розкочування.

Ущільнення ґрунтів важкими трамбівками здійснюють шляхом скидання трамбівки масою 2–6 т із розвинутою подошвою на поверхню ґрунту (рис. 6.1, а). Кількома ударами по одному сліду, а потім із частковим перекриттям слідів за площею досягають ущільнення ґрунту на глибину, приблизно рівну діаметру подошви трамбівки. Спосіб успішно використовується для поверхневого ущільнення лесових просадочних ґрунтів. При виборі трамбівок ураховують вантажопідйомність базової машини й товщину шару ґрунту, що ущільнюється. Залежність між товщиною шару, що ущільнюється, h_0 і діаметром частини трамбівки b , що стикається з ґрунтом, визначають за формулою

$$h_0 = kb, \quad (6.3)$$

де k – коефіцієнт, який дорівнює відповідно для пісків 1,3; супісків – 1,1; суглинків – 1 і глин – 0,9.

Масу трамбівки визначають з умови

$$M = \sigma_r A, \quad (6.4)$$

де σ_r – питомий статичний тиск трамбівки (відношення її ваги до площі основи A) повинен бути для пісків не менший ніж 15 кПа, а для глинистих ґрунтів – 20 кПа. Кількість ударів трамбівки по одному сліду для досягнення необхідної щільності сухого ґрунту залежить від маси трамбівки (чим більша маса трамбівки, тим меншу кількість ударів виконують по одному сліду). Ущільнення ґрунтів супроводжується зниженням їх поверхні. Цю величину необхідно враховувати при призначенні глибини відкопування котловану з недобором ґрунту

$$\Delta h = (1 - \rho_d / \rho_{ds}) \cdot h \cdot m_c, \quad (6.5)$$

де ρ_d , ρ_{ds} – щільність сухого ґрунту відповідно до і після ущільнення; m_c – коефіцієнт, що враховує бічне розширення ґрунту: при ущільненні в один слід – 1,2; у два сліди – 1,1; у три та більше слідів – 1.

При ущільненні ґрунтів важкими трамбівками критерієм є проектний відказ трамбівки (осідання її за один удар). Цю величину визначають у процесі дослідного трамбування. Вона орієнтовно становить: для пісків – 1 см, глинистих ґрунтів – 1,5 см. Вважається, що продовження ущільнення ґрунту після досягнення проектних значень відказів неефективне.

Основні технічні параметри поверхневого ущільнення (базова машина, діаметр і маса трамбівки, висота їх скидання, кількість ударів або проходок за одним слідом, товщина ущільненого шару ґрунту тощо) наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Основні технічні параметри поверхневого ущільнення ґрунту

Устаткування	Висота скидання трамбівки, м	Кількість ударів або проходок за одним слідом	Товщина ущільненого шару, м, у ґрунтах	
			глинистих	піщаних
Пневматичні трамбівки			0,1–0,2	0,1–0,2
Котки: рівні		6–8	0,1–0,25	0,1–0,25
кулачкові		6–8	0,2–0,35	0,2–0,35
Пневмокотки вагою, кН:				
400		10–12	0,6	0,7
250		10–12	0,5	0,5
Навантажені автомашини:				
БелАЗ		10–12	0,6	0,7
КрАЗ		10–12	0,5	0,5
МАЗ		10–12	0,4	0,4
Трамбувальна машина Д-471		2–3	1,0	1,2
Вібротрамбівки підвісні		25–30*	0,6–0,7	0,7–0,8
Віброкотки вагою, кН:				
50		2–3	-	1,0
20		2–3	-	0,7
Котки вантажами вагою 8–17 кН, що падають		6–8	1,0–1,2	1,3–1,5
Віброплити самопересувні:				
SVP-631		3–4	-	0,5
BSD-63		3–4	-	0,8
Молот подвійної дії вагою 22 кН на металевій плиті		6–8	1,2	1,4
Екскаватори Е-10011, Е-1252 з трамбівкою діаметром $d=1,2$ м, вагою $Q=25$ кН	6–8	12–14	1,5–2	1,8–2,2
Те ж, $d=1,6$ м, $Q=35$ кН	6–8	12–14	2–2,3	2,3
Те ж, $d=1,8$ м, $Q=55$ кН	6–8	12–14	2,5	2,7–3,0
Те ж, $d=2,0$ м, $Q=60–70$ кН	6–8	12–14	3,2–3,5	3,5–3,8
Екскаватори Е-2503, Е-2505 із трамбівкою $d=2,4$ м, $Q=100$ кН	10–12	10–12	5–5,5	6,0
Те ж, $d=3$ м, $Q=150$ кН	10–12	8–10	7,0	8,0

* – Час ущільнення (в секундах) за одним слідом для досягнення відповідного ущільнення.

Відзначимо також, що у Франції на будівництві аеропорту використання надважкої трамбівки масою 200 т, за даними фірми "Луї Менар", дало змогу ущільнити насип і водонасичені піски на глибину до 40 м. Цю трамбівку скидали з висоти 20 м спеціальним стріловим краном. Надважкі трамбівки масою 40...50 т використовують в Англії та Швеції, в Японії – масою 150 т. У Швеції, до речі, трамбівки скидають з висоти 40 м.

Глибинне ущільнення просадочних і насипних ґрунтів полягає в тому, що падаючою важкою циліндричною трамбівкою масою 2,5 т пробивають свердловини з витисканням ґрунту в боки з подальшим заповненням їх місцевим ґрунтом із пошаровим трамбуванням (рис. 6.1, б). Навколо кожної свердловини утворюється зона ущільненого ґрунту діаметром, що в 2–4 рази перевищує діаметр свердловини d . Свердловини можна проходити й методом гвинтового продавлювання спіралеподібними снарядами. Група таких свердловин створює масив ущільненого ґрунту з підвищеними механічними властивостями. Відстань між центрами свердловин ℓ визначають за формулою

$$\ell = 0,95 \cdot d \sqrt{\frac{\rho_{ds}}{\rho_{ds} - \rho_d}}. \quad (6.6)$$

Масу ґрунтового матеріалу оптимальної вологості, необхідного для набивання 1 м довжини свердловини, визначають за формулою

$$m = k_g A \rho_{dc} (1 + w), \quad (6.7)$$

де k_g – коефіцієнт, що враховує збільшення діаметра свердловини при втрамбуванні ґрунту: для супісків – 1,4; суглинків і глин – 1,1; A – площа поперечного перерізу свердловини; ρ_{dc} – щільність сухого ґрунту, що його засипають у свердловину, приймають $\rho_{dc} = 1,75$ т/м³; w – вологість цього ґрунту.

