

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Київ 2016

УДК 624.138
ББК 38.58
У96

Автори: *В.І. Терновий, канд., техн. наук, професор;
І. М. Уманець, канд., техн. наук, доцент;
Л.С. Саушева, інженер; О.С. Молодід, канд., техн.
наук, доцент*

Рецензенти: *І. Н. Дудар, д-р техн. наук, професор (Вінницький
національний технічний університет),
А. Д. Єсипенко д-р техн. наук, професор;
(Українська Академія наук);
О. А. Тугай, д-р техн. наук професор (Київський
національний університет будівництва і архітектури)*

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як
навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист Міністерства освіти і науки України № 1/II-8514 від
19 червня 2015 року).*

Терновий В.І.

У96 Ущільнення ґрунтів у будівництві: навчальний посібник /
уклад.: В.І. Терновий та ін. – К.: КНУБА, 2016. – 128 с.

ISBN 978-966-627-182-5

Розглянуто фізико-механічні обґрунтування способів
ущільнення ґрунтів, викладено технологію ущільнення різних за
видом і станом ґрунтів природного залягання, насипних та в
обмеженому просторі.

Наведено рекомендації до практики ущільнення ґрунтів, які
основані на вимогах чинних в Україні нормативів, передовому
вітчизняному і зарубіжному досвіді з технології ґрунтоущільнювальних
робіт та використанні сучасних технічних засобів. Висвітлено
положення з контролю якості робіт та охорони праці.

Призначено для студентів вищих навчальних закладів.

УДК 624.138
ББК 38.58

ISBN 978-966-627-182-5

© В. І. Терновий, І. М. Уманець,
Л. С. Саушева та ін., 2016
© КНУБА, 2016

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	6
1.1. Різновиди ґрунтів, які необхідно ущільнювати	6
1.2. Фізичні характеристики щільності ґрунтів	7
1.3. Оцінка щільності ґрунтів за допомогою коефіцієнта пористості.....	8
1.4. Оцінка щільності ґрунтів за допомогою коефіцієнта ущільнення.....	10
1.5. Ущільнення сухого ґрунту	12
1.6. Ущільнення водонасиченого ґрунту.....	16
1.7. Небезпека швидкого навантаження водонасиченого глинистого ґрунту	21
1.8. Небезпека швидкого навантаження під час ущільнення водонасиченого піщаного ґрунту	23
1.9. Залежність між щільністю і вологістю ґрунту.....	26
1.10. Вібруущільнення пісків	28
1.11. Ущільнення ґрунту трамбуванням.....	31
2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	33
2.1. Різновиди силових навантажень на ґрунт у процесі його ущільнення.....	33
2.2. Загальні рекомендації до практики ущільнення ґрунтів.....	38
3. УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ ПРИРОДНОГО СТАНУ.....	43
3.1. Ущільнення водонасичених ґрунтів осушенням їх дренажами.....	43
3.2. Ущільнення слабких ґрунтів привантаженням	45
3.3. Ущільнення слабких ґрунтів привантаженням з улаштуванням піщаних паль	48
3.4. Ущільнення слабких ґрунтів улаштуванням ґрунтових паль	51
3.5. Ущільнення ґрунту важкими трамбівками	52
3.6. Ущільнення сухого ґрунту витрамбовуванням вертикальних порожнин	56
3.7. Динамічне ущільнення (CDC) обладнанням Cofra	58
3.8. Глибинне вібруущільнення водонасичених пісків.....	60
3.9. Ущільнення незв'язних ґрунтів віброфлотацією.....	61

4.	УЩІЛЬНЕННЯ НАСИПНИХ ҐРУНТІВ.....	64
4.1.	Укочування ґрунтів котками статичної дії.....	65
4.2.	Ущільнення ґрунтів віброукочуванням.....	73
4.3.	Ущільнення ґрунтів вібруванням вібраційними плитами і вібропластинами.....	77
4.4.	Ущільнення ґрунтів причіпними котками з ударними багатогранними вальцями.....	81
4.5.	Динамічна консолідація насипних ґрунтів надважкими трамбівками.....	84
4.6.	Ущільнення ґрунту комбінованими способами.....	88
5.	УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ В ОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРІ	93
5.1.	Характеристика обмеженого простору.....	93
5.2.	Обладнання для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі.....	94
5.3.	Технологія ущільнення ґрунту в обмеженому просторі.....	99
5.3.1.	Захисний шар ґрунту.....	99
5.3.2.	Ущільнення ґрунту в пазухах котлованів під фундаменти.....	101
5.3.3.	Ущільнення ґрунту в траншеї з трубопроводом.....	104
6.	КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	108
6.1.	Система визначення якості ущільнення ґрунту.....	108
6.2.	Лабораторні методи визначення щільності ґрунту.....	111
7.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	117
7.1.	Утримання будівельних майданчиків.....	117
7.2.	Вимоги до робочих місць.....	118
7.3.	Захист працівників від дії шкідливих чинників.....	118
7.4.	Вимоги до експлуатації будівельних машин.....	120
7.5.	Вимоги до експлуатація механізованого інструменту.....	122
7.6.	Вимоги до збереження навколишнього середовища.....	123
	Список літератури	125

Вступ

Навчальний посібник «Ущільнення ґрунтів у будівництві» укладено відповідно до програми курсу «Технологія будівельного виробництва», який вивчають студенти вищих навчальних закладів.

Необхідність у такому навчальному посібнику обумовлена тим, що сьогодні під забудову, з метою збереження сільськогосподарських земель, відводять території складені слабкими ґрунтами, колишніми сміттєсховищами, відвалами з неущільнених ґрунтів, які іноді накривають заболочені території, а тому часто такі ґрунти вимагають ущільнення.

Технічні можливості ХХІ ст. дозволяють переміщувати десятки мільйонів кубічних метрів ґрунту для створення нових ландшафтних та насичених штучними водоймами територій під забудову. Якісне ущільнення ґрунтів, у цьому випадку, відіграє провідну роль, а тому фахівець будівельник повинен бути обізнаний у фізичних основах різних способів ущільнення у великому розмаїтті видів та станів ґрунтів.

Ущільнення ґрунтів – один із найважливіших процесів для влаштування зворотних засипок. Якісне ущільнення ґрунту, зрештою, визначає якість будівельної продукції в цілому. Дуже часто недостатня щільність ґрунту виявляється через невірно обраний інженером спосіб ущільнення навіть з великими затратами праці і коштів.

Слід також відмітити, що брак під час ущільнення ґрунту залежить також від виробничих відносин, які склалися в трудовому колективі. Контроль якості та приймання робіт повинні бути на належному рівні.

Метою посібника є розширення упорядкованої навчальної інформації про методи та засоби для ущільнення різних за видом та станом ґрунтів.

Навчальний посібник можна використовувати під час вивчення технології будівельного виробництва та спецкурсів студентами, слухачами курсів підвищення кваліфікації, а також інженерно-технічними фахівцями будівельної галузі.

Видання підготували викладачі кафедри технології будівельного виробництва Київського національного університету будівництва і архітектури кандидати технічних наук, професор В.І. Терновий, доценти І.М. Уманець, О.С. Молодід та інженер Л.С. Саушева.

Автори вдячні рецензентам, докторам технічних наук, професорам І. Н. Дударю, А. Д. Єсипенко, О.А.Тугаю за важливі поради щодо покращення рукопису.

1. ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

1.1. Різновиди ґрунтів, які необхідно ущільнювати

Влаштування земляних споруд, переміщення ґрунтів для укладання їх на новому місці, влаштування зворотних засипок супроводжується процесом ущільнення ґрунту. Влаштуванню основ будівель на слабких та лесових ґрунтах також передують їх ущільнення.

Ґрунти, які потребують ущільнення, розрізняють за видом та за станом. Поділ ґрунтів за видом на пісок, супісок, суглинок, глину, обумовлюється їх значними відмінностями в будівельних властивостях:

- пісок – це продукт механічного руйнування основної породи;
- глина – це продукт хімічного руйнування основної породи.

Найістотніші відмінності між піском і глиною наступні:

1. розміри часточок піску 2,0 – 0,01 мм, глини - менше 0,005 мм;
2. вологість: піску - 0 – 40%, глини - 3 – 610%;
3. пісок має два стани: текучий, твердий. Глина має три стани: текучий, пластичний, твердий. Пластичність – це зміна форми за стиснення без зміни об'єму;
4. пісок, коли висихає не має усадки. Глина коли висихає має велику усадку, аж до виникнення тріщин;
5. пісок під час навантаження ущільнюється мало. Глина може ущільнюватися в широких межах;
6. пісок – водопроникний, пластична глина – практично водонепроникна.

У більшості випадків ґрунти містять у своєму складі і пісок, і глину, а їх властивості мають проміжне положення між властивостями пісків і глин, тому варто ознайомитися з особливостями ущільнення останніх.

Ґрунти, крім розподілу за видом (пісок, глина), розрізняють за станом. Залежно від ступеня заповнення пор водою (рис. 1.1) стан ґрунту може бути сухим, вологим, водонасиченим.

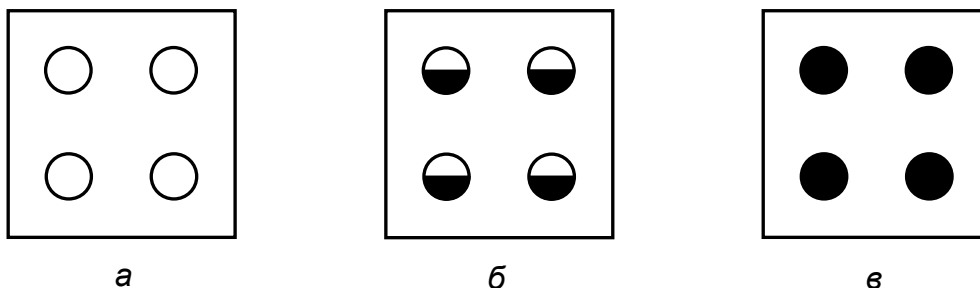


Рис. 1.1. Можливий стан ґрунту за кількістю води (чорний колір) в порах: а – сухий; б – вологий; в – водонасичений

Нижче розглядаються особливості ущільнення ґрунтів у крайніх станах: сухих та водонасичених. Особливості ущільнення ґрунтів, які знаходяться у вологому стані, мають ознаки як сухих, так і водонасичених, а в окремих випадках тільки їм притаманні властивості.

1.2. Фізичні характеристики щільності ґрунтів

Щільність ґрунту в сухому стані (ρ_d) в одиниці об'єму визначається відношенням маси твердих часточок ґрунту в одиниці об'єму (m) до одиниці об'єму ґрунту ($A + B$), де буквою (A) позначено об'єм мінеральної частини ґрунту в одиниці об'єму, а буквою (B) – об'єм пор і обчислюється за формулою:

$$\rho_d = \frac{m}{A + B}; \quad (1)$$

Так як в одиниці об'єму сума об'ємів ($A + B$) рівна одиниці, то формула (1) прийме такий вигляд:

$$\rho_d = m; \quad (2)$$

Пористість – відношення об'єму пор (B) до загального об'єму зразка ($A + B$), яку виражають у відсотках множенням на 100%, вираховується за формулою, і також характеризує щільність ґрунту:

$$\Pi = \frac{B}{A + B} \times 100\%; \quad (3)$$

Для характеристики щільності ґрунту, крім того, користуються коефіцієнтом пористості.

Коефіцієнт пористості (ε) – це відношення об'єму пор до об'єму твердих часточок:

$$\varepsilon = \frac{B}{A}; \quad (4)$$

Коефіцієнт пористості може бути визначений за формулою:

$$\varepsilon = (1 + W) \frac{\rho_d}{\rho} - 1, \quad (5)$$

де W , ρ , ρ_d – фізичні величини, які входять у формулу, визначаються лабораторними дослідженнями ґрунту.

Вологість (W) – це відношення маси води, яка знаходиться в порах одиниці об'єму ґрунту, до щільності ґрунту в сухому стані в одиниці об'єму:

$$W = \frac{m_w}{\rho_d}, \quad (6)$$

Щільність вологого ґрунту як відношення сумарної маси твердих часточок ґрунту та води в порах одиниці об'єму ґрунту до об'єму одиниці ґрунту ($A + B$), яке дорівнює одиниці, визначається за формулою:

$$\rho = \rho_d + m_w \quad (7)$$

1.3. Оцінка щільності ґрунтів за допомогою коефіцієнта пористості

Досвід свідчить, що значення коефіцієнта пористості ґрунтів знаходиться в межах $0 < \varepsilon < 1$ для пісків та $0 < \varepsilon < 16$ для глин.

Ці положення проілюстровані механічними моделями на рисунку 1.2, де:

ε_∞ – коефіцієнт пористості за найбільшої щільності ґрунту, що досягається максимальним навантаженням на ґрунт;

ε_0 – коефіцієнт пористості за найменшої щільності ґрунту, яку може мати ґрунт за відсутності навантаження на нього.

Значення ε_0 більше для дисперсних (з меншим розміром частинок) ґрунтів (рис. 1.3), тому що поверхневі сили частинок, які діють у місцях їх контакту і, напевне, носять молекулярний характер (це сили між плівками води і газів адсорбованих частинками ґрунтів) утримують різні частинки ґрунту в початковому положенні.

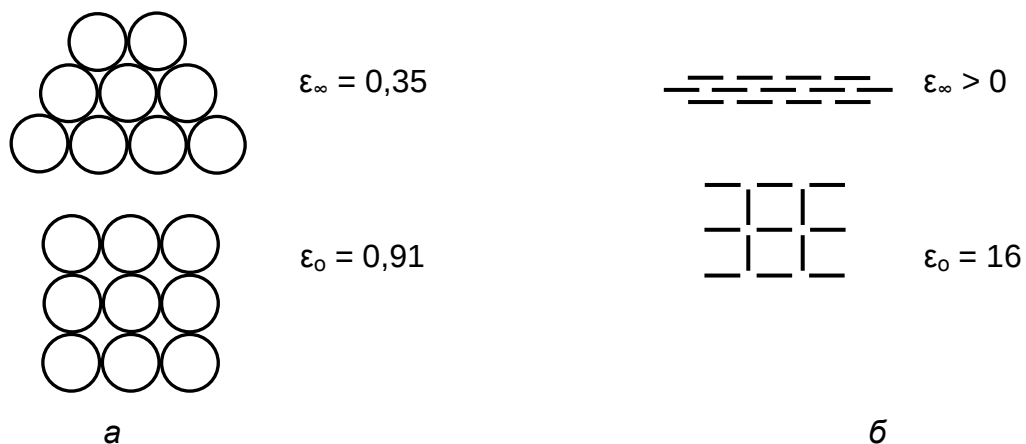


Рис. 1.2. Механічні моделі ґрунтів з максимальним та мінімальним ущільненням: а – пісок, б – глина

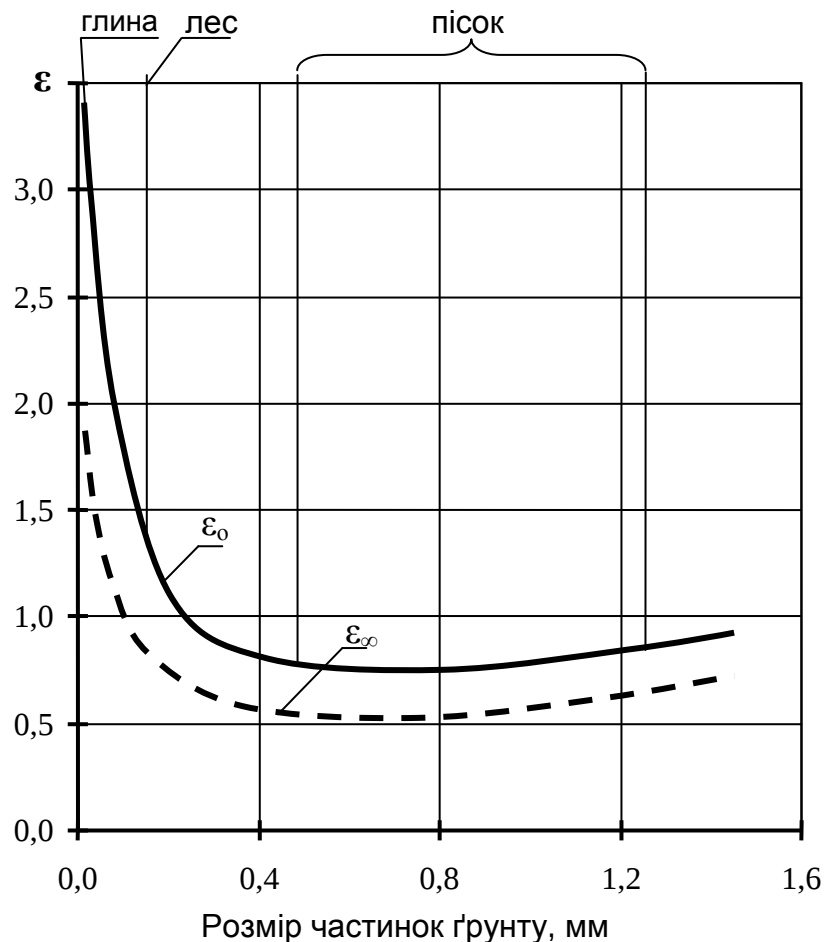


Рис. 1.3. Залежність коефіцієнта пористості від дисперсності ґрунту

У дисперсних ґрунтах вплив цих молекулярних сил є суттєвим, тому що величина цих сил пропорційна другій степені, а вага пропорційна третій степені лінійних розмірів частинок. Отже, зі зменшенням розмірів частинок ґрунту відносно значення поверхневих сил зростає.