Глибинне ущільнення ґрунтів за допомогою ґрунтових паль також виконують із метою усунення просідання. Аналогічно проводять *ущільнення водонасичених ґрунтів піщаними палями*. Пробивають свердловини під захистом інвентарної труби. У процесі заповнення свердловини ущільненим піском інвентарну трубу поступово вилучають.

Глибинне віброущільнення пухких піщаних ґрунтів здійснюють спеціальним снарядом, з'єднаним із вібратором (рис. 6.1, в). Ефективність методу підвищується у водонасичених пісках або при подаванні води в процесі ущільнення. У Київському НТУБА запропоновано спосіб закріплення слабкого водонасиченого ґрунту, який підстилає намив, шляхом транспортування піску намиву в слабкий шар указаним снарядом (рис. 6.1, г). При цьому досягають підвищення механічних властивостей слабкого ґрунту.

Ущільнення ґрунтів вибухом (рис. 6.1, д) застосовують для водонасичених піщаних ґрунтів, гравію, гальки, щебеню і кам'яної накиді, а також попередньо насичених водою просадочних ґрунтів. Для вибухового способу ущільнення ґрунтів характерні значна потужність розроблюваної товщі, можливість вибуху зарядів на будь-яких глибинах нижче від поверхні ґрунту, в тому числі і під водою, висока однорідність ущільненого ґрунту. Трудомісткість і вартість ущільнення вибухом значно менші, ніж при інших методах ущільнення ґрунтів. До числа недоліків способу відносять необхідність виконання правил техніки безпеки й можливість впливу вибуху на існуючі будівлі та споруди.

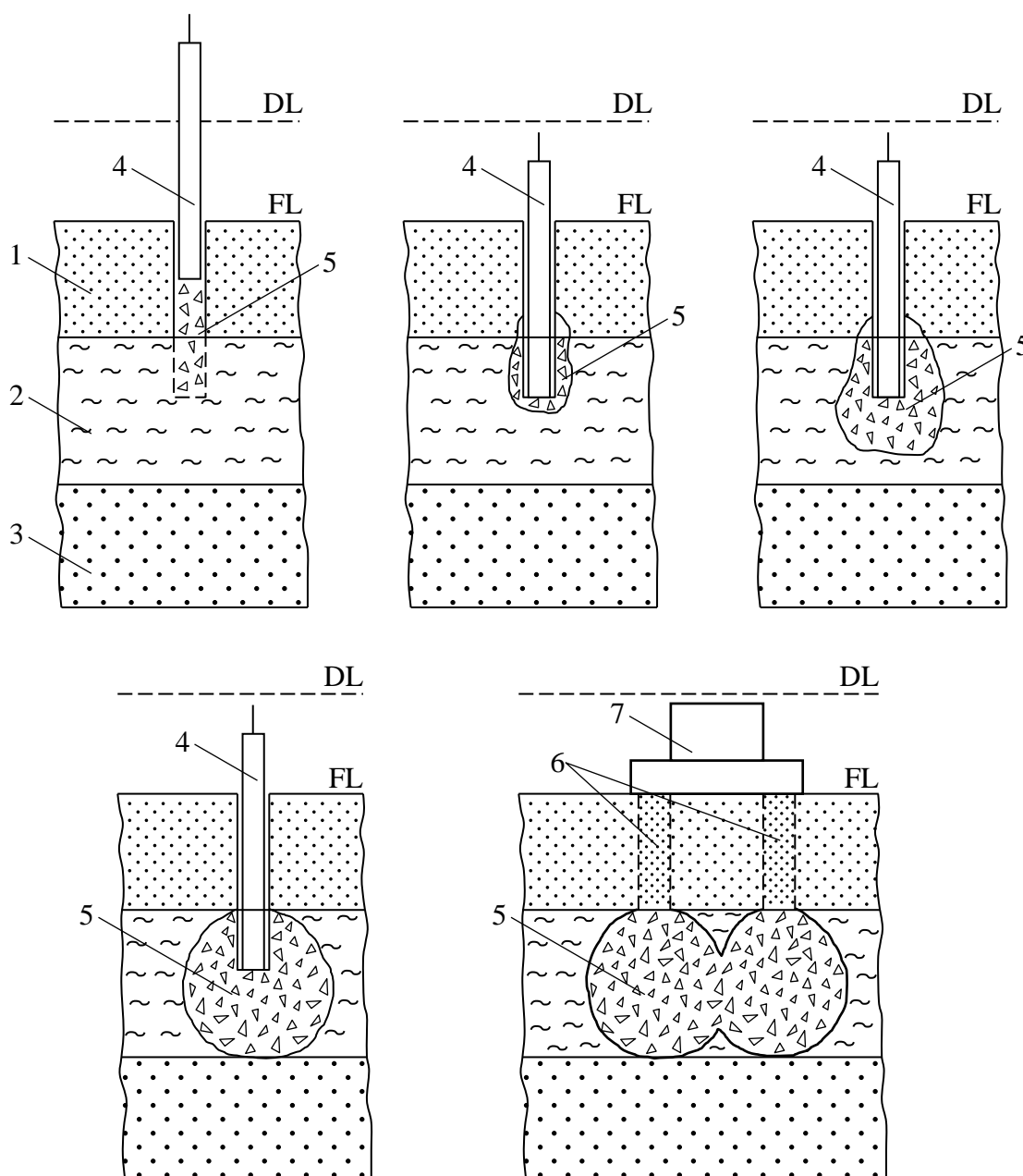


Рис. 6.2. Послідовність улаштування фундаменту на слабкому підстильному шарі, який укріплено втрамбовуванням щебеню (пробивання свердловини, стадії втрамбовування щебеню, влаштування фундаменту мілкого закладання):

1 – намитий ґрунт; 2 – слабкий шар; 3 – підстильний шар; 4 – циліндрична трамбівка; 5 – порції щебеню; 6 – свердловини; 7 – фундамент

Спосіб поліпшення слабого підстильного пласта ґрунту оснований на втрамбовуванні в ґрунт щебеню. З метою збереження земель, придатних для сільського господарства, під будівництво відводять ділянки із складними інженерно-геологічними умовами, часто в долинах річок, у межах міст і промислових зон. Будівництво тут ведуть після влаштування наміву, що перекриває відклади стариць та боліт. У результаті утворюються товщі ґрунтів, у яких під намитим піском залягають прошарки мулів, торфів і заторфованих ґрунтів. Потужність їх звичайно невелика, від 1 до 3 м, проте прорізати їх необхідно палями.