Єдине числове значення коефіцієнта пористості ще не дає повної інформації про щільність ґрунту. Наприклад, цемент з діаметром частинок від 0,01 до 0,02 мм за $\varepsilon_{\infty} = 1,22$ знаходиться в найщільнішому стані, а пісок з діаметром частинок від 0,05 до 0,5 мм при $\varepsilon_0 = 1,25$ – пухкий.

Отже, для ґрунтів з різною крупністю значення коефіцієнта пористості може означати в одному випадку, що ґрунт найщільніший, а в іншому – пухкий. Вочевидь, дуже важливо знати, в якому відношенні знаходиться дійсний коефіцієнт пористості до його граничних значень.

Відповідь на це запитання дає метод оцінки щільності ґрунтів з допомогою коефіцієнта ущільнення.

1.4. Оцінка щільності ґрунтів за допомогою коефіцієнта ущільнення

Ущільнення – це зміна коефіцієнта пористості від найбільш пухкого стану до визначеного:

$$\delta = \varepsilon_o - \varepsilon; \quad (8)$$

Максимально можливий інтервал змін коефіцієнта пористості за ущільнення ґрунту $\delta_{\max.}$ визначається різницею граничних значень коефіцієнта пористості:

$$\delta_{\max.} = \varepsilon_o - \varepsilon_{\infty}; \quad (9)$$

Для пісків значення ε_o і ε_{∞} (рис. 3) майже не залежать від крупності зерен, то і значення максимально можливого ущільнення приблизно однакове для всіх пісків.

Відношення фактичної зміни коефіцієнта пористості до його максимально можливої зміни для даного ґрунту характеризує ступінь ущільнення і називається коефіцієнтом ущільнення ($K_{ущ}$):

$$K_{ущ} = \frac{\delta}{\delta_{\max.}} = \frac{\varepsilon_o - \varepsilon}{\varepsilon_o - \varepsilon_{\infty}}; \quad (10)$$

Коефіцієнт ущільнення змінюється від 0 до 1. Якщо він дорівнює одиниці, то ґрунт знаходиться в найщільнішому стані ($\varepsilon = \varepsilon_{\infty}$), а якщо дорівнює нулю, то ґрунт має найбільш пухку структуру ($\varepsilon = \varepsilon_o$).

Залежно від значення коефіцієнта ущільнення піски ідентифікують як:

пухкі	$0 < D < 0,33;$	(11)
-------	-----------------	------

середньої щільності	$0,33 < D < 0,67;$	(12)
---------------------	--------------------	------

щільні	$0,67 < D < 1;$	(13)
--------	-----------------	------

Коефіцієнт пухкості (K_p) – величина, обернена коефіцієнту ущільнення також інколи використовується в будівельній практиці. Його визначають за формулою (14):

$$K_p = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}}{\varepsilon_o - \varepsilon_{\infty}} \quad (14)$$

$$\text{або } K_p = 1 - K_{ущ}. \quad (15)$$

У будівельній практиці щільність ґрунту зручно задавати натуральним значенням показника щільності ґрунту в сухому стані, тобто масою сухої мінеральної частини ґрунту в одиниці об'єму (г/см^3).

Коефіцієнтом ущільнення називається відношення досягнутої щільності ґрунту в сухому стані до максимальної щільності ґрунту в сухому стані, визначеної в приладі стандартного ущільнення за ГОСТ 22733-77.

Максимально можливу щільність конкретного ґрунту встановлюють за результатами випробувань його в спеціальному приладі. Прилад стандартного ущільнення – це сталева циліндрична місткість, внутрішній діаметр і висота якої відповідно дорівнюють 100 мм і 127 мм, а її об'єм дорівнює одному літру. У цю місткість пошарово, у три шари, спеціальною трамбівкою ущільнюють ґрунт.

Трамбівка має круглий штамп (плиту) діаметром 100 мм, у центрі якого перпендикулярно до штампа укріплений з одного боку стрижень. На стрижень одягають, з можливістю рухатись, гирю вагою 2,5 кг з отвором у центрі.

У циліндр закладають шар ґрунту трохи вище за третину висоти, поверхню ґрунту розрівнюють і на неї встановлюють штамп трамбівки. Стрижень трамбівки підтримують у вертикальному положенні однією рукою, а іншою – підіймають гирю і скидають її на штамп з висоти 30 см.

По кожному шару з незв'язних ґрунтів наносять 25 ударів та 40 - зі зв'язних ґрунтів.

Після ущільнення ґрунту його щільність у сухому стані визначають лабораторним методом.

Ущільнення ґрунту в цьому приладі з визначенням його щільності повторюють за зміни вологості ґрунту через 1-2%. Максимальне значення щільності ґрунту в сухому стані і є максимально можливою щільністю цього ґрунту.

Проектне значення щільності співвідноситься з максимально можливою щільністю певного ґрунту через унормований коефіцієнт ущільнення.

Будівельними нормами встановлено значення коефіцієнта ущільнення для різних ґрунтів і споруд. Для відповідальних земляних споруд цей коефіцієнт нормується в межах 0,95 – 1,0.

Ту щільність, яку необхідно забезпечити в інженерних земляних спорудах, тобто необхідну щільність, визначають як добуток максимальної можливої щільності даного ґрунту і коефіцієнта ущільнення, наведеного в нормах проектування земляних споруд.

Вологість, за якої досягнута максимальна щільність ґрунту названа оптимальною.

1.5. Ущільнення сухого ґрунту

Прості експерименти, виконані дослідниками в XIX ст. показали, що після ходьби людини по пухкому ґрунту на ньому залишаються сліди від ніг або залишкові (пластичні) деформації.

Вчений Й. Фенель за допомогою оптичних приладів слідкував за поведінкою забитого в щільний ґрунт кілка, біля якого ходили люди.

З наближенням людини до кілка останній опускався вниз, а коли людина віддалялася, кілок підіймався до попереднього рівня. Завдяки цьому вчений визначив, що ґрунт мав пружні деформації. Він також встановив, що чим більше злежався (ущільнився природним шляхом) ґрунт, тим менше в ньому пластичних деформацій. На деякій глибині від поверхні землі, де ґрунт значно ущільнений, залишкові деформації зовсім зникають, а пружні залишаються, про що свідчить звукопровідність ґрунту та його здатність передавати сейсмічні коливання.

Отже ґрунт, як будь-яке тверде тіло, коли на нього діють зовнішні сили, стискається. Деформація стиснення, як і у всіх твердих тіл, складається із пружних та пластичних деформацій. Величина пружних деформацій свідчить про ступінь пружності ґрунту, а величина пластичних деформацій, головним чином, – про ступінь ущільненості і, в певній мірі, про ступінь випирання ґрунтів в боки. Вивчення закономірностей утворення та величини пластичних деформацій надзвичайно важливе тому, що це, по суті, осідання споруд.

Вертикальна залишкова деформація залежить, головним чином, від ступеня ущільнення ґрунту. Ущільнення ґрунту в будівництві ведуть масивом, в якому ущільнений ґрунт оточений з боків ґрунтовою відсипкою, а тому є можливість моделювати ущільнення ґрунту компресійною кривою, яку визначають у приладах одноосного стиснення (в одометрах).

Одометричне (без можливості розширення) стиснення ґрунту призводить до зміни пористості (до ущільнення) ґрунту.

На рисунку 1.4 приведено графіки зміни коефіцієнта пористості (компресійні криві) глинистих ґрунтів порушеної структури (глин, суглинків та супісків) у випадку їх одометричного стиснення напруженням від 0,0 до 0,4 МПа, а на рисунку 5 типовий графік зміни коефіцієнта пористості піску (компресійна крива) за його одометричного стиснення напруженнями від 0,0 до 1,6 МПа.

З порівнювання кривих (рис. 1.4) витікає, що в глині коефіцієнт пористості змінюється у великому інтервалі значень, отже найбільше ущільнюється глина, менше – супісок, а найменше – пісок (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 свідчить, що пісок інтенсивно ущільнюється в початковому інтервалі напружень, а в подальшому практично не ущільнюється. Із механіки ґрунтів відомо, що α – коефіцієнт ущільнення за зміни одометричних напружень від 0,1 до 0,5 МПа можна

вирахувати за формулою $\alpha = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_1 - P_2}$ і в середньому він дорівнює

: $\alpha \approx 0,01$.

Зміна (зменшення) коефіцієнта пористості ґрунту за його стиснення відбувається з двох причин:

1. Ґрунт під навантаженням зазнає пружних деформацій, які є незначними для пісків, тому що дрібні та пилюваті уламки основної породи не зазнають значного стискання. Найбільші деформації відбуваються в глинах, тому що лускоподібні пластинки глини здатні значно пружинити та згинатися.

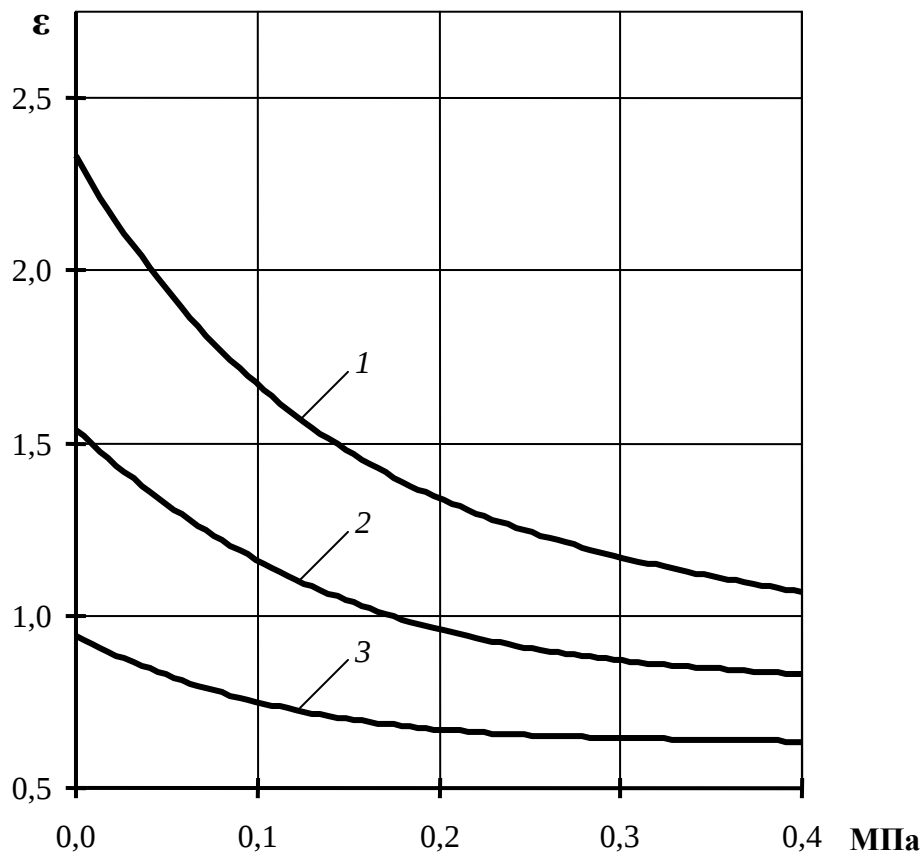


Рис. 1.4. Компресійні криві глинистих ґрунтів: 1 – глина; 2 – суглинок; 3 – супісок

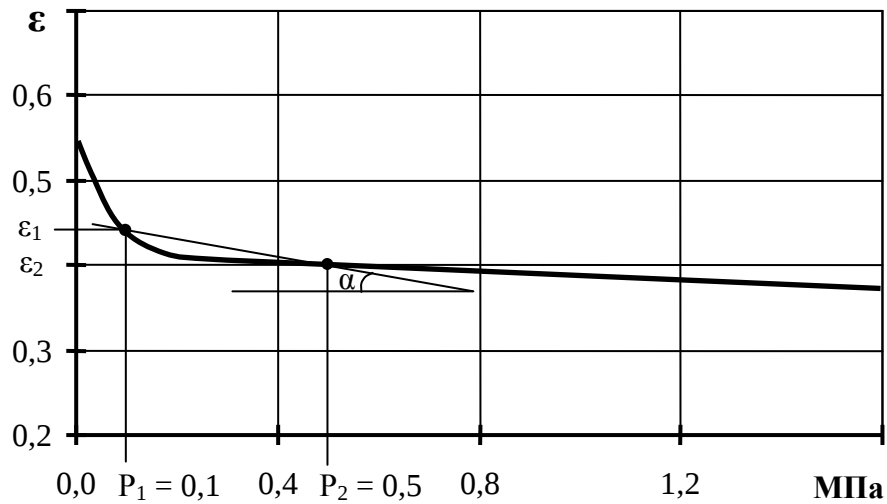


Рис. 1.5. Компресійна крива піщаного ґрунту

2. Ґрунти під навантаженням зазнають пластичних деформацій. Піски під навантаженням переупаковуються, займаючи менший обсяг за незначних деформацій. Глини переупаковуються зі зломом деяких лусочок за значних деформацій. Ці деформації і зміни структури ґрунту, які відбуваються таким чином, незворотні.

На рисунку 1.6 наведено графік залежності деформацій ґрунту від його багаторазового навантаження та розвантаження.

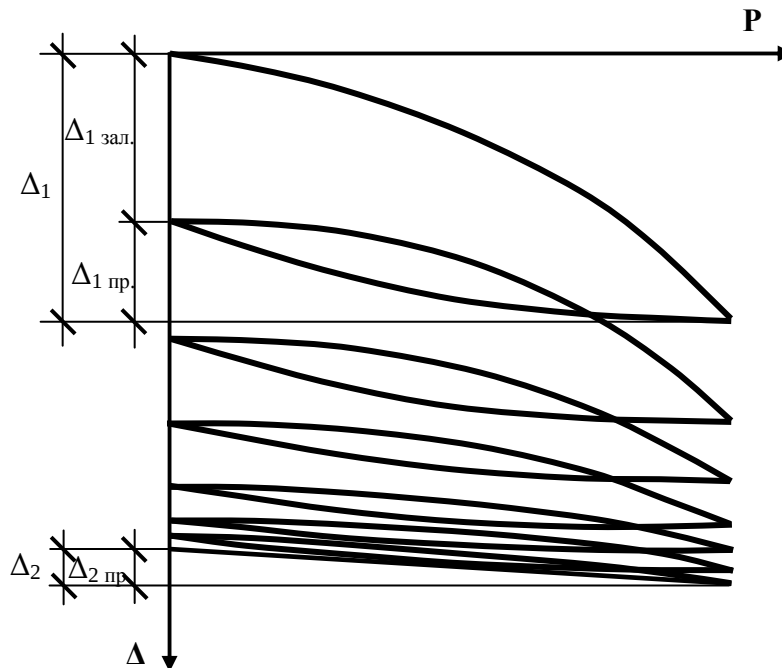


Рис. 1.6. Графік деформацій ґрунту від багаторазового навантаження: P – навантаження; Δ – деформація; $\Delta_{\text{зал.}}$ – залишкова деформація; $\Delta_{\text{пр.}}$ – пружна деформація

З графіка видно, що під час першого навантаження деформації зростають в нелінійній залежності від навантаження, а під час розвантаження ґрунту деформація не тільки зупиняється, але й зменшується, тобто поверхня ґрунту піднімається за рахунок пружних деформацій, але до свого початкового положення не повертається, і залишається залишкова деформація.

Повторне навантаження ґрунту знову викликає деформацію, а під час розвантаження знов проявляються як пружні, так і залишкові деформації.

Видно, що зі зростанням циклів завантаження, як залишкові, так і пружні деформації зменшуються в абсолютній величині, до того ж залишкові деформації, зрештою, зовсім зникають, отже, ґрунт досяг своєї максимальної щільності за цих навантажень.

Пружні деформації за ущільнення ґрунту декількома циклами навантаження зменшуються, а це значить, що те ж саме навантаження створює меншу пружну деформацію. Отже, модуль пружної деформації ґрунту зростає разом зі збільшенням щільності ґрунту.

З графіка також видно, що ґрунт за початкових навантажень стискується (ущільнюється), але з часом, коли ущільнення не відбувається, то ґрунт працює під навантаженням як пружне тіло: пористість зменшується і це зменшення буває зникаючим (пружним) і залишковим (пластичним), що слід пов'язувати з пружними і пластичними деформаціями.

Порівняння компресійних кривих багаторазового навантаження пісків і глин (рис. 1.7) демонструє, що:

1. Для досягнення максимального ущільнення однаковим навантаженням у глинах необхідно створити більше (іноді значно більше) повторних навантажень, ніж у пісках.

2. Зменшення значень коефіцієнта пористості від початкових навантажень більші, ніж від наступних навантажень.