У ПолтНТУ розроблено і впроваджено *спосіб посилення слабого шару*, який підстилає намив, шляхом утрамбовування щебеню через окремі пробиті свердловини. Спосіб полягає в тому, що в намитому піску влаштовують котлован на проектну позначку, яка відповідає подошві фундаменту неглибокого закладання (див. п. 4.3). Потім за допомогою устаткування для пробивання свердловин у намитому піску пробивають свердловини до слабого шару і через них утрамбовують щебінь для витиснення слабого ґрунту. Після закінчення втрамбовування щебеню свердловину заповнюють піском із пошаровим ущільненням тією ж трамбівкою. На підготовлених таким чином основах споруджують фундамент мілкового закладання. На рис. 6.2 показано технологію запропонованого способу.

Згідно з результатами штампових випробувань утрамбовування щебеню в слабкий шар змінює умови деформування основ так, що абсолютно безпечна перша стадія (ущільнення) проявляється при більших у 2–3 рази середніх тисках під подошвою штампа порівняно з даними випробувань ґрунтів природного складу.

6.2. ГРУНТОВІ ПОДУШКИ

Для заміни слабого стисливого ґрунту під подошвою фундаментів у розроблений котлован чи траншею укладають з ущільненням шари місцевого піску чи глинистого ґрунту. Це дає можливість знизити глибину закладання фундаментів, збільшити міцність основи, зменшити осідання. Метод дістав назву *ґрунтових подушок*.

Подушки з піску використовують для заміни насипних, слабких піщаних або глинистих ґрунтів вище від рівня ґрунтової води і нижче від розрахункової глибини промерзання ґрунту. Матеріалом для таких подушок є крупні піски або піски середньої крупності. Після розроблення котловану на глибину закладання фундаменту і висоти самої подушки на дно відсипають шарами 20 – 40 см пісок, його зволожують, ущільнюють вібраторами чи механічними трамбівками. Слід використовувати піски без органічних домішок і мерзлих включень. Котлован для влаштування подушок розробляють ширшим, ніж ширина фундаменту, який може бути стрічковим, окремим, перехресним або із суцільної залізобетонної плити.

Піщані подушки розподіляють тиск від фундаменту на більшу площу і завдяки розсіюванню напружень зменшують його вплив на слабкий підстильний шар. У водонасиченому ґрунті, який погано утримує укоси і не сприймає горизонтального навантаження, подушки передбачають значно більшої ширини, ніж подошва фундаменту, тому в таких умовах доцільно подушку влаштувати між бічними шпунтовими стінками.

Висоту піщаної подушки визначають з урахуванням розрахункового опору слабого ґрунту на рівні подошви подушки. Повинна задовольнятися умова

$$\sigma_{zg.n} + \sigma_{zp.n} = \sigma_{zg.n} + \alpha(P - \sigma_{zg.0}) \leq R_{wb}, \quad (6.8)$$

де $\sigma_{zg.n}$ – тиск від власної ваги ґрунту на глибині, що дорівнює відстані від поверхні до рівня подошви подушки, кПа; $\sigma_{zp.n}$ – додатковий тиск на рівні подошви, кПа; R_{wb} – розрахунковий опір слабого ґрунту на глибині z , кПа.

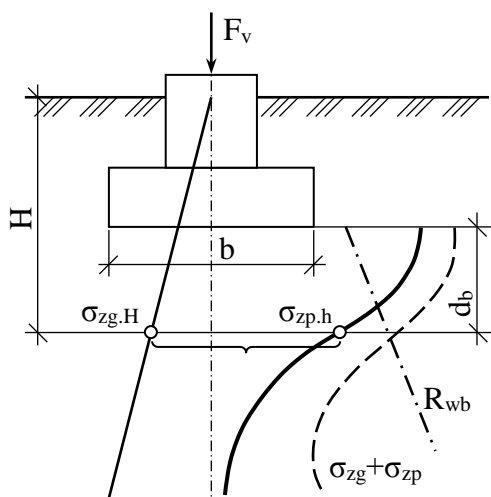


Рис. 6.3. Схема для розрахунку висоти піщаної подушки (суцільною тонкою лінією показана епюра тиску від власної ваги ґрунту, суцільною жирною – епюра додаткового тиску, штриховою – сумарна епюра тиску, штрих-пунктирною – епюра розрахункового опору слабкої основи)

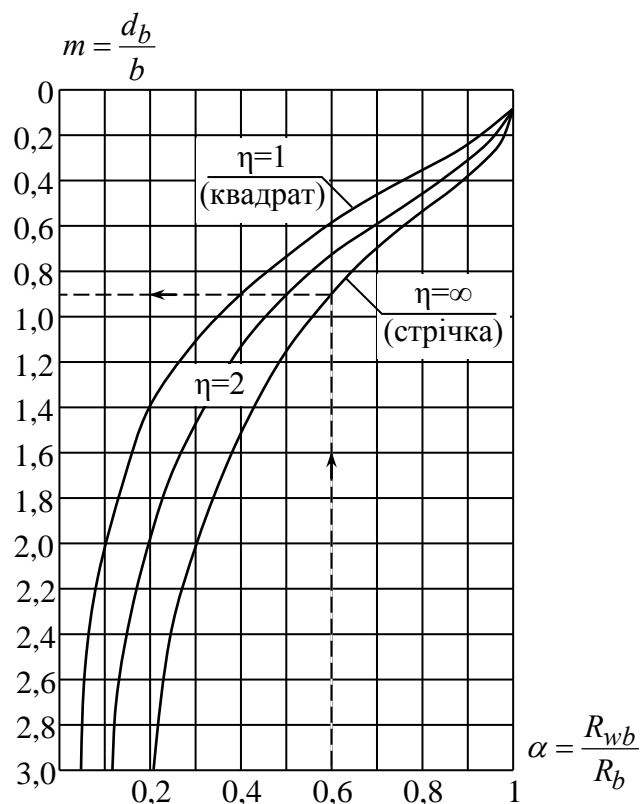


Рис. 6.4. Графік для визначення габаритів піщаної подушки під стрічкові та окремі фундаменти:

$m=d_b/b$ – коефіцієнт, який визначають за відношенням висоти подушки d_b до ширини підшови фундаменту b ; $\alpha=R_{wb}/R_b$ – коефіцієнт, який визначають за відношенням розрахункового опору слабкого ґрунту R_{wb} до розрахункового опору матеріалу подушки R_b

Для визначення висоти подушки можна використати графік (див. рис. 6.3). Висоту подушки визначають за точкою перетину епюри сумарного тиску $\sigma_{zg} + \sigma_{zp}$ з епюрою розрахункового опору слабкого ґрунту.