3. Зменшення значень коефіцієнта пористості за рахунок як пластичних, так і пружних деформацій у випадку досягнення ґрунтами максимального ущільнення, більше в глинах, ніж у пісках:

$$\Delta \varepsilon_n < \Delta \varepsilon_z; \quad (16)$$

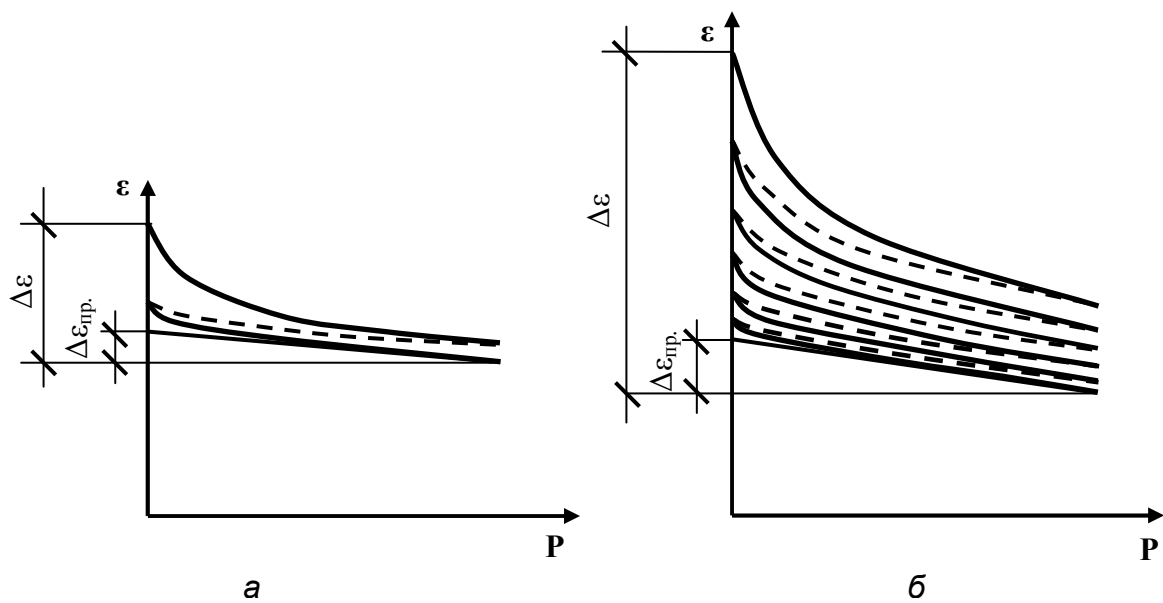


Рис. 1.7. Графік зміни коефіцієнтів пористості піску (а) та глини (б) при багаторазовому навантаженні: $\Delta\varepsilon$ – зміна коефіцієнта пористості; $\Delta\varepsilon_{пр.}$ – зміна коефіцієнта пористості за рахунок пружних деформацій

1.6. Ущільнення водонасиченого ґрунту

Водонасичений ґрунт – це ґрунтова маса, яка складається із ґрунтового скелета та ґрунтової води.

Якщо металевий стакан (рис. 1.8) заповнити ґрунтовою масою, щільно закрити його притертим поршнем, і на поршень зверху покласти гирю вагою, наприклад, 20 кг, то він не осяде.

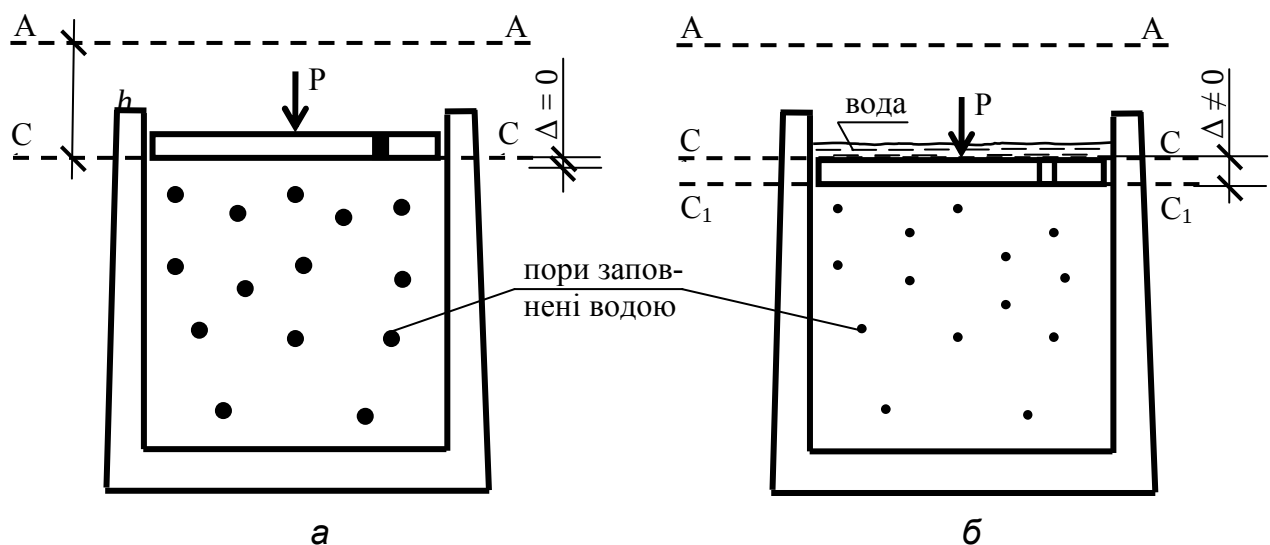


Рис. 1.8. Стиснення ґрунтової маси в замкненому об'ємі: а – отвір у поршні закрито, б – отвір у поршні відкрито

Це можна пояснити тим, що наявність деформацій призводить до зменшення об'єму пор, тобто вода в порах повинна стискатися, а, як відомо, вода практично не стискається (коефіцієнт об'ємного стиснення води рівний $0,000047 \text{ см}^3/\text{кг}$, а ґрунту – $0,000006 \text{ см}^3/\text{кг}$) і ґрунт під всебічним стисненням водою також практично не стискається. Отже, ґрунтова маса не стискається і поршень не осяде.

Якщо поршень замінити поршнем з отвором, то під дією тиску, який створює гиря, поршень почне осідати, вода буде крізь отвір в поршні фільтруватися на поверхню, а ґрунт буде ущільнюватися. Через деякий час цей процес зупиниться.

Цей процес досить зручно аналізувати, користуючись механічною моделлю (рис. 1.9), в якій металевий стакан замінено металевим циліндром, ґрунтову масу імітує металева пружина (ґрунтовий скелет) у водному середовищі (вода в порах ґрунтового скелета).

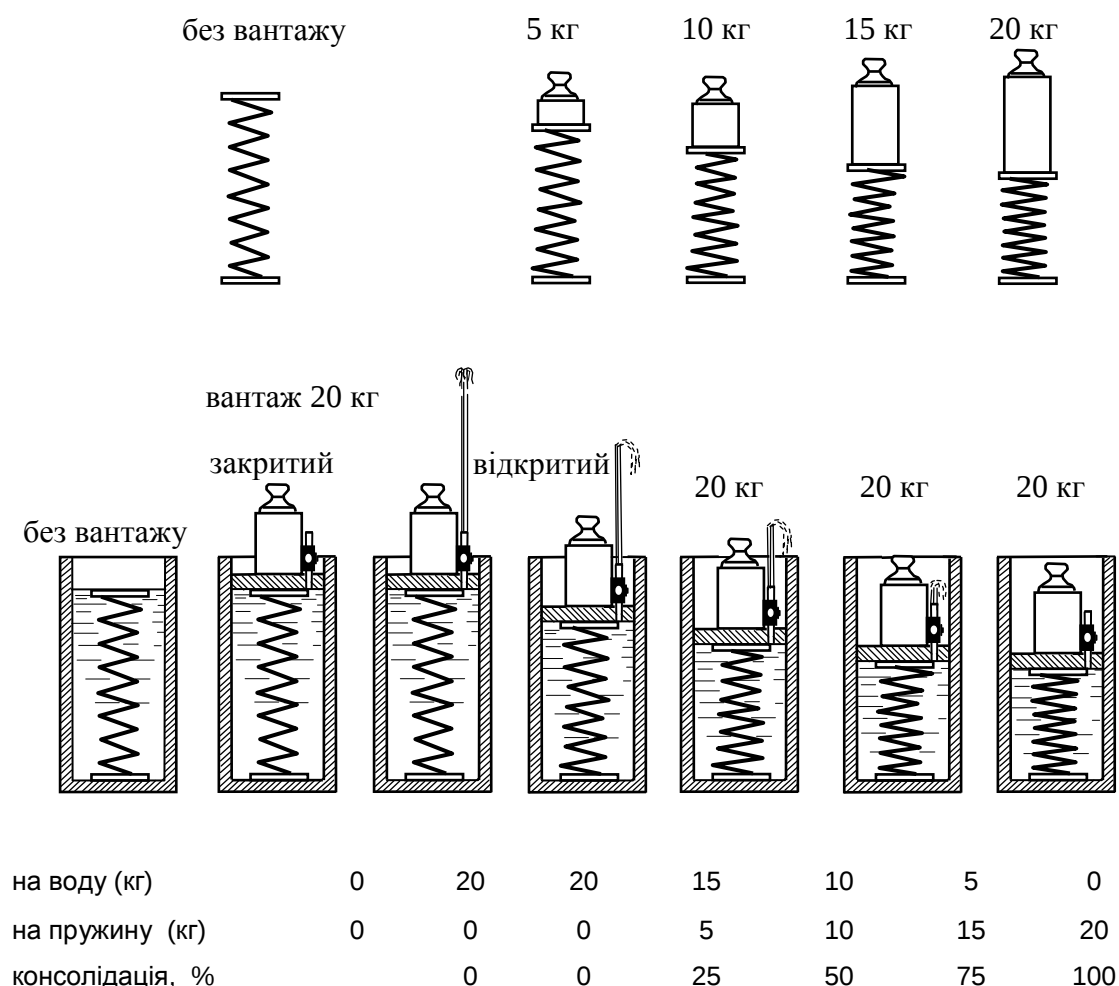


Рис. 1.9. Механічна модель стиснення ґрунтової маси в замкнутому об'ємі

Якщо кран відкрити, то вода, під впливом напору у вигляді фонтану, буде виходити із-під поршня, внаслідок чого її рівень буде поступово знижуватися, а пружина буде стискуватися і сприймати на себе діюче навантаження.

Процес передачі водою навантаження пружині відбувається доти, поки вода буде витікати з-під поршня. Тривалість витікання залежить від пропускної здатності отвору, що імітує фільтраційну здатність ґрунту. На рис. 1.9 внизу цифрами показано процес поступової передачі навантаження пружині від води. Так як із верхньої частини рис. 1.9 відомо, яке навантаження може сприймати пружина за певного її осідання, то, звідси виходить, що знаючи яке осідання має пружина, можна визначити, яке навантаження сприймає пружина в певний момент.

Отже, під час стиснення водонасиченого ґрунту:

1. Розпочинається динамічний процес передачі початкового тиску з води на скелет ґрунту.

2. Об'єм твердого скелета як до стиснення, так і після стиснення залишається незмінним і деформації відбуваються за рахунок зближення твердих часточок скелета, тобто за рахунок зменшення пор.

3. Швидкість ущільнення водонасиченого ґрунту залежить від швидкості фільтрації води із пор об'єму ґрунту, який ущільнюють, чим більше коефіцієнт фільтрації ґрунту, тим швидше йде процес ущільнення.

Фільтрація води в ґрунті відбувається за законом Дарсі, який стверджує, що швидкість руху води в ґрунті пропорційна градієнту напору:

$$q = k \cdot I; \quad (17)$$

де I – градієнт напору (гідралічний уклон); k – коефіцієнт фільтрації, який виражає ступінь водопроникності ґрунту і залежить від виду ґрунту. За $I = 1$ – це швидкість фільтрації.

Коефіцієнт фільтрації залежить від розміру пор в ґрунті. Зі зменшенням пор опір руху води в ґрунті значно збільшується. Це можна продемонструвати наступним прикладом.

Розглянемо два водопроводи: перший із однієї труби великого діаметра (D) і площею отвору (F), другий із n трубок малого діаметра і з такою ж сумарною площею отворів (F). Опір руху води в трубах пропорційний поверхні змоченого периметра. У першому водопроводі

змочений периметр P_D буде рівний $P_D = \pi \cdot D$, а в другому – $P_d = n \cdot \pi \cdot d$. Тому що площі отворів рівні, то:

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4} \text{ або } D = d \cdot \sqrt{n}; \quad (18)$$

А тому, відношення змочених периметрів дорівнює:

$$\frac{n \cdot \pi \cdot d}{n \cdot D} = \frac{n \cdot d}{\sqrt{n} \cdot d} = \sqrt{n}; \quad (19)$$

$$\text{або } \frac{P_d}{P_D} = \sqrt{n} \quad (20)$$

У другому водопроводі змочений периметр в $\sqrt{n}$ раз більший, ніж у першому, а тому опір руху води буде також більшим.

Особливості руху води в порах ґрунту подібні до її руху в трубах, а тому, висновки, які зробили для труб, можна застосувати і для ґрунтів, тобто, опір руху води в ґрунті зростає зі зменшенням розміру пор. Так як пори в глині значно менші ніж у піску, то проникнення води в глині в мільйон раз менше ніж у піску.

Коефіцієнт фільтрації ґрунтів, які ми розглядаємо дорівнює:

- в пісках $0,25 \div 0,01$ см/с;
- в глинах $0,06 \cdot 10^{-8} \div 0,03 \cdot 10^{-8}$ см /с, або 1- 0,1 см за рік.

Гradient напору визначається поділом різниці гідралічних напорів у пунктах, між якими відбувається фільтрація, на відстань між цими пунктами (рис.1.10), за формулою:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (21)$$

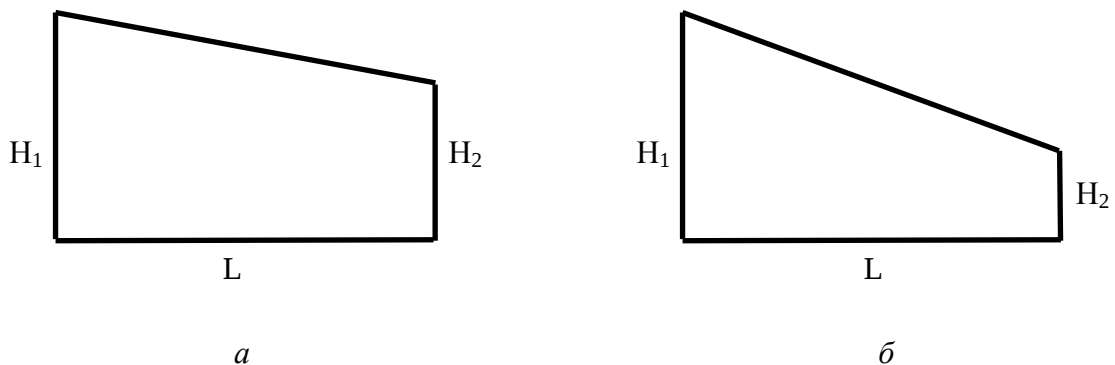


Рис. 1.10. Gradient напору ґрунтової води: *a* – в пісках; *б* – в глинах

Гradient напору води звичайно вище в глинах, ніж в пісках:

$$I_g > I_p \quad (22)$$

Гідродинамічний тиск води на ґрунт виникає під час її фільтрації в ґрунті. Розглянемо рух води, яка фільтрується через ґрунт від точки A_1 до точки A_2 на відстані – l через поперечний переріз ω .

У точці A_1 гідралічний напір дорівнює H_1 , а в точці A_2 – H_2 , тоді п'єзометричні висоти в т.1 і 2 будуть дорівнювати: $h_1 = H_1 - Z_1$; $h_2 = H_2 - Z_2$.

У фізичних задачах з динаміки всі сили, що діють на виділений об'єм, повинні врівноважуватися силами інерції. Визначимо ці сили, користуючись розрахунковою схемою приведеною на рисунку 1.11.