Висоту піщаної подушки можна також визначити за графіком. Його використовують для попередніх розрахунків подушки під окремі квадратні або прямокутні фундаменти, а також стрічкові фундаменти. Послідовність визначення висоти подушки за допомогою графіка така:

1. За проектним значенням щільності піщаної подушки і типом піщаного ґрунту за таблицею В.1 додатка В до ДБН В.2.1-10-2009 встановлюють кут внутрішнього тертя та питоме зчеплення.
2. За таблицею Е.2 додатка Е до ДБН В.2.1-10-2009 визначають розрахунковий опір матеріалу подушки R_b .
3. Використовуючи фізико-механічні показники слабкого ґрунту, визначають розрахунковий опір слабкого ґрунту R_{wb} .
4. Встановлюють розміри фундаменту, що спирається на подушку.
5. Визначають із співвідношення розрахункових опорів

$$\alpha = R_{wb} / R_b. \quad (6.9)$$

6. З графіка (рис. 6.4) за α встановлюють співвідношення висоти подушки та ширини підшови фундаменту $m=d_b/b$, а також саму висоту подушки $d_b=mb$.

Подушки, які утворюють з глинистого ґрунту, найчастіше застосовують у ґрунтових умовах I типу за просадочністю чи тоді, коли потрібно створити водонепроникний екран. Доцільно використовувати цей метод, якщо коефіцієнт водонасичення ґрунту $S_r \leq 0,7$ на глибину частини або всієї деформованої зони. Розробляють котлован на глибину, яка складається з глибини закладання фундаменту і висоти самої подушки. Далі ґрунт, раніше вийнятий із котловану, вкладають шарами завтовшки 0,2 – 0,3 м на дно, обробляють котками або трамбівками до щільності сухого ґрунту $\rho_{d,s} = 1,6 \dots 1,7 \text{ т/м}^3$. При цьому вологість ґрунту повинна бути близькою до вологості на межі розкочування: $W_0 \approx W_p$.

Товщину подушки призначають з умови повної ліквідації можливості просідання в її межах, а також з урахуванням того, що загальна деформація основи (просідання й осідання) не може перевищувати граничні деформації за нормами. Товщину подушки h_s можна визначити за формулою

$$h_s = (P - P_{sl})b / P_{sl}, \quad (6.10)$$

де P та P_{sl} – відповідно середній тиск на рівні підшви подушки і початковий тиск просадочності, кПа.

Розміри подушок приймають залежно від розмірів фундаментів, їх окреслень у плані, тиску, який діє на ґрунт. Якщо подушку використовують для ліквідації властивостей просідання, її габарити можна визначати за формулами

$$b_s = b(1 + 2K_h), \quad \ell_s = \ell + 2bK_h, \quad (6.11)$$

де b та ℓ – ширина і довжина фундаменту, м; K_h – коефіцієнт розподілення горизонтальної деформації, $K_h = 0,3 \dots 0,4$ залежно від величини тиску; b_s та ℓ_s – ширина й довжина подушки в її нижній частині.

Ширина подушки на рівні підшви фундаменту повинна бути більшою за ширину підшви фундаменту не менше ніж на 0,6 м.

Поширений і графічний прийом визначення розмірів подушки для ліквідації впливу просідання. Для цього на геологічний розріз у масштабі наносять обриси фундаменту і, починаючи від його підшви, будують графік зростання деформацій осідання та просідання $S + S_{sc}$. Залежно від геологічної будови нижня межа графіка може розміщуватись на рівні межі стисливої товщі чи на рівні підшви просадочного ґрунту. Потім від найбільшої ординати деформації віднімають у масштабі величину граничної деформації згідно з нормами і залежно від типу будови. Якщо із цієї точки поставити перпендикуляр, то точка перетину його з епюрою деформацій по вертикалі буде знаходитися від підшви фундаменту на відстані, яка дорівнює товщині подушки h_s .

Широке застосування ґрунтові подушки дістали у 60-их роках ХХ століття у Нікополі, Запоріжжі. Метод зарекомендував себе як дешевий, високомеханізований відносно простими агрегатами, з досить надійною системою контролю якості ущільнення.

6.3. ШТУЧНІ ОСНОВИ, ЯКІ УТВОРЮЮТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Певне поширення в практиці будівництва здобула *силікатизація*, тобто нагнітання в ґрунт розчинів, котрі в своєму складі містять силікат натрію (рідке скло). Якоюсь мірою силікатизація нагадує процес, що виникає у природних умовах при створенні пісковиків. Однорозчинна силікатизація полягає в закачуванні в лесовий ґрунт через ін'єктори (металеві перфоровані труби, змонто-

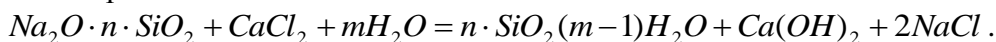
вані з ланок 1...1,5 м завдовжки та діаметром 38 мм) рідкого розчину силікату натрію з добавками коагуляторів. Залежно від технологічної схеми ін'єктори розташовують вертикально, похило або горизонтально щодо поверхні ґрунту.

При *дворозчинній силікатизації* через ін'єктори під тиском 0,2–0,3 МПа по черзі нагнітають розчини рідкого скла ($Na_2O \cdot n \cdot SiO_2$) і хлориду кальцію ($CaCl_2$). Такий метод використовують для закріплення пісків. Закріплювач подають при зануренні ін'єкторів зверху вниз, а розчин для тужавіння маси під час зворотного руху ін'єкторів – знизу вверху.

Взаємодія силікату натрію з сіллю типу хлориду кальцію, яка міститься в природному ґрунті, приводить до утворення гелю кремнієвої кислоти. Останній із часом тужавіє. Через 28 діб міцність цього матеріалу досягає 0,4...1,5 МПа.

Найбільший ефект використання такого прийому виникає при закріпленні лесового ґрунту з коефіцієнтом фільтрації більше ніж 0,2 м/добу. При цьому відбувається: зниження пористості на 7 %; збільшення щільності на 6 %, зчеплення до 8,5 разів, кута внутрішнього тертя майже до 1,2 раза, модуля деформації до 6 разів; зменшення коефіцієнта відносної просадочності у 15 разів.

Реакція закріплення має вигляд



Перший член правої частини формули – гелю кремнієвої кислоти.

Використання силікатизації дозволяє надійно закріпляти незабруднені хімічними речовинами ґрунти. Коли використовувати цю рецептуру для закріплення ґрунтів, забруднених кислими промисловими стоками, виникає явище швидкого гелеутворення з кольматцією пор ґрунту навколо ін'єктора. Як наслідок – неможливість або ускладненість просочування розчину у ґрунт. Це призводить до неоднорідного закріплення ("острівна силікатизація").

Для закріплення лесового ґрунту використовують також газову силікатизацію, при якій, крім закачування розчину рідкого скла, через ін'єктори в ґрунт нагнітають вуглекислий газ. Останній сприяє швидкому та повному тужавінню закріпленої маси ґрунту.

Щоб мати надійні результати силікатизації ґрунтів, необхідно на кожному будівельному майданчику проводити детальні дослідження, у тому числі хімічні аналізи ґрунтів і дослідні роботи, для того щоб на основі цих даних підібрати відповідну рецептуру закріплення і спосіб подавання розчину в ґрунт. Основна задача при підбиранні рецептури – визначення оптимального терміну гелеутворення для конкретних умов закріплення.

Закріплення ґрунту за допомогою силікатизації використовують для створення суцільного масиву закріпленого ґрунту під стрічкові фундаменти або плити та у вигляді поодиноких масивів, між якими є ділянки незакріпленого ґрунту, під окремі фундаменти.

Розміри подошви фундаментів визначають за формулою (4.3), за допомогою якої розрахунковий опір визначають із використанням показників міцності $f_{п}$ і $c_{п}$ для силікатизованого ґрунту. Ці показники розраховують після статистичної обробки результатів лабораторних випробувань зразків на зрушення або за таблицею залежно від міцності кубиків силікатизованого ґрунту у віці 28 діб.

Закріплення ґрунтів лужними розчинами можна вважати альтернативою силікатизації при закріпленні водонасичених лесових ґрунтів. У ґрунт за технологією силікатизації подають лужний розчин високої концентрації (більше ніж 2,5 рН). Для цього використовують розчин гідроксиду натрію (каустик). З часом, внаслідок взаємодії глинистих мінералів із лугом, ґрунт набуває високої міцності і водостійкості при порівняно невеликих загальних витратах.

Смолізацію, тобто нагнітання в ґрунт карбамідної смоли з соляною чи щавлевою кислотою, використовують для закріплення пісків. Технологія робіт аналогічна тій, яку застосовують при силікатизації. Деякою перевагою смолізації перед силікатизацією є можливість досягнення більшої міцності закріплено-

го масиву. Залежно від коефіцієнта фільтрації ґрунту радіус закріплення r під час смолізації коливається від 0,3 до 1 м. Відстань між ін'єкторами приймають $\ell_d = 1,5 \dots 1,7r$, що дає можливість створити суцільне закріплення масиву.

Для закріплення ґрунту, що має велику водопроникність (вивітрілі скельні породи, гравій, галька, гравійні та крупні піски), іноді застосовують *цементацию*. Вона полягає в нагнітанні в ґрунт суміші цементу, води і добавок у вигляді дрібного піску, кам'яного борошна, іноді бентонітової глини, а також хімічних речовин для прискорення чи, навпаки, сповільнення тужавіння розчину.

Обладнання для цементациї використовують те ж саме, що й для силікатизації або смолізації. Для того щоб виключити просочування розчину через свердловину нагору, верхню її частину влаштовують більшого діаметра і заповнюють цементним розчином, а потім після його тужавіння та утворення цементного стовпа через нього знов пробурюють свердловину. Для цементациї використовують розчинонасоси. Радіус закріплення визначають дослідом.

Фахівцями Придніпровської ДАБА досліджено й впроваджено у практику будівництва метод закріплення ґрунтів (пісків, супісків і суглинків, у т.ч. просадочних) *ін'єкцією цементних і цементно-силікатних розчинів під високим тиском*. Особливість методу полягає в тому, що суцільність масиву може бути порушена ("розрив шару") із заміщенням ґрунту цементним розчином. Завдяки введенню розчину досягається ущільнення ґрунту та його армування прошарками цементного каменю. Свердловина має діаметр 50–152 мм. При закріпленні масивів ґрунту цим методом використовують такі технологічні схеми:

- нагнітання за технологією "зверху – донизу", в якій передбачається установка у верхній зоні кондуктора та його цементация, буріння першого інтервалу і нагнітання розчину під певним тиском, витримка свердловини до тужавіння розчину, розбурювання цементного каменю ("пробки") й буріння наступного інтервалу з нагнітанням розчину;

- нагнітання за технологією "знизу – вгору", яке полягає в бурінні свердловини на розрахункову глибину, установці в свердловину перфорованого ін'єктора (пластикова чи металева труба) й цементациї масиву з використанням рухливого пакера та штанг.

Найбільш ефективний метод ін'єкції цементних розчинів під високим тиском для: підсилення основ фундаментів при реконструкції та необхідності збільшення навантажень на існуючі фундаменти; підсилення основ при аварійних ситуаціях (осіданнях, просадках і деформаціях основ існуючих будівель); підготовки просадочних основ; підсилення основ існуючих будівель при веденні поряд робіт у глибоких котлованах. При використанні методу досягається усунення просадочних властивостей ґрунтів, збільшення їх модуля деформації в 2–4 рази, а щільності – в 1,2–1,5 разів, підвищення характеристик міцності на 20–50 % й зростання розрахункового опору ґрунту в 1,5–2,5 рази тощо.

Для зниження водопроникності масиву іноді застосовують нагнітання розплавленого бітуму або бітумної емульсії в скельну породу. У цьому випадку ін'єктори розташовують на відстані 0,8–2 м. Для того щоб бітум не холонув під час закачування його в ін'єктори, останні обігрівають за допомогою електричного струму. Закачування бітумної емульсії такого обігрівання не потребує. *Бітумізацію* використовують також для утворення водонепроникних завіс.