Сили позначені на розрахунковій схемі, наступні:

1. P_1 – тиск стовпа води на основу в точці A_1 : $P_1 = \rho_w \cdot h_1 \cdot \omega$;
2. P_2 – тиск стовпа води на основу в точці A_2 : $P_2 = \rho_w \cdot h_2 \cdot \omega$;
3. Проекція ваги води довжиною l перерізом ω : $P_3 = \rho_w \cdot l \cdot \omega \cdot \cos \alpha$;
4. Сила тертя об ґрунт за питомого тертя на одиницю об'єму T : $P_4 = T \cdot l \cdot \omega$;
5. Сила інерції рівна масі води (m) помноженій на прискорення (a): $P_5 = m \cdot a$;

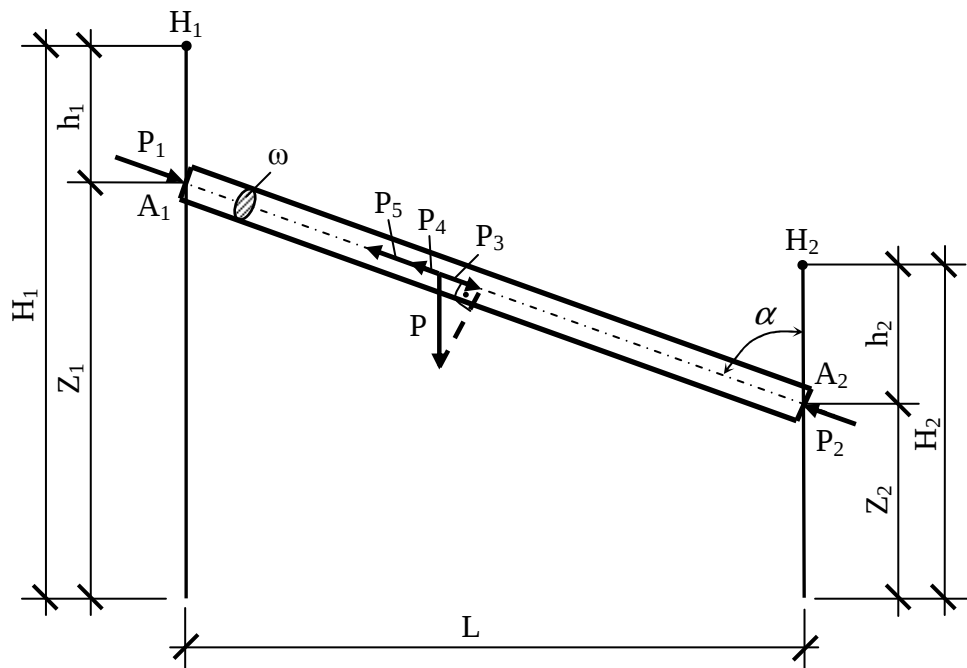


Рис. 1.11. Розрахункова схема для вираховування гідродинамічного тиску

Проектуємо всі сили на вісь об'єму, складаємо рівняння рівноваги сил і підставляємо до рівняння значення m , a , $\cos \alpha$, отримуємо значення питомого тертя потоку води об ґрунт в одиниці об'єму:

$$T = \frac{\rho_w}{q} \cdot \frac{dq}{dt} - \rho_w \cdot I; \quad (23)$$

Воду гальмує ґрунт, але можна дивитися і навпаки, що вода давить на ґрунт – це сила $D = -T$ і називається гідродинамічний тиск.

$$D = \rho_w \cdot I - \frac{\rho_w}{q} \cdot \frac{dq}{dt}; \quad (24)$$

Так як, швидкість q і прискорення $\frac{dq}{dt}$ під час фільтрації води крізь ґрунт надзвичайно малі порівняно з градієнтом напору, то гідродинамічний тиск дорівнює градієнту напору:

$$D = \rho_w \cdot I \text{ або } D = I. \quad (25)$$

Гідродинамічний тиск майже не залежить від швидкості фільтрації, а залежить від градієнта напору, який, як було показано, у глинах вищий, ніж у пісках.

1.7. небезпека швидкого навантаження глинистого водонасиченого ґрунту

Припустимо, що до поверхні ОО водонасиченого глинистого ґрунту (рис.1.12) прикладене швидке навантаження P .

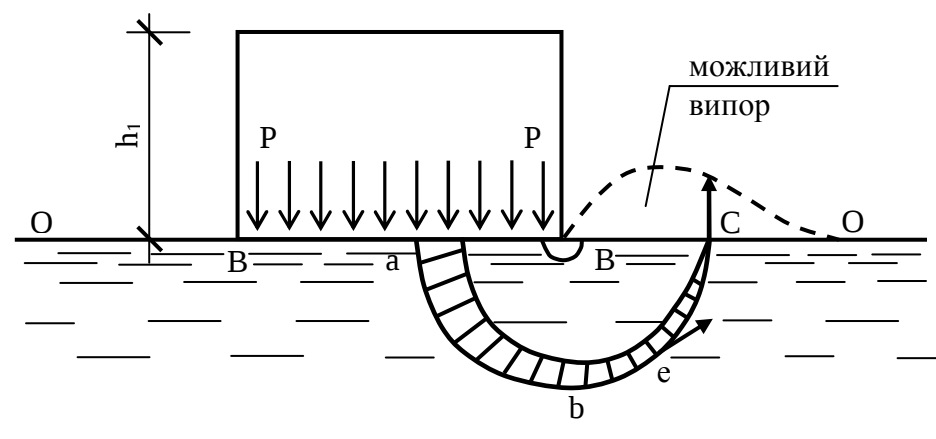


Рис. 1.12. Випор водонасиченого глинистого ґрунту у випадку швидкого навантаження

У початковий момент часу навантаження передається на воду і створює в ній напруження в площині ВВ, яке дорівнює напору $h_1 = \frac{P}{\rho}$.

Від площини ВВ до не завантаженої поверхні ОО починається інтенсивна фільтрація води під напором h_1 . Напрямок потоків фільтрації методами теорії фільтрації можуть бути визначені математично досить точно: їх вид має зігнуту криву із середньою точкою b , наприклад, $(abeC)$. Вздовж лінії $(abeC)$ виникає гідродинамічний тиск на ґрунтовий скелет, цей тиск намагається вирвати ґрунт з основи. Особливо несприятливо він діє на ділянці (eC) . Величина гідродинамічного тиску умовно прийнята рівномірно падаючою вздовж лінії $(abeC)$ довжиною L , а тому градієнт напору і гідродинамічний тиск можна визначити за формулою:

$$D = P : L \times L1 \quad (26)$$

де: L – довжина кривої $abeC$; $L1$ – довжина кривої eC .

За великих P і малих L гідродинамічний тиск (D) може зрівнятися з допустимим напруженням зсуву $[\tau]$ для даного ґрунту і основа може бути зруйнованою – відбудеться випор ґрунту на поверхню.

Якщо навантаження P прикладати сходами з витримкою кожної сходинок в часі поки з пор, завдяки створеному напору, відфільтрує вода, зміниться структура ґрунту і впаде гідродинамічний тиск до нуля, то можна уникнути випирання ґрунту на поверхню.

Наприклад, якщо прикласти навантаження на основу рівне 0,9 МПа, то за довжини фільтраційного потоку $(abeC)$ до поверхні рівному 3 м, а від небезпечної точки e до поверхні 1 м гідродинамічний тиск у точці e буде $D = 0,9/3 = 0,3$ МПа, а якщо навантаження прикладати в три сходинок (перша – 0,3 МПа, друга – 0,6 МПа, третя – 0,9 МПа, то гідродинамічний тиск у точці e від першої сходинок навантаження буде $D = 0,3/3 = 0,1$ МПа, тобто зменшиться в три рази, а таке напруження ґрунт, мабуть, може сприйняти без руйнування і з часом ущільнитися для сприйняття наступної сходинок навантаження, що дорівнює 0,6 МПа з гідродинамічним тиском в точці e $D = 0,6/3 = 0,2$ МПа, і за третьої сходинок навантаження, що дорівнює 0,9 МПа з гідродинамічним тиском у точці $e = 0,3$ МПа.

Навантаження на водонасичений глинистий слабкий ґрунт для його ущільнення зручно створювати відсипанням будь-якого ґрунту підстеленого шаром крупного піску або щебеню товщиною не менше

ніж 0,8 м. У цьому випадку напрямок фільтрації води із ґрунту буде спрямований найкоротшим шляхом у пісок чи щебінь (рис. 1.13). Крупний пісок, як і щебінь, не чинить опору фільтрації, у ньому напір води відсутній, тиск води в крупному піску завжди гідростатичний. Гідродинамічний тиск, у цьому випадку, не виштовхує ґрунт з основи в бокову сторону, а притискує до дренажного шару привантаження, що сприяє стійкості основи.

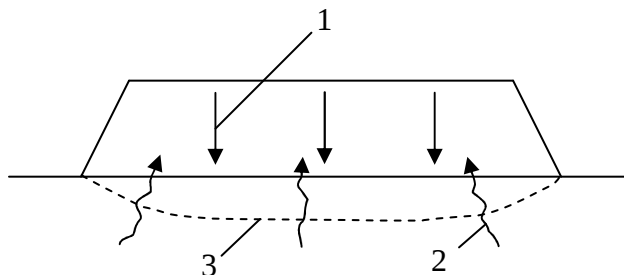


Рис. 1.13. Ущільнення водонасиченого глинистого ґрунту привантаженням: 1 – тиск відсипки фільтруючим ґрунтом (пісок, щебінь); 2 – напрямок фільтрації ґрунтової води; 3 – лінія осідання поверхні ґрунту

1.8. небезпека швидкого навантаження під час ущільнення водонасиченого піщаного ґрунту

Стійкість піщаної ґрунтової маси із жорстким скелетом (частинки ґрунту дотикаються одна з одною) обумовлена тертям між частинками, яке створене або зовнішнім навантаженням, або поверхневим натягуванням капілярних і плівкових вод.

Якщо в гумовий мішок насипати пісок і мішок зав'язати так, щоб залишилося місце для повітря, то мішок буде схожий на подушку з сипким наповненням. Якщо із мішка відкачати повітря вакуумнасосом, то мішок з піском буде схожий на камінь. Цей дослід показує, як зовнішнє обтиснення піску атмосферним тиском забезпечує йому стійкість.

Аналогічний результат створює поверхневий натяг плівкових вод у пісках. Стійкість вертикальних вологих піщаних укосів, які осипаються і зсуваються, як тільки пісок висихає, обумовлена поверхневим натягуванням капілярних і плівкових вод еквівалентним зовнішньому обтисненню. Отже, причину втрати стійкості в піщаній ґрунтовій масі потрібно шукати в послабленні цього взаємного тиску в системі ґрунтового скелета, яке забезпечує сили тертя в ньому.

Розглянемо механічну модель піщаної ґрунтової маси, представлену шарами (рис. 1.14) в стані максимальної і мінімальної її

пористості. Ущільнення навантаженням рихлого (рис. 1.14, а) водонасиченого піску, як всякої ґрунтової маси, супроводжується відтоком води із пор та зміною структури піщаного скелета від рихлого стану до ущільненого стану (рис. 1.14, б).

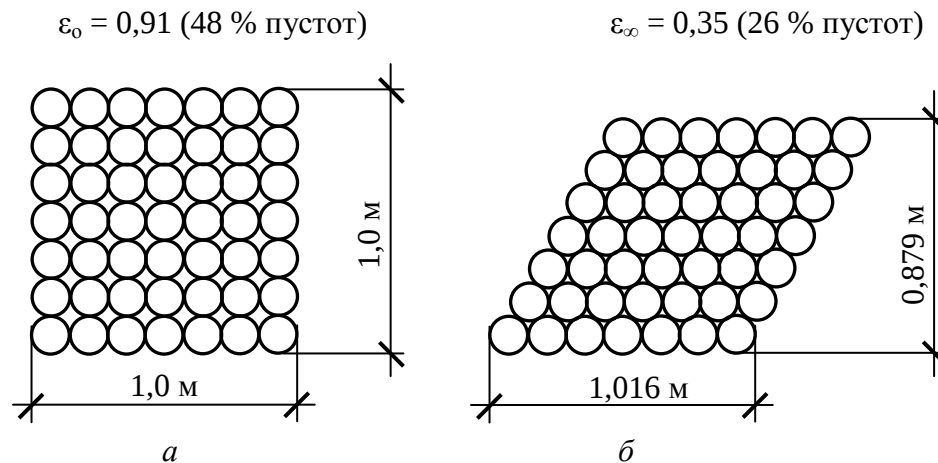


Рис. 1.14. Механічна модель водонасиченого піщаного ґрунту: а – пухкий; б – максимально щільний

Перехід піску від рихлого до ущільненого положення триває короткий, але певний час, протягом якого відбудеться фільтрація води із ґрунтової маси з одночасною зміною структури ґрунту.

На рисунку 1.15 показано три фрагменти структури піску. Як видно, у проміжному положенні між шарами, що імітують піщинки, контакту не має. Усі шари «висять» у воді, отже, піщана ґрунтова маса на якусь мить знаходиться в стані суспензії.

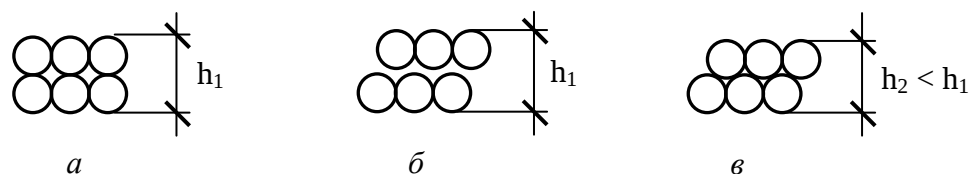


Рис. 1.15. Етапи переходу піщаного обводненого ґрунту від нестійкого до стійкого положення: а – нестійке положення; б – проміжне положення (суспензія); в – стійке положення

Це «важка вода», в якій тонуть більш важкі тіла і спливають легші, ніж важить витіснений ними об'єм суспензії. У такій ситуації можуть відбутися непрогнозовані техногенні випадки.

Для підтвердження вищесказаного розглянемо загальновідомий дослід з водонасиченим пухким дрібним піском, який було виконано близько 150 років тому європейськими вченими.

В акваріум, наповнений водою, дуже обережно (наче солять страву) і повільно насипали дрібний пісок. Вода по мірі наповнення акваріуму піском переливалася за край. Коли рівень піску та води зрівнялися з верхнім вінцем акваріума, то на пісок, у центрі дуже обережно поклали невеличку гирку. Над акваріумом, подалі від гирки, на висоті 10 см від піску повісили на нитці в'язальну шпичку (рис. 1.16).

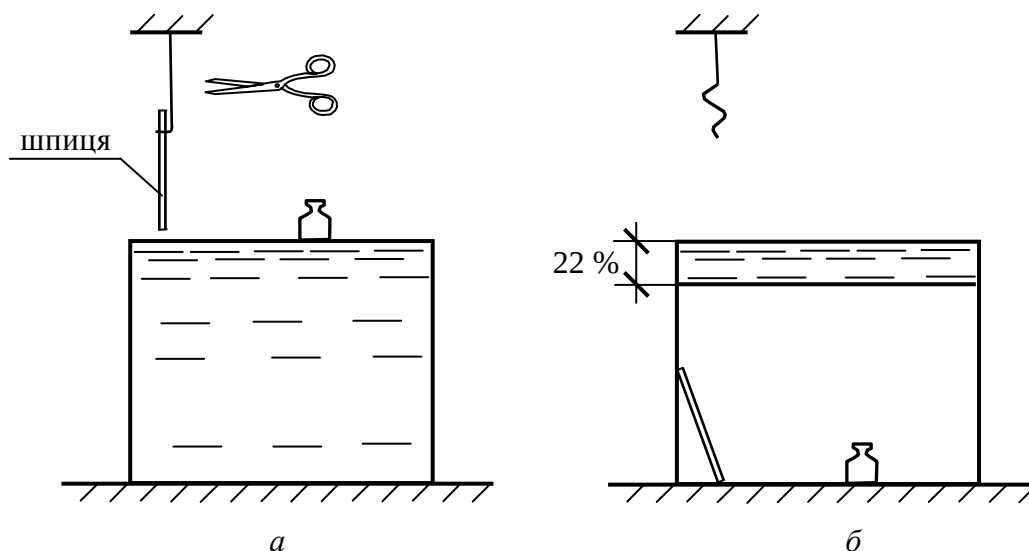


Рис. 1.16. Гідродинамічне розрідження водонасиченого рихлого піску

Після того, як шпичка припинила гойдатися, нитку перерізали ножицями. Як тільки шпичка вдарила своїм нижнім кінцем по ґрунтовій масі, гирка і шпичка миттєво зникли, а ґрунтова маса розшарувалась на піщаний масив товщиною біля 78% висоти акваріума під шаром води з поверхнею на рівні верху акваріуму.

Коли воду та пісок вичерпали, дослідники знайшли на дні акваріума гирку і шпичку. Це підтверджує те, що ґрунтова маса в якийсь момент часу мала стан суспензії.

А відбувається це так: у початковий момент ущільнююче навантаження передається на скелет, а після щонайменшого порушення структури це навантаження передається повністю на воду. Напір у воді раптово зростає і вода отримує інтенсивний рух у всіх напрямках. Це сильні струмені води, що руйнують структуру ґрунту. Така руйнація миттєво розповсюджується, процес протікає як вибух і має назву гідродинамічне розрідження піщаного водонасиченого ґрунту.

Таке явище може розпочатися від незначного силового, навіть акустичного імпульсу.

Щоб дізнатися, чи може водонасичений пісок отримати гідродинамічне розрідження, потрібно визначити його пористість і критичну пористість.

Критична пористість піску – це пористість, яка не змінюється в момент зсуву піску.

Об'єм пухкого піску під час зсуву зменшується, бо пісок ущільнюється, а вода виходить із зразка назовні. Об'єм щільного піску під час зсуву зростає, бо пісок розрихлюється (рис. 1.17) і всмоктує вільну воду.