Суть *термічного закріплення ґрунту* полягає в спалюванні рідкого, твердого, газоподібного палива, яке через форсунку під тиском подають у пробурені свердловини у товщах лесових ґрунтів, котрі віднесено до ґрунтових умов II типу. Одночасно в свердловину за допомогою компресора через трубу подають повітря, щоб забезпечити горіння факела. Після підвищення температури в свердловині до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ починається активне випалювання лесового ґрунту по її стінках. Випалювання продовжують протягом 5...10 діб із регулюванням рівня тиску та місця обмежувачого сальника в свердловині. Створюється стовп випаленого ґрунту діаметром 1,5...3 м. Найбільша висота стовпа – 18–19 м.

Якщо коефіцієнт фільтрації слабкого ґрунту менший за 0,2 м/добу, застосувати силікатизацію неможливо, як і інші з розглянутих вище прийомів закріплення. Відомо, що при пропусканні через ґрунт постійного електричного струму виникає рух вільної та зв'язної води від позитивного електрода (анода) до негативного (катода). Це явище одержало назву *електроосмосу*.

Якщо відкачувати воду, що скупчується біля катода, можна значно зменшити вологість ґрунту. Якщо розмістити електроди паралельними рядами на відстані 0,5-3 м і підключити до одного ряду позитивний полюс генератора постійного струму, а до другого – негативний, то, використовуючи як катоди звичайні голкофільтри, можна порівняно легко осушити глинисті ґрунти з малими коефіцієнтами фільтрації, з яких інакше відкачати ґрунтову воду неможливо. На рис. 6.5 показана схема обладнання для використання явища електроосмосу.

Удосконалюючи таку схему, можна і позитивні електроди (анооди) зробити перфорованими й нагнітати через них у ґрунт рідке скло та коагулятори. Одночасно з рухом води в цьому випадку відбувається закріплення ґрунту. Відстань між електродами приймають таку ж, як і для електроосмосу, а щільність струму визначають дослідним шляхом.

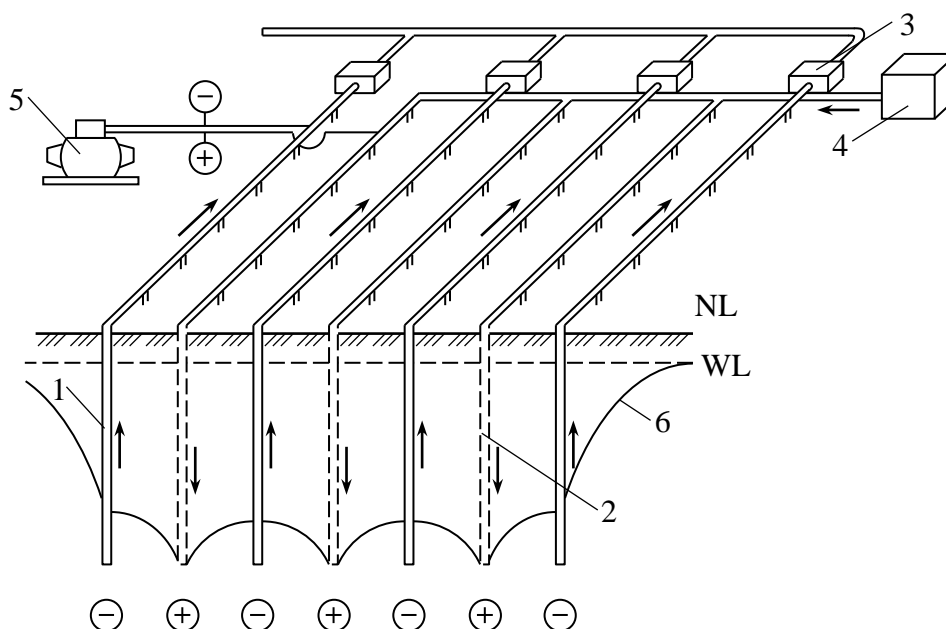


Рис. 6.5. Осушення та електрохімічне закріплення ґрунту:
1 – голкофільтри (катооди); 2 – ін'єктори для нагнітання сольових розчинів (анооди); 3 – насоси для відкачування ґрунтової води; 4 – насос для нагнітання розчину; 5 – генератор постійного струму; 6 – депресійна крива

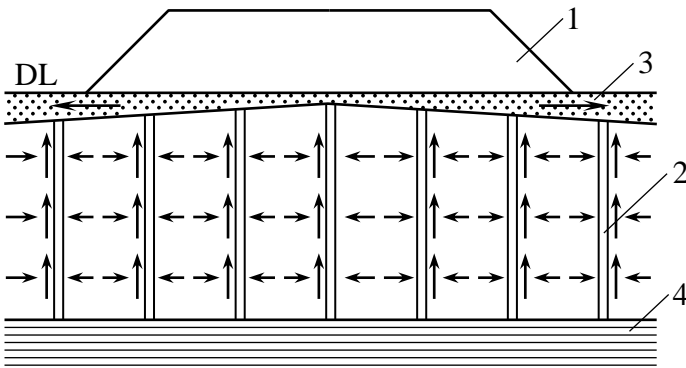


Рис. 6.6. Схема ущільнення водонасиченого ґрунту за допомогою штучних дренажів та з використанням додаткового навантаження: 1 – насип; 2 – вертикальні дрени; 3 – піщаний дренаж; 4 – щільний підстильний ґрунт

ційно спроможного кремнезему, що міститься у ґрунтах і теж утворює цементуючі з'єднання під впливом постійного електричного струму.

При здійсненні водозниження в слабких водонасичених ґрунтах можливе поступове ущільнення шару. Якщо на будівельному майданчику влаштувати водозниження, то осушення масиву буде супроводжуватися його компресійним самоущільненням. Швидкість самоущільнення залежить від швидкості відкачування. Слід мати на увазі, що у глинистих ґрунтах із малим коефіцієнтом фільтрації процес самоущільнення може тривати десятиліттями. Це стосується насамперед дуже пористих водонасичених глин і суглинків, а також торфів.

Для прискорення ущільнення таких ґрунтів використовують додаткове навантаження шару слабого водонасиченого ґрунту насипом і улаштуванням водозбірних дренажів у шарі слабого водонасиченого ґрунту (рис. 6.6.)

Дренування полягає в створенні штучних пор для руху ґрунтової води в завчасно передбаченому напрямі. Для цього поверхню ділянки планують зі схилом від середини до краю, на неї укладають шар матеріалу, що добре фільтрує. У товщі слабого ґрунту влаштовують піщані палі чи за допомогою механізмів занурюють картонні дрени заводського виготовлення. План розміщення дренажів, їх переріз і відстань між ними встановлюють розрахунком, виходячи з умови 90-відсоткової консолідації деформацій основ або залежно від строку ущільнення ґрунту будівельного майданчика. Дрени розміщують у вершинах квадратів або рівнобічних трикутників із відстанями між піщаними стовпами 1,5–3 м, а між дренажами 0,5–2 м.

Далі з місцевого ґрунту влаштовують штучний насип, який являє собою навантаження товщі слабого ґрунту, що спричиняє в ґрунтовій воді поровий тиск, а потім і рух води по палях або дренажах угору й по фільтруючому шару за межі ділянки. У міру витиснення води поступово відбувається ущільнення. Такий метод доцільно використовувати при невеликій структурній міцності слабого ґрунту та початковому градієнті напору підземної води.

Ґрунтоцементні основи фундаментів. Одним з ефективних напрямків зниження витрат на влаштування основ і фундаментів є використання в якості матеріалу ґрунтів, які залягають в основі об'єктів. Це завдання вирішується при використанні бурозміщувального методу виготовлення ґрунтоцементу.

За допомогою спеціального обладнання у певному об'ємі масиву основи виконується розпушування ґрунту без його виймання з масиву. Паралельно у розпушений ґрунт нагнітається водоцементна суспензія і виконується перемішування ґрунтоцементної суміші. Внаслідок тужавіння суміші в основі утворюється міцний циліндричний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі, Такі елементи зручно утворювати нижче рівня ґрунтових вод.

Електрохімічне закріплення ґрунту базується на спроможності іонів заліза, дисоційованих при пропусканні постійного електричного струму, вступати в реакцію з ґрунтом, утворювати з ним цементуючі з'єднання. Після пропускання електричного струму навкруги сталевих паль міцність ґрунту підвищується за рахунок: спроможності електролітично асоційованого заліза утворювати у ґрунті цементуючі новоутворення; участі реакції

Влаштування ґрунтоцементних елементів у ґрунті можливо виконувати за допомогою комплекту обладнання (рис. 6.7), до складу якого входять:

- буровий верстат БМ-811м на шасі автомобіля «Урал», який модернізовано так, що шнеки замінено на бурові штанги діаметром 100 мм, які мають внутрішній канал для подавання цементної суспензії. Робочий інструмент для розпушування ґрунту (бурозмішувач) має отвори для розподілу цементної суспензії за перерізом свердловини. Для з'єднання штанг з напірними шлангами передбачено вертлюг;
- розчиномішалка для виготовлення водоцементної суспензії;
- розчинонасос для нагнітання суспензії у розпушений ґрунт.



Рис. 6.7. Комплект обладнання для влаштування ґрунтоцементних елементів бурозмішувальним методом: 1 – буровий верстат; 2 – розчиномішалка і розчинонасос; 3 – ємність для води; 4 – напірний шланг

Ґрунтоцемент як матеріал є не просто механічною сумішшю. Він є системою, що складається з двох доволі складних за своїм складом і властивостями багатокомпонентних підсистем – цементу й ґрунту. У технологічному процесі виготовлення ґрунтоцементу вирішальним є: максимальна ступінь подрібнення агрегатів ґрунту; точність дозування цементу (чи інших в'язучих речовин) і рівномірність перемішування його з ґрунтом; оптимальна ступінь зволоження (водоцементне відношення) та рівномірний розподіл вологи у ґрунті; максимальне ущільнення ґрунтоцементної суміші при оптимальній вологості; оптимальний режим вологості й температури при тужавінні ґрунтоцементу.

При зведенні об'єктів ґрунтоцементні елементи використовують як палі, коли вони контактують безпосередньо через ростверк із надземною частиною будівлі (рис. 6.8, а); як елементи армування основи для зниження її стисливості (рис. 6.8, б); як захисний екран для зниження впливу новобудови на існуючі споруди (рис. 6.8, в); як протифільтраційна запона для ізоляції звалищ і сховищ

токсичних речовин від навколишнього середовища (рис. 6.8, з); для укріплення бортів глибоких котлованів при будівництві у стиснених міських умовах (рис. 6.8, д); для закріплення зсувонебезпечних ділянок схилів (рис. 6.8, е).