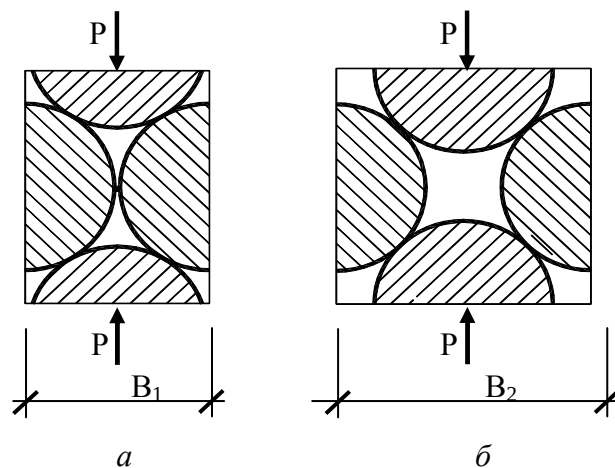


Рис. 1.17. Модель Лемба розпушення щільного піску під час стиснення:
а – щільний стан; б – розпушений стан

У ґрунтах з критичною пористістю чи меншою від неї гідродинамічне розрідження не відбувається.

Крупнозернисті і середньозернисті піски навіть з пористістю вище критичної, ніколи не мають статичного гідродинамічного розрідження через швидке розсіювання гідродинамічного тиску.

1.9. Залежність між щільністю і вологістю ґрунту

У системі координат «вологість ґрунту – щільність ґрунту в сухому стані» (рис. 1.18) умовно покажемо кордон між зонами вологого та водонасиченого ґрунту $G = 1$. Покажемо ґрунт з вологістю w_1 і відмітимо, що один і той же ґрунт за однієї і тієї ж вологості може мати різний показник щільності ґрунту в сухому стані.

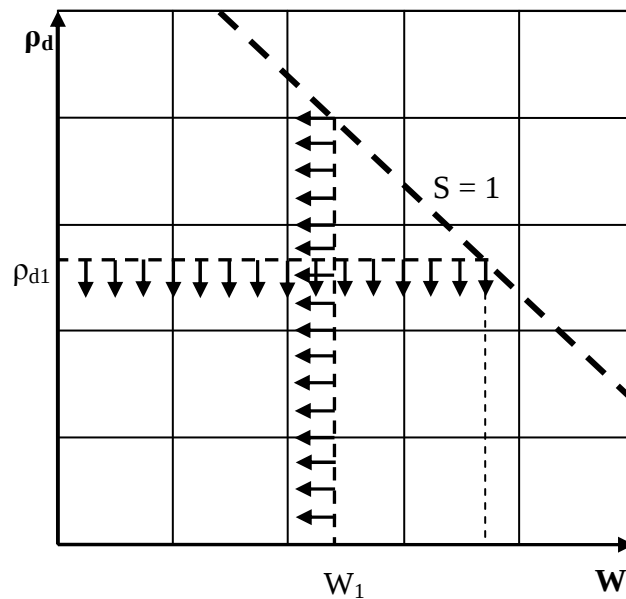


Рис. 1.18 Поле можливих значень щільності ґрунту в сухому стані залежно від вологості ґрунту

У цій же системі координат виділимо ґрунт з показником щільності в сухому стані ρ_d і відмітимо, що цю щільність може мати ґрунт за різної вологості.

Якщо один і той самий ґрунт різної вологості ущільнювати рівною кількістю ущільнюючої роботи (A_1), наприклад, трамбувати рівною кількістю ударів трамбівкою однієї ваги, скидаючи її в рівні інтервали часу з однакової висоти і щоразу визначати щільність сухого ґрунту, то за цими значеннями в системі координат «вологість – щільність сухого ґрунту» можна побудувати графік.

Графік (рис. 1.19) показує, що між щільністю і вологістю ґрунту, за постійної кількості ущільнюючої роботи, існує залежність, виражена випуклою кривою з максимумом за певної вологості. Аналогічні залежності проявляються для інших кількостей роботи - A_2 , A_3 тощо. Максимум на кривій показує можливу найбільшу щільність ґрунту за конкретної кількості роботи і за якої вологості ґрунту це можливо.

Вологість, що відповідає максимуму на кривій за даної кількості роботи ущільнення, називається оптимальною (W_o).

Оптимальну вологість для конкретного ґрунту за певної, вибраної, кількості ущільнюючої роботи визначають експериментально пробним ущільненням ґрунту різної вологості і визначенням його щільності в сухому стані. Можна оптимальну вологість визначити за різної кількості ущільнюючої роботи, наприклад, для різних за потужністю машин, а потім вирішувати оптимізаційну задачу (за обраним критерієм:

собівартість, трудомісткість, енергоємність або тривалість робіт) вибору ущільнюючої машини під час проектування процесу ущільнення ґрунту.

Існують також рекомендації для орієнтовного визначення за індексом пластичності оптимальної вологості ґрунту за його ущільнення.

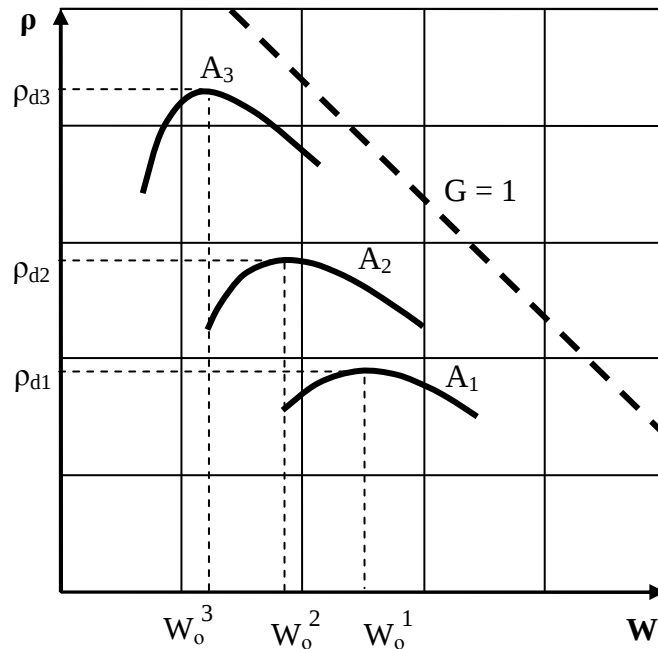


Рис. 1.19. Залежності щільності ґрунту в сухому стані від його вологості за різних кількостей ущільнюючої роботи A_1 , A_2 , A_3

Для ґрунту, який необхідно ущільнювати, визначають індекс пластичності (вологість, за якої ґрунт очується в джгутики діаметром 3 мм). Чисельне значення індексу пластичності збільшують на 2 – 3 пункти, це й буде орієнтовне значення оптимальної вологості.

1.10. Віброущільнення пісків

Для ущільнення ґрунту вібруванням масу вібратора, за рахунок підведеної до збудника коливань енергії, вводять в стан коливальних рухів. Слідом за вібратором вже за рахунок кінетичної енергії останнього вводяться в стан коливальних рухів також і розташовані в зоні дії часточки ґрунту. За відсутності ударних імпульсів з боку вібратора часточки ґрунту знаходяться під впливом тільки інерційних сил. Останні – пропорційні масам цих часточок. З огляду на те, що маси частинок неоднакові, відрізняються також і сили інерції, які виникають. Унаслідок неоднакових сил інерції в місцях контактів частинок виникають напруги зсуву. До відомих меж ці напруги врівноважуються

силами зчеплення або міцністю сполучних водно-колоїдних плівок. Після перевищення цих меж виникає переміщення частинок. Напруження зсуву пропорційне інерційним силам; тому вони визначаються не тільки різницею мас сусідніх частинок, а й прискореннями, які розвиваються під час коливальних рухів.

Відносні переміщення часток настають тим швидше, чим більше розходження в масах окремих частинок, складових ґрунту, і чим слабкіші будуть сили зв'язків між ними. Тому успішно ущільнюються вібруванням незв'язні і малозв'язні ґрунти.

Вібрація піщаних ґрунтів порушує контакти між окремими часточками ґрунту і під впливом сил інерції і сил тертя вони переміщуються і відбувається щільніша переупаковка об'єму.

Унаслідок вібрації щільні піски розпушуються, а пухкі ущільнюються.

Показник щільності ґрунту в сухому стані віброущільнених пісків може досягати $1,6 \div 1,75 \text{ г/см}^3$ (коефіцієнт ущільнення $0,7 \dots 0,9$).

Існує залежність між коефіцієнтом пористості піску ε і прискоренням вимушених коливань ω_y , яка виражається віброкомпресійною кривою (рис. 1.20).

Для кожного виду піску в лабораторії необхідно встановити віброкомпресійну криву і по ній, залежно від потрібного коефіцієнта пористості ε , встановити необхідне прискорення коливань ущільнюючого агрегату.

У більшості вібраційних агрегатів джерелом вібрації є обертання неурівноважених мас, а прискорення коливань у цьому випадку, як відомо, залежить від частоти обертання.

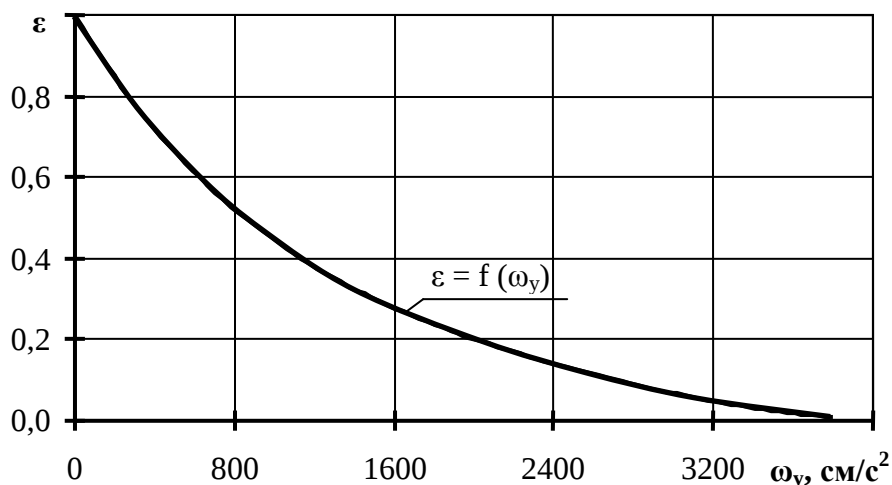


Рис. 1.20. Віброкомпресійна крива

Під час ущільнення піску вібрацією є «небезпечний інтервал» частот 500 - 2500 коливань в хвилину. Ґрунт за цієї частоти коливань веде себе як вода – важкі предмети, що лежать на поверхні піску «тонуть», а легкі «спливають» з глибини на поверхню.

Крім вібрації під час обертання неврівноважених мас вібратора виникає і змінюється за величиною (рис. 1.21) вертикальна сила коливань, яка також сприяє ущільненню піску.

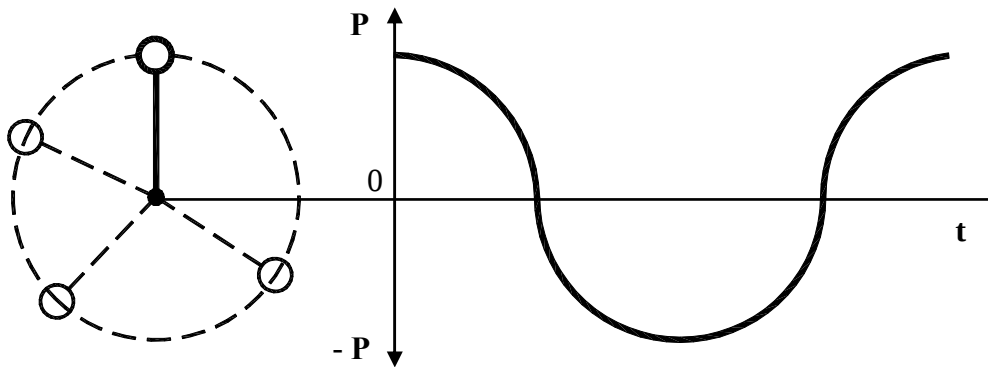


Рис. 1.21. Графік зміни вертикальної сили коливань у часі

Вологість має певний вплив на віброущільнення. Залежність коефіцієнта віброущільнення від вологості виражається графіком, приведеним на рисунку 1.22. Наприклад, за вологості піску 0 – 2% він ущільнюється добре, а за вологості 3 – 5% ефект вібрації мінімальний. Це обумовлено тим, що за цієї вологості виникають сили зчеплення між частинками, обумовлені поверхневим натягом плівкової води, які протистоять ущільнюючій силі коливань. Під час подальшого збільшення вологості коефіцієнт віброущільнення зростає і при вологості 16 – 17% (водонасиченого біля 80% пор) досягає максимуму.

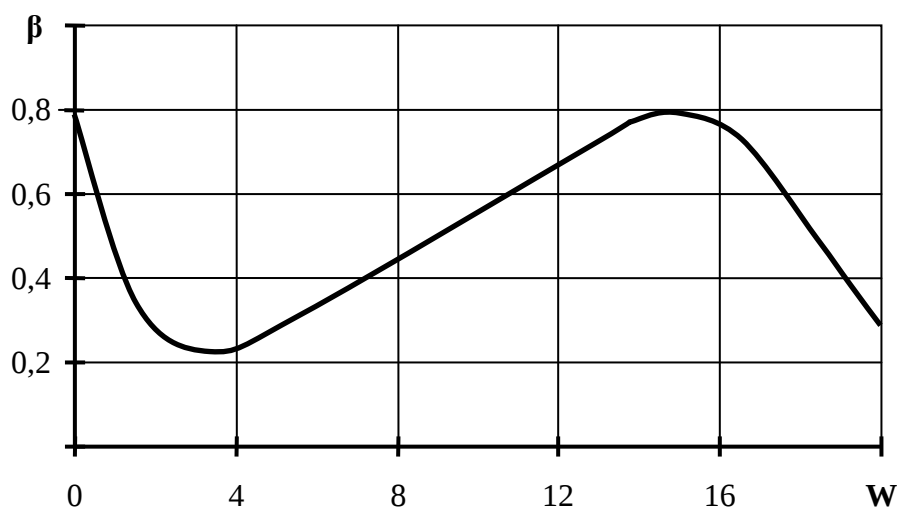


Рис. 1.22. Залежність коефіцієнта віброущільнення піску від вологості

Збільшення вологості до повного водонасичення пор знову приводить до зменшення коефіцієнта віброущільнення. Існування оптимальної вологості, за якої досягається найбільше віброущільнення, характерно для супісків і суглинків і знаходиться в межах 11 – 17%.

Вищевикладене пояснює необхідність штучного зволоження ґрунту, який ущільнюють вібруванням, тому що в природних умовах пісок здебільшого знаходиться з вологістю, яка нижче за величину оптимальної вологості, близької до максимального насичення водою. Саме цим і пояснюється успішне практичне застосування ущільнення ґрунтів вібрацією з одночасним нагнітанням води в ґрунт методом гідровібрації та віброфлотації.

Ущільнення ґрунту вібрацією відбувається протягом певного часу (орієнтовно 6 хвилин). Кожен ґрунт має поріг віброущільнення – це прискорення вібрації, яке необхідно перевищити, щоб ущільнення розпочалося.

Радіус ущільнення для досить потужних вібраторів не перевищує 1,5 м, а для легких, подібних тим, які застосовують для ущільнення бетонних сумішей – біля 0,5 м.

Застосування вібрації дозволяє зменшити пористість піску на 9 – 12%, тобто, пухкий пісок можна ущільнити до щільного стану.

1.11. Ущільнення ґрунту трамбуванням

Трамбування – це нанесення ударів по поверхні ґрунту фізичними тілами (трамбівками).

Трамбівки за вагою розрізняють як *легкі* (від декількох кілограмів до 3 т), *важкі* (від 5 до 12 т) і *надважкі* (від 15 до 200т).

У момент удару **легкою трамбівкою** по ґрунтовій поверхні розпочинається удар, за якого впродовж короткого проміжку часу швидкість трамбівки змінюється до нуля, унаслідок чого розвиваються великі напруження на поверхні контакту. Більша частина кінетичної енергії робочого органу витрачається на підвищення тиску трамбівки на ґрунт з наступним швидким його спадом. Ефект ущільнення визначається величиною незворотних деформацій і розподілом її по товщі. Деформація насамперед залежить від напружень, що розвиваються у ґрунті, а також від тривалості дії навантаження.

Напруження в глибину і осесиметрично від центру удару зменшується. Розмір деформаційної зони (ущільнення ґрунту) від удару трамбівкою з круглою основою досягає в ширину і в глибину 2 – 2,5

діаметри основи. Отже, за діаметра ударної частини 0,2 м глибина ущільнення складе 0,5 м, а за діаметра трамбівки – 0,8 м – 2,0 м.

Контактні напруження на поверхні ґрунту не повинні перевищувати міцність ґрунту. У разі збільшення ваги трамбівки або висоти її скидання на ґрунт енергія трамбівки, а значить, і сила удару зростає, то в цьому випадку величину контактних напружень регулюють розміром опорної площі трамбівки.

Трамбування **важкими і надважкими трамбівками** в останні декілька десятиліть інтенсивно розвиваються. Суть цього методу полягає в покращенні механічних властивостей ґрунту шляхом передачі йому високих енергетичних імпульсів за допомогою трамбування.

Енергетичні імпульси, які створює падаюча трамбівка супроводжуються коливаннями, що розповсюджуються хвилями в ґрунтах. Від витіснення і коливань ґрунту його часточки переміщуються і створюють щільніші конфігурації. У водонасиченому стані ґрунт від сильного удару і наступних коливань розріджується і його часточки переміщуються в компактніший стан. В обох випадках зменшення пустот і збільшення контакту між зернами приводить до покращення механічних властивостей ґрунту.

Від традиційного поверхневого трамбування цей метод відрізняється використанням значно більшої (у 5 – 15 разів) енергії удару (не менше 450 кН·м), у точках взаємно віддалених на 2,5 — 4,0 діаметри трамбівки, що в масиві ґрунту під місцем удару виникає ущільнене ядро (рис. 1.23) шириною 2,7 діаметри трамбівки і глибиною 3,2 діаметри трамбівки.

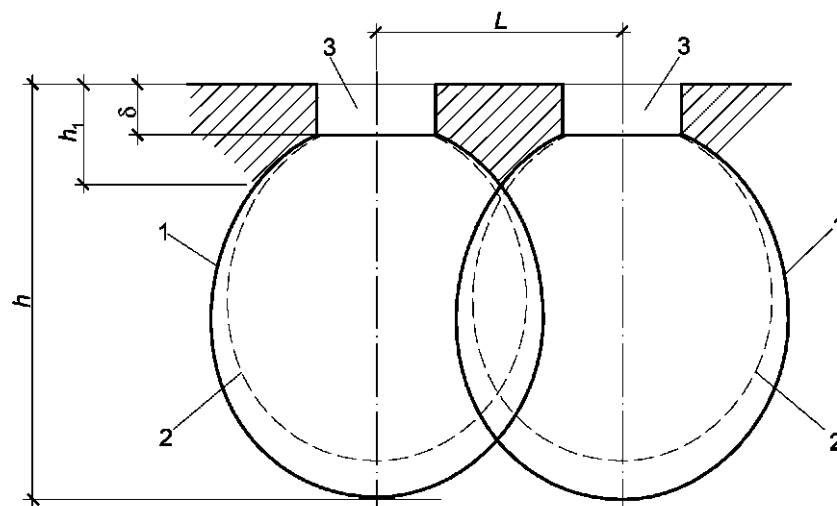


Рис. 1.23 Утворення зон ущільненого ґрунту важкою трамбівкою: h – глибина зони ущільнення; h_1 – глибина розпушеного шару ґрунту; L – відстань між точками удару трамбівки; δ – глибина відбитку трамбівки; 1 – зона ущільнення ґрунту; 2 – зона ущільненого ґрунту; 3 – відбиток трамбівки

Запитання для самоконтролю

1. Чим відрізняється піщаний ґрунт від глинистого?
2. Дайте формулювання фізичних характеристик ґрунтів: щільність в сухому стані, пористість, коефіцієнт пористості, вологість, щільність вологого ґрунту.
3. Як залежить коефіцієнт пористості від дисперсності ґрунту?
4. Яка суть коефіцієнта ущільнення?
5. Намалюйте приблизно компресійні криві глини, суглинку, супіску, піску.
6. Намалюйте орієнтовно в системі координат «навантаження – деформація» графік деформації ґрунту за багаторазового навантаження.
7. Розкрийте фізичну суть стиснення водонасиченого ґрунту.
8. Як відрізняється фільтрація води в піску і глині?
9. Коли виникає гідродинамічний тиск ґрунтової води?
10. У чому полягає небезпека швидкого навантаження глинистого водонасиченого ґрунту?
11. У чому полягає небезпека швидкого навантаження піщаного водонасиченого ґрунту?
12. Чому і як відбувається гідродинамічне розріднення водонасиченого рихлого піску?
13. Що таке оптимальна вологість ґрунту за його ущільнення?
14. Як впливає вібрація на ущільнення піску?

2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ

2.1. Різновиди силових навантажень на ґрунт у процесі його ущільнення

Ущільнення ґрунту відбувається за рахунок певних силових навантажень на ґрунт. Ці навантаження можуть бути: *статичними, статичними короткочасними повторними, вібраційними, ударними, динамічними імпульсними і комбінованими.*

Ці навантаження супроводжуються рядом виробничих процесів: осушенням, зволоженням, обводненням ґрунтів, прискоренням фільтрації, пошаровим відсипанням, подачею під тиском у ґрунт, який

ущільнюють води або повітря, влаштуванням дренажних фільтраційних шляхів тощо. Комбінація силових навантажень, з супроводжуючими їх процесами, створює велику кількість способів ущільнення. Вибір способу ущільнення залежить від виду силового навантаження, конструкції споруди, виду і стану ґрунту, форми і розміру масиву, який ущільнюють, методу укладання ґрунту, мети ущільнення й інших умов. Усі можливі способи ущільнення варто об'єднати в групи залежно від виду силового навантаження.

Статичні силові навантаження виникають у разі привантаження поверхні ґрунту додатковим насипним шаром ґрунту або штучними вантажами протягом тривалого часу.

Привантаження поверхні ґрунту доцільно використовувати, переважно в ґрунтах природного складу, у разі необхідності створення довготривалого ущільнювального навантаження. Такі навантаження необхідно створювати для ущільнення водонасиченого заболоченого, мулистого, пилюватого або глинистого ґрунту, який має низький коефіцієнт фільтрації, а тому для відтоку води із пор цього ґрунту необхідно впродовж тривалого часу створювати додатковий напір у ґрунтових водах.

Практичний досвід показав, що коли термін консолідації (ущільнення) привантаженого слабкого ґрунту не перевищує терміну будівництва, то цей спосіб (тимчасового привантаження) найраціональніший.

Тимчасове привантаження слабких обводнених ґрунтів застосовують одночасно з вертикальними дренажами, оскільки вони прискорюють фільтраційні процеси, і як наслідок – ущільнення водонасиченого ґрунту. Особливо актуальний цей спосіб на органічних намулах (сопропелях), коли необхідно прискорити відведення води із водонасиченого ґрунту, а тимчасове привантаження не дає ефекту внаслідок повільного відтиснення води із таких ґрунтів. Для торф'янистих ґрунтів, навпаки, влаштування дрена здебільшого не має сенсу, тому що їх водопроникність і стискуваність достатньо високі і тривалість фільтраційного осідання не суттєве.

Статичне привантаження об'єднує ряд способів ущільнення:

- привантаження ґрунтом, щебенем, камінням, блоками і різними видами вантажів;
- привантаження сухої, заболоченої або підводної поверхні ґрунту;

- привантаження з поверхневим або глибинним відведенням ґрунтової води;
- привантаження зі створенням фільтраційних шляхів для ґрунтової води із піщаних паль або вертикальних дренажів, або одноразових паперових дренажів;
- привантаження з традиційним або електроосмотичним водопониженням.

Статичні короткочасні повторні навантаження на ґрунт відбуваються у випадку багаторазового повільного руху пухким ґрунтом важкої техніки або спеціалізованих машин для ущільнення – котків. Укочуванням можна ущільнювати будь-які ґрунти, відносно невеликими за товщиною (15 – 45 см) шарами, котками малої, середньої та великої ваги. Котки можуть бути причіпні та самохідні. За формою ущільнювального вальця, що також визначає спосіб ущільнення, котки розрізняють:

- з гладенькими вальцями;
- з рифленою або сітчастою поверхнею;
- кулачкові (циліндричний валець, оснащений великою кількістю шипів-кулачків з різною формою тіла, які установлені перпендикулярно поверхні вальця);
- пневмоколісні.

Вібраційні місцеві, поверхневі та глибинні, навантаження на ґрунт створюють механічні вібратори, у яких гармонійні коливання виникають внаслідок обертання неурівноваженої маси. Вібратори являються основним робочим органом великої кількості ущільнювальних засобів: ручний вібраційний інструмент; віброплити малого розміру; навісне вібраційне обладнання на універсальні будівельні машини; спеціалізовані вібромашини.

Вібруванням доцільно ущільнювати незв'язні (піщані) ґрунти.

Вібраційні способи ущільнення ґрунту розрізняють як:

- поверхнєве вібрування для ущільнення шарів (товщиною до 110 см) піщаного ґрунту;
- глибинне вібрування використовують для ущільнення водонасичених шарів піску товщиною до 10 м;
- віброфлотацію (вібрування природних або штучних водонасичених пісків) застосовують у разі товщини ущільнення пісків від 1,5 м і до 40 м.

Ударні (трамбувальні) навантаження в ґрунті виникають, коли скидають на поверхню ґрунту трамбівки, легкої середньої та важкої

ваги. Трамбуванням можна ущільнювати зв'язні і незв'язні ґрунти, як насипні, так і ґрунти природного залягання, від малих товщин ґрунту (0,15 м) до великих товщин (10,0 м).

Найбільше ущільнення ґрунтів досягається за ударного навантаження. За ефективністю впливу на ґрунт і досягненні заданого значення показника щільності ґрунту в сухому стані ударне навантаження відповідає статичному навантаженню 0,85 – 1,0 МПа.

У ґрунтах природного складу за рахунок більшої щільності і структурної зв'язності ефективність ущільнення трамбуванням нижча, ніж у насипних ґрунтах. Про це свідчить те, що глибина ущільнення в насипних ґрунтах на 30 – 40% більша, ніж у ґрунтах природного складу.

Під час трамбування максимальні контактні тиски, створювані робочим органом, приблизно рівні з тими, що виникають за укочування і знаходяться в межах 0,5 – 1,2 МПа. Швидкість змін цих напружень біля поверхні ґрунту різна: для укочування вона складає 0,5 – 6,0 МПа/с, а для трамбування – 10 – 800 МПа/с. Тривалість дії укочування 0,04 – 0,4 с, а трамбування у 10 разів менше – 0,005 – 0,03 с. Це і обумовлює особливості ущільнення ґрунту трамбуванням.

Ущільнення трамбуванням можна виконувати:

- ручними трамбувальними інструментами (вантаж з рукоятками);
- ручними механізованими (пневматичними, електричними, дизельними) трамбівками;
- навісним механізованим трамбувальним обладнанням на універсальних машинах;
- важкими (до 15 т) трамбівками, які скидають з висоти універсальними машинами;
- важкими гідромолотами (з ударною частиною вагою до 16 т) у складі спеціалізованої машини.

Динамічні імпульси створюють ударами по поверхні ґрунту надважкими трамбівками (вагою від 20 т до 170 т) унікальними машинами, які можуть скидати у вільному падінні надважкі трамбівки з висоти 22 м. Динамічні імпульси можна також створювати глибинними вибухами в пухких водонасичених ґрунтах. В обох випадках у ґрунті виникають інтенсивні коливання і зміщення його великих об'ємів, що сприяє переупаковці часточок ґрунту до більш щільного стану.

Відмінною особливістю динамічного імпульсного ущільнення надважкими трамбівками є те, що удари трамбівкою методом вільного скидання наносять без перекриття слідів, а по рівномірно

розосереджених точках з підсипанням ґрунту у витрамбовані виїмки з його повторним трамбуванням у декілька етапів.

Ущільнення ґрунту підводним вибухом практикували в середині минулого століття для ліквідації просідання лесового ґрунту товщею біля 20 м, проте, останнім часом, цей спосіб не використовують тому, що з'явилися прогресивніші технічні можливості, а крім того через велику складність і відсутність гарантії вибуху всіх закладених зарядів.

Комбіновані навантаження виникають у випадку використання засобів, що одночасно створюють вищеперераховані навантаження, (часто в одній машині), наприклад, віброукочування, вібротрамбування, укочування ударними вальцями або послідовне виконання перерахованих способів.

Для пришвидшення консолідації слабких ґрунтів в останні десятиріччя широко використовують тимчасове привантаження, але також є популярними способи глибинної вібрації та динамічна консолідація надважкими трамбівками у випадках великих обсягів робіт.

За невеликої товщини проникних обводнених ґрунтів найекономічнішим є спосіб їх ущільнення тимчасовим привантаженням. Затрати на привантаження з влаштуванням піщаних дрен у розмиті заглиблення мають майже однакову вартість з найдешевшим динамічним ущільненням трамбівками.

Піщані дрени, які влаштовують у вибурені свердловини дорожчі у 2 – 4 рази в порівнянні з динамічною консолідацією.

Вібрацію використовують у переважній кількості машин ущільнюючих укочуванням, оскільки вібрація суттєво підвищує ефективність ущільнення.

Ущільнення ґрунтів трамбуванням отримало новий розвиток у зв'язку зі збільшенням потужності ударів і застосуванням спеціальної технології, яка дозволяє ущільнювати ґрунти на глибину більше ніж 20 м. Цей метод успішно застосовують на недостатньо ущільнених мінеральних ґрунтах (пісок, глина, крупноблочний ґрунт) і під час ущільнення слабких ґрунтів, складених органо-мінеральними шарами.

У Великобританії виконали порівняльний економічний аналіз різних способів пришвидшення консолідації ґрунтів природного складу. Порівнювали методи дренажування, тимчасового привантаження та динамічної консолідації. Результати цих досліджень свідчать, що кожен з методів має переваги в певній області застосування. Ця область залежить від глибини слабого ґрунту, площі території та виду ґрунту.

Привантаження з влаштуванням піщаних дрен, виїмки для яких створюють методом розмиву ґрунту, та динамічна консолідація ґрунтів важкими трамбівками – найекономічніші.

2.2. Загальні рекомендації до практики ущільнення ґрунтів

Для всіх способів ущільнення тиск робочого органу на ґрунт не повинен перевищувати його міцність наведену в табл. 2.1.

Найміцнішим є ґрунт, у складі якого 10 – 12% глинистих часток – цей ґрунт близький до оптимального складу суміші. Нехватка контактних напружень (нижче 0,9 міцності ґрунту) може бути компенсована збільшенням часу прикладання напружень або збільшенням кількості циклів навантаження.

Підвищення коефіцієнта ущільнення до 0,8 – 1,0 збільшує міцність ґрунту вдвічі або втричі.

Таблиця 2.1

Міцність ґрунтів

Вид ґрунту	Міцність ґрунтів, МПа		
	у випадку укочування котками		у випадку трамбування
	гладковальцевими	пневмоколісними	
Малозвязні (піщані, супіщані, пилуваті)	0,3 – 0,6	0,3 – 0,4	0,3 – 0,7
Середньої зв'язності (суглинки)	0,6 – 1,0	0,4 – 0,6	0,7 – 1,2
Високої зв'язності (важкі суглинки)	1,0 – 1,5	0,6 – 0,8	1,2 – 2,0
Дуже високої зв'язності (глини)	1,5 – 1,8	0,8 – 1,0	2,0 – 2,3

Потрібна щільність ґрунту, яка виражена щільністю ґрунту в сухому стані або коефіцієнтом ущільнення, встановлюється проектом на основі досліджень фізико-механічних властивостей ґрунтів, розрахунків статичної стійкості, а в окремих випадках – фільтраційної стійкості земляних споруд і несівної здатності основ фундаментів і споруд.

Величину проектної щільності за показником щільності ґрунту в сухому стані (г/см^3) слід визначати як добуток максимально можливої щільності даного ґрунту і проектного коефіцієнта ущільнення.

Максимально можливу щільність даного ґрунту визначають у приладі стандартного ущільнення за ГОСТ 22733-77 (див. розділ 1).

Значення проектного мінімально необхідного коефіцієнта ущільнення ґрунтів різних споруд визначають у відповідності до табл. 8 СНиП 3.02.01-87, яку наведено тут у табл. 2.2.

Вологість ущільнювального ґрунту повинна бути в межах оптимальної згідно з таблицею 2.3.

Віхрев В. П. дослідив взаємозв'язок між вологістю та щільністю мінеральної частини ґрунтів і рекомендує графіки, за допомогою яких можна визначити ймовірну максимальну щільність ґрунту в сухому стані за певної вологості ґрунту і навпаки, рекомендовану вологість для досягнення заданої щільності ґрунту в сухому стані (рис. 2.1.) за найменшої кількості роботи ущільнення.

Таблиця 2.2

Мінімальні коефіцієнти ущільнення

Тип ґрунту	Значення коефіцієнтів ущільнення в разі прикладання до поверхні ущільнювального ґрунту проектного навантаження в МПа і загальної товщини відсипки в метрах											
	0				0,05 - 0,2				0,2			
	до 2	2,01 – 4	4,01 – 6	понад 6	до 2	2,01 – 4	4,01 – 6	понад 6	до 2	2,01 – 4	4,01 – 6	понад 6
Глинистий	0,92	0,93	0,94	0,95	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98
Піщаний	0,91	0,92	0,93	0,94	0,93	0,94	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97

Таблиця 2.3

Допустима вологість ґрунту за ущільнення

Ґрунти	Відхилення вологості в долях від оптимальної за різного коефіцієнта ущільнення					
	1,0	0,98	0,95	0,93	0,92	0,90
Пісок пиловатий	від 0,95 до 1,05	від 0,90 до 1,10	від 0,85 до 1,25	від 0,80 до 1,35	від 0,75 до 1,40	від 0,75 до 1,50
Супісок піщанистий	від 0,98 до 1,02	від 0,93 до 1,07	від 0,85 до 1,15	від 0,80 до 1,25	від 0,80 до 1,30	від 0,08 до 1,40
Супісок пиловатий, суглинок легкий піщанистий і пиловатий	від 0,98 до 1,02	від 0,94 до 1,06	від 0,92 до 1,12	від 0,90 до 1,22	від 0,85 до 1,25	від 0,80 до 1,35
Суглинок важкий піщанистий і пиловатий, глини	від 0,98 до 1,02	від 0,95 до 1,05	від 0,90 до 1,10	від 0,90 до 1,20	від 0,90 до 1,23	від 0,85 до 1,30

Графіки наведені на рисунку 2.1 свідчать, що чим більше необхідно ущільнити ґрунт, тим меншою повинна бути вологість.