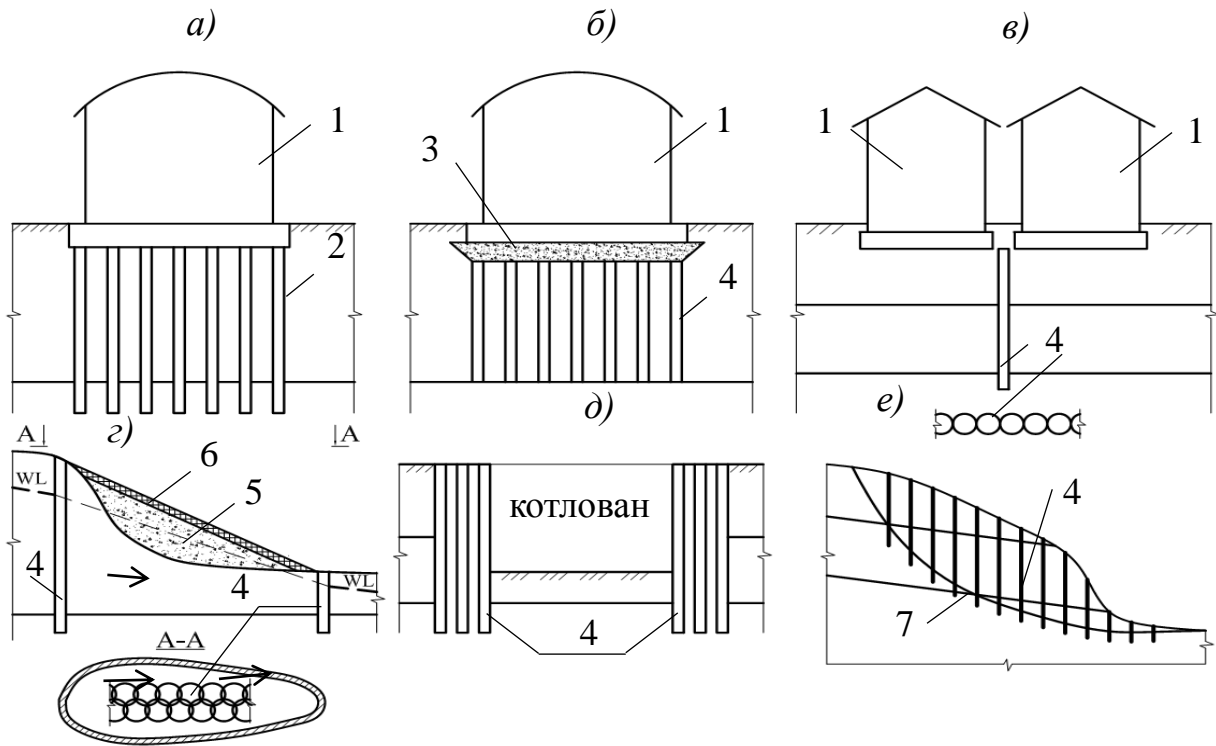


Рис. 6.8. Варіанти використання вертикальних ґрунтоцементних елементів, які виготовлені бурозмішувальним способом; а – ґрунтоцементні палі; б – закріплення слабких ґрунтів основи; в – захисний екран для зниження впливу новобудов для існуючі будівлі; г – протифільтраційна завіса; д – укріплення бортів глибоких котлованів; е – закріплення зсувонебезпечних схилів: 1 – будівля; 2 – ґрунтоцементні палі; 3 – розподільча подушка зі щебеню; 4 – ґрунтоцементні елементи; 5 – токсичні відходи; 6 – захисний шар ґрунту; 7 – поверхня ковзання

З розвитком технологій влаштування ґрунтоцементу безпосередньо у масиві ґрунту отримав впровадження метод влаштування штучних основ *армуванням слабких ґрунтів вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами*. Ефект армування основ полягає в тому, що у певному об'ємі слабого ґрунту частина його замінюється ґрунтоцементом з достатньо великим модулем деформації. Модуль деформації створеної штучної основи визначають як середньовиважений. Його регулюють зміною відстані між сусідніми елементами армування. Між головами елементів армування та фундаментом немає безпосереднього контакту. Їх розділяє подушка зі щебеню товщиною в половину відстані між сусідніми елементами армування.

На рис. 6.9 показано стрічковий фундамент на слабкій основі, підсиленій вертикальними ґрунтоцементними елементами, що прорізають всю товщину слабого шару. Заглиблення ґрунтоцементних елементів звичайно не перевищує 0,5 м з умов надійного прорізання слабого шару. Середньовиважений модуль деформації армованої основи для даних умов склав $\bar{E} = 16$ МПа проти модуля деформації слабого ґрунту $E = 4$ МПа. Відповідно було суттєво знижено осідання стрічкового фундаменту.

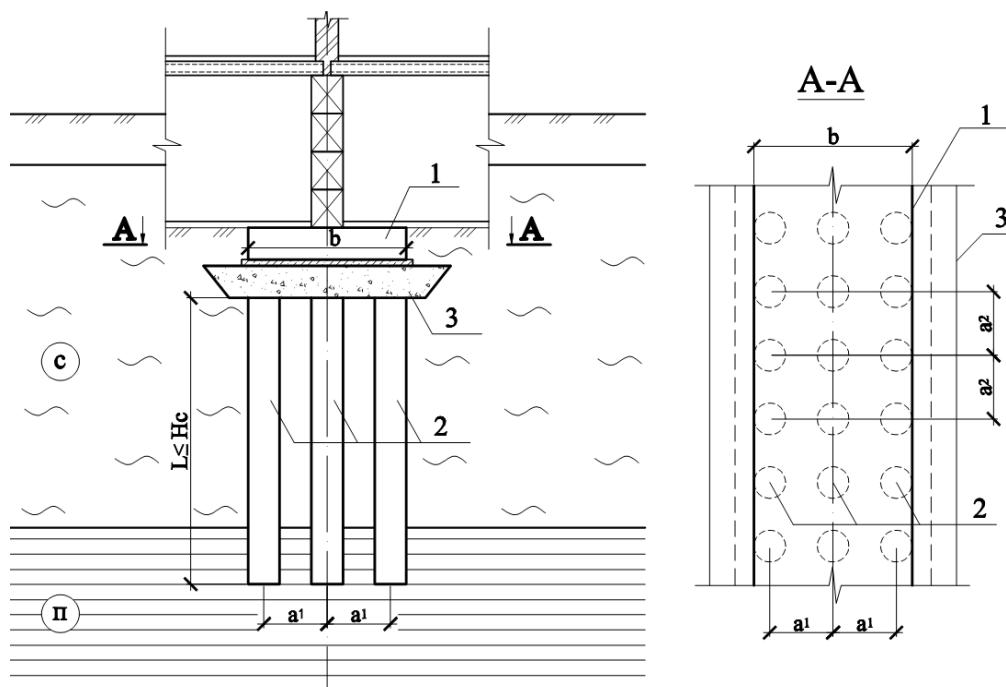


Рис.6.9. Підсилення слабкої основи стрічкового фундаменту вертикальними ґрунтоцементними елементами: с – слабка основа; п – придатна основа; 1 – стрічковий фундамент; 2 – вертикальні ґрунтоцементні елементи; 3 – щебенева розподільча подушка

Контроль за якістю закріплення армованої основи виконують шляхом штампових випробовувань через розподільчу подушку. Рекомендується використовувати квадратний залізобетонний штамп розмірами у плані 1,2х1,2 м. За результатами штампових випробовувань для підсиленої основи визначають модуль деформації та розрахунковий опір. При значних глибинах закріплення для визначення цих характеристик слід використовувати метод пресіометрії.

Література

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
2. Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М.Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.
3. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
4. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
5. Крутов В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев. – М.: АСВ, 2012. – 560 с.
6. Мангушев Р.А. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: Учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков. – М. - СПб: Изд-во АСВ, 2012. – 280 с.
7. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
8. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
9. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б.А. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
10. Фундаменти будівель і споруд. Довідковий посібник / Ю.Л. Винников, В.А. Муха, А.В. Яковлев, О.В. Андрієвська, С.В. Біда. – К.: Урожай, 2002. – 423 с.