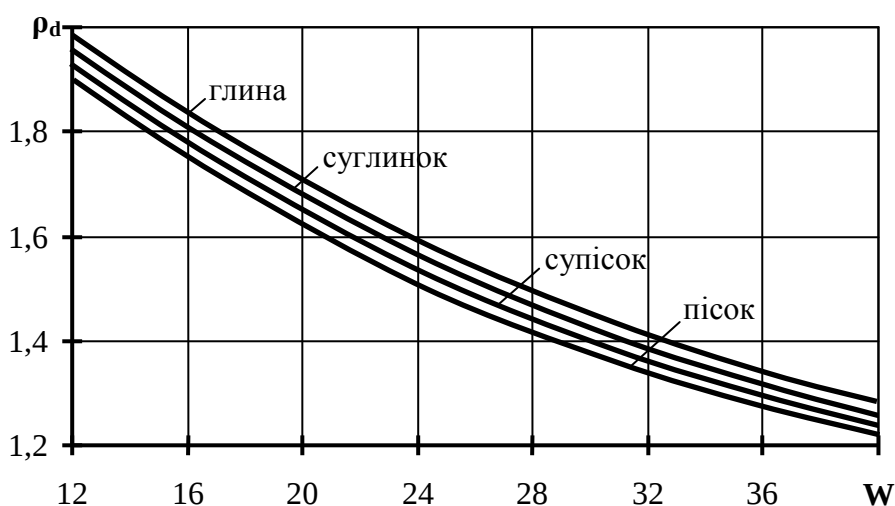


Рис. 2.1 Залежність між можливим ущільненням і вологістю ґрунту

Властивості ущільнених глинистих ґрунтів з різною вологістю ущільнювального ґрунту вивчав вчений Лемб і встановив:

1. За малих експлуатаційних навантажень ґрунт ущільнений за $W > W_o$ більше осідає, ніж ущільнений за $W < W_o$. За великих експлуатаційних навантажень, які вимушують ґрунтові часточки переорієнтуватись, ґрунт ущільнений за $W < W_o$ більше осідає, ніж ущільнений за $W > W_o$.

2. Ґрунти, ущільнені за $W < W_o$ більше бубнявють, тому що мають більший дефіцит води і більш випадкове, хаотичне, розміщення ґрунтових часточок (рис. 2.2).

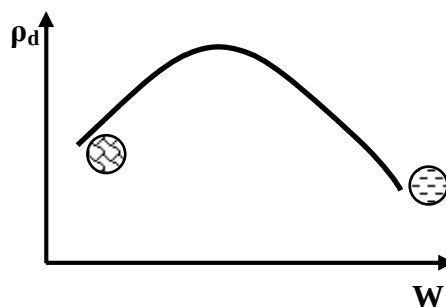


Рис. 2.2 Залежність щільності ґрунту від його вологості в разі постійної кількості роботи ущільнення. У колах орієнтація базальних поверхонь часточок ґрунту: зліва – хаотичне, справа – паралельне горизонтальне

3. Ґрунт, ущільнений за $W > W_o$ має більшу усадку під час висихання, так як за більш паралельної упаковки і ґрунтових часточок він під час висихання отримає менший об'єм.

4. За однакової ущільнюючої роботи і однакової щільності міцність вище в ґрунті з $W < W_o$ тому, що у випадку хаотичного розміщення часточок ґрунту в об'ємі та малій вологості, сильніше проявляється поверхневий натяг порової (капілярної та плівкової) води.

5. Більш орієнтоване розміщення часточок ґрунту в об'ємі за $W > W_o$ сприяє зменшенню міцності зчеплення між часточками ґрунту. Зближення часточок ґрунту за $W < W_o$ збільшує міцність зчеплення між часточками ґрунту.

6. Якщо в досліді ущільнювати однаковою кількістю роботи один і той самий ґрунт за вологості $W < W_o$ і за вологості $W > W_o$, а після цього збільшити кількість ущільнюючої роботи і повторити дослід для цього ж

ґрунту за цих же вологостей, то збільшення щільності ґрунту буде більшим у стані малої вологості (за $W < W_o$). Це наочно продемонстровано рисунком 2.3.

Отже, для збільшення щільності глинистого ґрунту, за його ущільнення, більш раціонально збільшити кількість ущільнювальної роботи, ніж додатково зволожувати ґрунт.

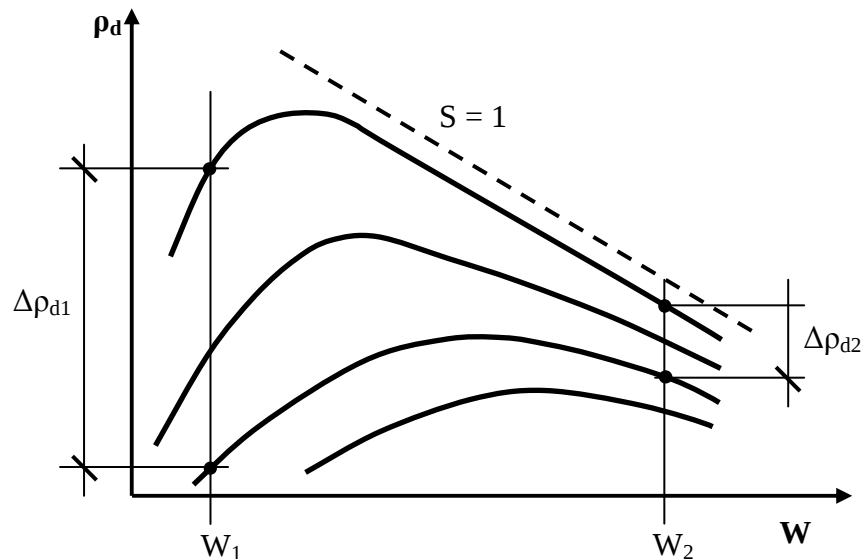


Рис. 2.3. Приріст щільності сухого та вологого ґрунту за однакового збільшення рівномірної роботи ущільнення

7. Якщо ущільнені ґрунти можуть бути водонасиченими, то різниця в щільності ґрунтів з початковою вологістю $W < W_o$ і з $W > W_o$ зменшується, а за можливості необмеженого бубнявіння стає практично однаковою.

8. У разі малих навантажень осідання ґрунту, ущільненого за $W > W_o$ більше, ніж ущільненого за $W < W_o$.

9. Опір ґрунту великим деформаціям практично не залежить ні від початкової вологості, ні від способу ущільнення (статичний, вібраційний, ударний, переминання).

10. Опір ґрунту малим деформаціям за $W < W_o$ також не залежить від способу ущільнення, але за $W > W_o$, він максимальний у випадку статичного ущільнення, менший – за вібраційного і ще менший за ударного і під час переминання.

Запитання для самоконтролю

1. Які види силового навантаження вам відомі у разі ущільнення ґрунту?
2. Як залежить міцність ґрунту від його виду? Які межі міцності мають ґрунти?
3. Як залежить значення проектного коефіцієнта ущільнення від товщі насипного ґрунту?
4. Зі збільшенням товщі насипу ґрунт необхідно ущільнювати до більших значень коефіцієнта ущільнення чи до менших?
5. У якому випадку допускаються більші відхилення вологості ущільнювального ґрунту від значень оптимальної вологості – за більш високого значення проектної щільності чи за меншого?
6. Для досягнення більшого приросту щільності ґрунту в разі його ущільнення, яке рішення ефективніше – збільшення кількості роботи ущільнення чи зменшення вологості ґрунту?

3. УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ ПРИРОДНОГО СТАНУ

У будівельній практиці все частіше зустрічаються випадки необхідності ущільнення ґрунтів природного стану.

Вже більше ніж півсторіччя в Україні заборонено забудовувати орні землі придатні для сільського господарства, а тому для будівництва відводяться землі в поймах рік на місцях, де були водойми, тобто на територіях, складених слабкими, заторфованими, заболоченими ґрунтами, водонасиченими лесами, глинистими та пілуватоглинистими ґрунтами, які схильні до великих аварійних деформацій.

Необхідність ущільнення виникає і в разі забудови на сухих лісових ґрунтах, а випадково зволожений лес надзвичайно слабкий ґрунт, то ж забудова може отримати великі неоднорідні деформації, які сприяють її руйнуванню. Попереднє ущільнення лесу не допускає його просідань і оберігає від руйнування майбутню забудову.

У будівельній практиці зустрічаються слабкі ґрунти, накриті товщами насипних ґрунтів, які протягом тривалого часу отримали деяку природну стабілізацію. Для будівництва на таких, умовно природних ґрунтах, за певних умов, їх ущільнення може бути найдоцільнішим.

3.1. Ущільнення водонасичених ґрунтів осушенням їх дренажами

Осушення водонасичених ґрунтів приводить до ліквідації водовиштовхуючої сили, яка діє на часточки ґрунту згідно з відомим законом Архімеда, а завдяки цьому осушена товща ґрунту стає важчою і додатково ущільнюється від власної ваги. Водозниження повинно тривати протягом всього періоду ущільнення (стабілізації нової структури ґрунту), що залежить від коефіцієнта фільтрації ґрунту та протягом експлуатації території.

Найекономічніше за високого рівня ґрунтових вод влаштування горизонтальних дренажів: відкритих (звичайних траншей) та закритих (траншей, засипаних фільтруючим матеріалом з дренажною трубою на дні) (рис. 3.1), з самопливним відтоком води до низькодолу або водойми. Але тут слід відмітити, що відкриті траншеї мають тенденцію опливати та замулюватися, а раціональна глибина їх не може перевищувати 3 – 4 м. Крім того, відкриті траншеї не завжди можуть вписуватися у забудовану територію.

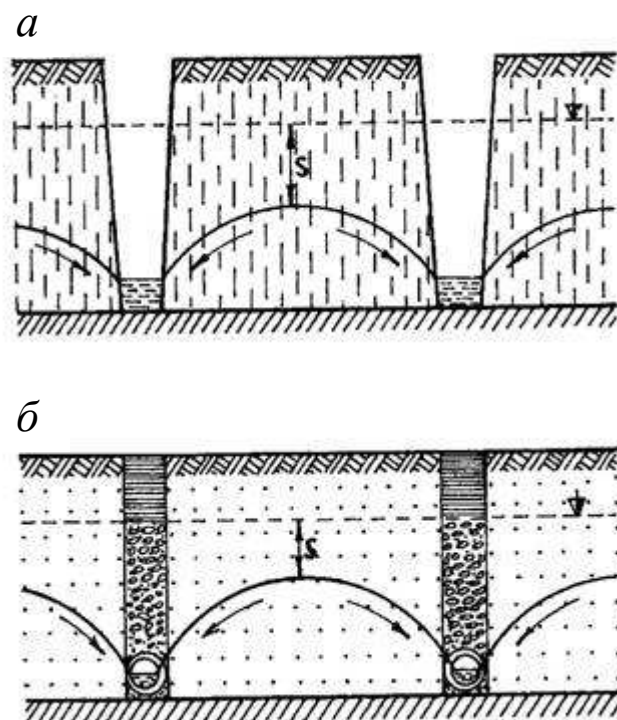


Рис. 3.1. Горизонтальні дренажі: а – відкриті; б – закриті

У закритих дренажах діаметр перфорованої (з великою кількістю отворів діаметром до 15 мм) труби визначають залежно від дебіту

водоносного горизонту. У цьому випадку, рівень води, що заповнює трубу, не повинен перебільшувати $2/3$ її діаметра.

Для запобігання замулення дренажну трубу обсипають шарами гравію та піску відгородженими від місцевого ґрунту шаром геотекстилю. Глибина горизонтальних дренажів економічно доцільна до 5 – 6 м.

Траншеї викопують легкими екскаваторами з широкими ходовими гусеницями в зв'язку зі слабким ґрунтом підтопленої території. Викопаний ґрунт розплановують по території, а за можливості, що залежить від майбутніх відміток забудованої території її присипають привозним ґрунтом. Цей ґрунт створить додаткове навантаження на природний слабкий ґрунт і разом з водозниженням збільшить ущільнення місцевого ґрунту.

Зрозуміло, що цей спосіб ущільнення можна застосувати в разі малоповерхової, а швидше одноповерхової забудови з невеликим навантаженням на ґрунт.

3.2. Ущільнення слабких ґрунтів привантаженням

Принцип дії привантаження оснований на ущільненні (осіданні) слабого ґрунту за рахунок додаткового тимчасового навантаження поверхні ґрунту, що перевищує проектне. Після досягнення величини осідання, яка відповідає проектному значенню, додатковий шар ґрунту знімають в зв'язку з тим, що процес консолідації закінчився. Цей спосіб достатньо обґрунтований теоретично і перевірений практикою. Його можна також використовувати для ущільнення насипних ґрунтів.

Улаштування привантажень у вигляді насипу, що ущільнюється рухом транспортних засобів, виконують горизонтальними шарами товщиною не більше ніж 0,5 – 1,2 м у разі транспортування ґрунту автомобілями та скреперами.

Для улаштування привантажень без обмеження використовують: камінь, гальку, гравій та пісок, який містить більше ніж 90% фракцій більше ніж 0,10 мм, у тому числі не менше ніж 50% фракцій крупністю 0,25 мм і більше; супіски, легкі і важкі суглинки і глини, якщо природна вологість їх не перевищує меж, встановлених проектом.

Ущільнення слабких ґрунтів природного складу привантаженням було виконано на початку 60-х років минулого століття в м. Києві в колишній заплаві річки Либідь на місці будівництва універмагу «Україна», на площі Перемоги.

Площа забудови була складена водонасиченими болотистими ґрунтами, у нижній частині яких, на глибині 14 м, знаходився прошарок торфу товщиною 0,6 м. Крім того, були виявлені прошарки пливуну. На поверхні знаходився культурний шар товщиною 1,2 – 2,0 м. Ґрунтові води були виявлені на глибині 1,5 – 2,0 м від поверхні.

У 1961 р. будівельний майданчик (площу забудови збільшили на 8 м з кожної сторони) спланували з ухилом 5° від площі Перемоги і відсипали піском робочу платформу товщиною 0,8 м. Вздовж нижчої поздовжньої сторони платформи викопали з укосами траншею глибиною 1,5 м.

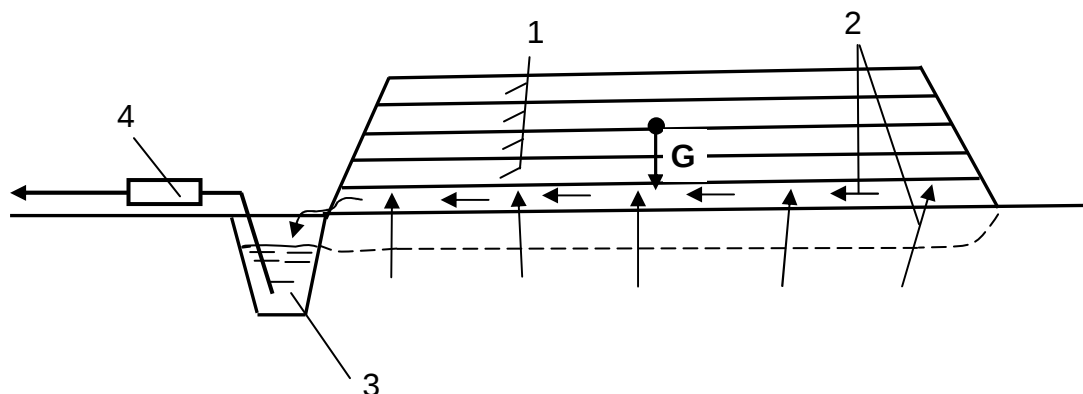


Рис. 3.2. Схема уцілювання водонасиченого глинистого ґрунту привантаженням: 1 – відсипка привантаження шарами через інтервали часу; 2 – напрямок фільтрації води; 3 – водозбірна канава; 4 – відкачування ґрунтової води

За декілька місяців на робочій платформі розпочали пошарове відсипання привантаження із дорожнього гранітного щебеню. У 1962 р. висота відсипки складала близько 6 м (рис. 3.2).

Через рік розпочали знімати привантаження і після його видалення розпочали копати котлован і будувати універмаг.

З того часу осідання будівлі знаходиться в межах унормованих значень.

Слабкі торф'яні і мулисті ґрунти природного складу уцілюнені привантаженням у м. Вільнюсі під час будівництва дорожнього вузла в заплаві річки. Ці ґрунти товщиною 2 – 10 м були перекриті насипними пісками і супісками товщиною 2 – 8 м, які були завезені в долину заплави у відвал і були нездатні сприйняти навантаження від інженерних споруд. Крім того рівень ґрунтових вод був високим. Міцні ґрунти залягали на глибині від 15 м до 20 м, що ускладнило влаштування котлованів для заміни слабких ґрунтів

привозним піщаним ґрунтом, а варіант пальових основ виявився дорогим.

Обстеження ґрунтів і розрахунки показали, що осідання дорожнього насипу в найслабшому місці впродовж консолідації слабких ґрунтів могло б досягти 1,5 м протягом 10 років.

Відомий метод швидкої консолідації ущільнення обводнених ґрунтів вертикальними дренами не міг дати значного ефекту через малий коефіцієнт фільтрації болотної товщі. Найраціональнішим у цих умовах виявився метод тимчасового привантаження.

Товщину привантажувального шару 3 м визначали розрахунками, в основі яких лежала фільтраційна здатність ґрунту і необхідна тривалість ущільнення.

Розрахунки показали, що тривалість дії привантаження повинна бути 229 діб у найтовстішому місці слабких ґрунтів.

До початку відсипання ґрунту в характерних точках території були закладені датчики, глибинні марки, вішки, з допомогою яких протягом укладання ґрунтового привантаження виміряли товщину насипу, осідання шарів ґрунту та поверхні і надлишковий поровий тиск у слабкому ґрунті.

За результатами вимірювань було встановлено, що максимальний поровий тиск досяг 170 кПа через 5 – 10 діб після прикладення повного навантаження, а потім, в міру вижимання ґрунтової води повільно знижувався. Після досягнення розрахункового осідання ґрунту надлишковий привантажувальний шар насипу був знятий. Після зняття привантажувального шару відбулось пружне підняття поверхні на 6 – 20 % від осідання, залежно від товщини слабого шару. Спостереження протягом п'яти років показали, що деформацій слабких ущільнених ґрунтів немає.

Ущільнення підводного мулу привантаженням виконують у разі виникнення необхідності будівництва на місці обводненої заплави або старого озера та наявності на дні, під водою, мулистих відкладень великої товщини і площі. Привантаження застосовують, якщо економічно недоцільно видалити мул і замінити його міцним ґрунтом. Для цього випадку вітчизняні вчені запропонували спосіб привантаження з наступними особливостями (дивись також розділ 1).

В якості ґрунту привантаження слід використовувати крупний пісок. Відсипати пісок необхідно спеціальною пісcomedальною струменевою установкою, яка розсіює пісок на велику площу

рівномірним надзвичайно тонким шаром. Установкою повільно розсіюють пісок із плавзасобу (рис. 3.3).

Темп збільшення ваги піску узгоджують з фільтраційною консолидацією мулу і збільшенням його міцності, щоб не відбувалося випирання мулу. Крім привантаження пісок надає можливість відфільтровувати крізь нього воду, яка знаходиться в порах мулу під напором створеним привантаженням, а це сприяє ущільненню і зміцненню мулу.

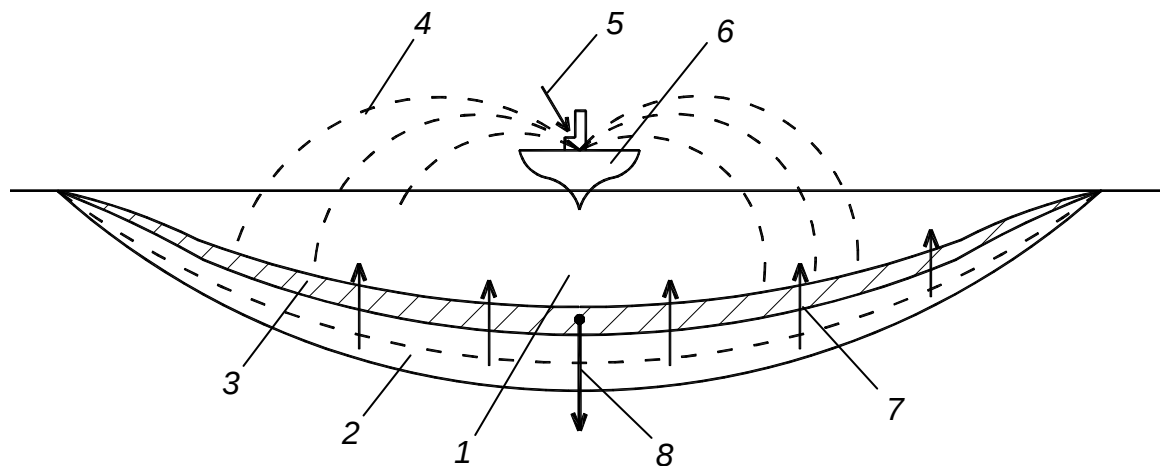


Рис. 3.3. Схема ущільнення обводненого мулистого ґрунту привантаженням: 1 – озеро; 2 – мул; 3 – пісок привантаження; 4 – розсіювання піску; 5 – пискоструменева установка; 6 – плавзасіб; 7 – напрямок фільтрації води із мулу; 8 – тиск піску

Коли досягається певна товщина піску темп привантаження можна збільшити тому, що мул трохи ущільниться і матиме більшу міцність, що ліквідує, певною мірою, можливість випирання мулу.

З часом шар привантаження перетвориться в піщану подушку, яка сприйме і розподілить на ущільнений мул зовнішні навантаження від споруди.

3.3. Ущільнення слабких ґрунтів привантаженням з улаштуванням піщаних паль

Для ущільнення слабких та водонасичених ґрунтів застосовується метод привантаження з улаштуванням піщаних паль (рис. 3.4), які крім створення додаткового гідравлічного напору в ґрунтових водах є їх фільтраційними шляхами на поверхню. Водонасичений слабофільтрувальний ґрунт, у разі штучно створеного в ньому гідравлічного напору

ґрунтом, витісненим піщаними палями та привантаженням поверхні, інтенсивно фільтрує воду із своїх пор крізь піщані палі на поверхню. Зі зменшенням води в порах ґрунт ущільнюється.

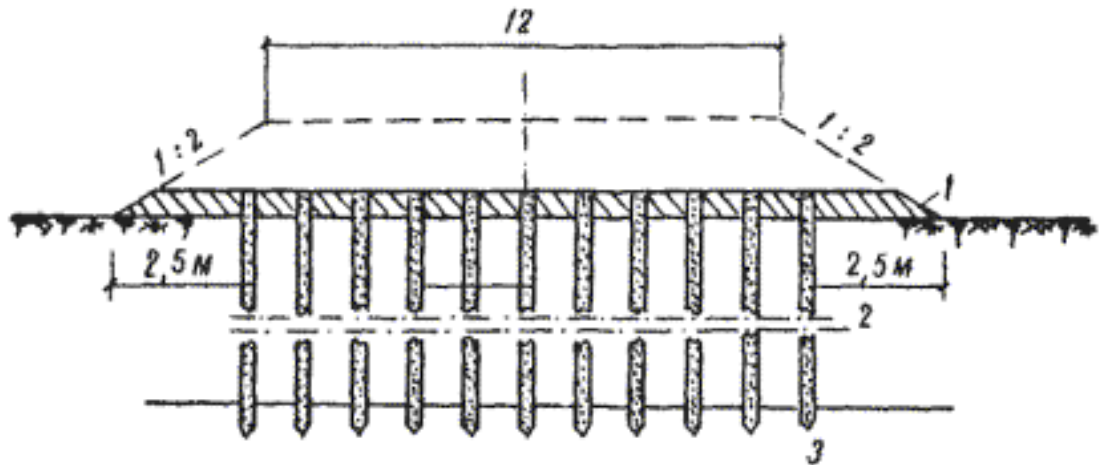


Рис. 3.4. Поперечний переріз ґрунтового привантаження з піщаними палями: 1 – робоча платформа; 2 – слабкий водонасичений ґрунт; 3 – наступний шар ґрунту

Технологія улаштування піщаних палей включає групу підготовчих процесів та основний процес влаштування піщаних палей.

Кількість підготовчих процесів залежить від місцевих умов, але до таких, що завжди потрібно виконувати, відносяться: розчищення території ущільнення, зняття рослинності, улаштування робочої платформи, розбивка палевого поля, доставка піску для влаштування палей.

Під час розчищення території і знятті рослинності потрібно вжити заходів, які запобігають пошкодженню верхнього шару слабких обводнених ґрунтів робочими органами і гусеницями землерийних машин.

На розчищеній поверхні слабого обводненого ґрунту відсипають робочу платформу. Щоб забезпечити влаштування крайніх рядів палей під час поздовжнього руху установки, робоча платформа виводиться за крайні ряди піщаних палей не менше, ніж на 2,5 м. Товщина робочої платформи повинна бути достатньою для того, щоб її не зруйнували машини, які будуть влаштовувати палі та підвозити і розрівнювати ґрунт привантаження. Товщину платформи приймають рівною 0,5 – 1,5 м. Ущільнювати робочу платформу не потрібно, так як ущільнення відбудеться в процесі влаштування палей.

Робочу платформу відсипають ґрунтом з коефіцієнтом фільтрації не нижче 3 м/добу. Поверхню робочої платформи планують з

поперечним ухилом не менше за 2%, потім розбивають осі паль з влаштуванням обноси для закріплення осей за межами майбутнього відсипання.

На сплановану робочу платформу самоскидами завозять і виставляють купами крупний пісок для влаштування паль. Якщо палі виконують із того ж піску, що і робочу платформу, то його для паль і платформи завозять одночасно, і палі влаштовують безпосередньо за плануванням платформи.

Для влаштування піщаних паль використовують вібровдавлювальний агрегат або бурову установку та навантажувач-планувальник (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Установка для влаштування піщаних паль

Вібровдавлювальний агрегат, обладнаний спеціальною трубою (діаметром біля 35 см і більше і проектною довжиною), у верхній частині якої є оголовок для кріплення до вібровдавлювача та бункер для піску, який заповнює трубу і порожнину в ґрунті в разі виймання труби із ґрунту. Нижній кінець труби прикривають бетонним наконечником з загостренням, який під час виймання труби залишається в ґрунті або виготовляють металевий загострений наконечник з декількох шарнірно прикріплених до труби конусоїдальних пелюсток, який під час виймання труби розкривається.

Технологічна послідовність основного процесу влаштування піщаних паль наступна:

1. Сталеву трубу, з закладеним у неї попередньо виготовленим із геотекстилю рукавом, заглиблюють у слабкий водонасичений ґрунт, буровим або вібраційним способом, до міцного шару ґрунту (рис. 3.6 а).

2. Заглиблену на проектну відмітку трубу заповнюють піском, включаючи і приймальний бункер, з тим, щоб забезпечити в ньому запас матеріалу на ущільнення (рис. 3.6, б). Завантаження ведуть навантажувачем-планувальником або, прикріпленим до вежі установки

скіповим навантажувачем. Пісок повинен бути сухим або водонасиченим, в іншому випадку він може заклинитися у трубі під час її виймання із ґрунту.

3. Після завантаження трубу витягають з увімкненим вібратором (рис. 3.6, в). Впродовж перших 10 с швидкість витягання не повинна перевищувати 0,1 м/с за максимальної інтенсивності вібрації. Надалі, якщо не спостерігається зависання піску в трубі, швидкість витягання може бути збільшена до 0,2 м/с, а інтенсивність вібрації знижена. Геотекстиль, унаслідок ущільнення, дещо розтягнеться по колу.



Рис. 3.6. Послідовність влаштування піщаних паль: а – заглиблення у ґрунт сталеві труби; б – заповнення труби піском; в – витягування труби із ґрунту

4. Установка переїжджає на нову точку для влаштування наступної піщаної палі.

Після влаштування піщаних паль на спланованій піщаній робочій платформі пошарово, згідно з проектом, укладають ґрунтове привантаження.

3.4. Ущільнення слабких ґрунтів улаштуванням ґрунтових паль

Набивні ґрунтові палі (піщані палі), виготовлені за технологією викладеною вище, підвищують щільність і міцність слабких ґрунтів.

Допустимі контактні навантаження на ущільнений таким способом ґрунт можуть зрости від 100 КПа до 250 КПа.

Ефект від такого ущільнення може бути ще більшим, якщо у влаштовану піщану палю забивають інвентарне осердя на глибину 80% глибини палі, яке ущільнює оточуючий палю ґрунт. Після витягнення осердя створену ним порожнину в піщаній палі заповнюють піском або іншим надійним ґрунтом з ущільненням (рис. 3.7).

Ущільнення відбувається в товщі ґрунту по всій довжині палі, причому достатньо рівномірно.

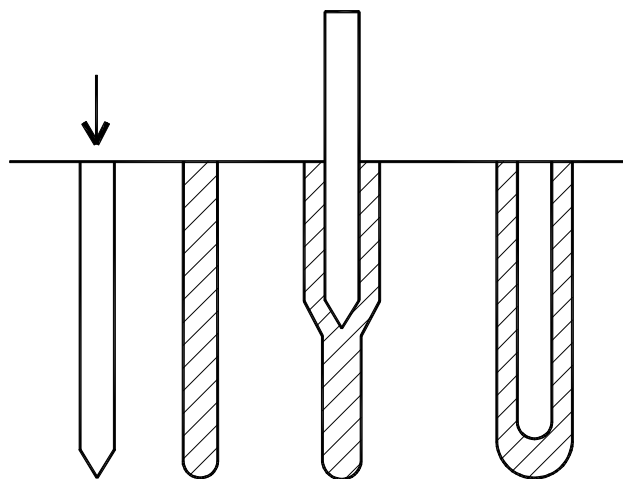


Рис. 3.7. Схема влаштування піщаної палі способом «паля в палі»

3.5. Ущільнення ґрунту важкими трамбівками

Важкі трамбівки застосовуються для ущільнення всіх видів ґрунтів у їх природному заляганні: просідних, засолених, пухких піщаних ґрунтів.

Просідні ґрунти I типу ущільнюють для усунення цих властивостей, а ґрунти II типу – для створення маловодопроникного екрана під забудовою. Ущільнення ґрунтів важкими трамбівками застосовують за щільності сухого ґрунту до $1,6 \text{ г/см}^3$.

Трамбування виконують за допомогою крана-екскаватора вільним скиданням з висоти 5 – 10 м трамбівок діаметром 1,4 – 3,5 м вагою 40 кН – 150 кН. Ущільнення ґрунтів важкими трамбівками вагою до 50 – 70 кН виконують за допомогою будівельних кранів-екскаваторів з вантажопідйомністю 180 – 250 кН, а трамбівками вагою 100 кН – 150 кН – кар'єрних кранів-екскаваторів з вантажопідйомністю 500 –

600 кН. Вантажопідйомність крана-екскаватора повинна в 3 – 4 рази перевищувати вагу трамбівки.

Ефективність ущільнення ґрунтів важкими трамбівками визначається діаметром, вагою, висотою скидання трамбівки, а також ступенем щільності, вологістю, структурною міцністю ґрунтів. Зі збільшенням діаметра, ваги і висоти скидання трамбівки глибина ущільнення зростає. Найефективніше ущільнення ґрунтів досягається за оптимальної вологості.

Осідання поверхні ґрунту зі збільшенням кількості ударів зменшується і після досягнення певної кількості ударів стає постійним. Пробним трамбуванням визначають кількість ударів трамбівки, за якої ґрунт практично не осідає. Таке граничне осідання ґрунту від одного удару називається “відмовою”.

За результатами пробного ущільнення будують графіки пониження поверхні (рис. 3.8), за якими уточнюють число ударів трамбівки фіксованої ваги і діаметра, з прийнятої висоти її скидання необхідне для ущільнення до відмови. На дослідній ділянці після ущільнення закладають шурфи чи проходять радіометричні свердловини на глибину не менше ніж два діаметри трамбівки для визначення зміни щільності ґрунту в сухому стані та вологості за глибиною.

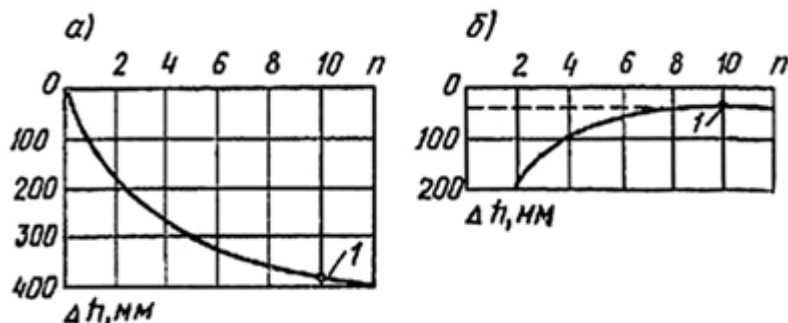


Рис. 3.8. Зниження поверхні ґрунту залежно від кількості ударів трамбівки: а – від загальної кількості ударів; б – від кожних двох ударів; 1 – точка вибору максимальної кількості ударів прийнятою трамбівкою

Трамбування виконують у декілька етапів. Послідовність нанесення серії ударів у кожен слід етапу приведена на схемі рис. 3.9 з перекриттям слідів окремими серіями за постійного повороту стріли. По кожному сліду виконують серію ударів трамбівкою по два-чотири удари.

Коли виконано по серії ударів у один слід з одним вилітом стріли на смузі прийнятої ширини, кран переїжджає назад або змінюють виліт його стріли. Така послідовність зберігається в кожному етапі доти, поки не буде виконано задане число ударів трамбівки по кожному сліду.

Кількість етапів визначається поділом необхідної кількості ударів по одному сліду на кількість ударів в одній серії.

Найбільший ефект під час трамбування досягається за поступового підвищення контактних навантажень від трамбівки на ґрунт.

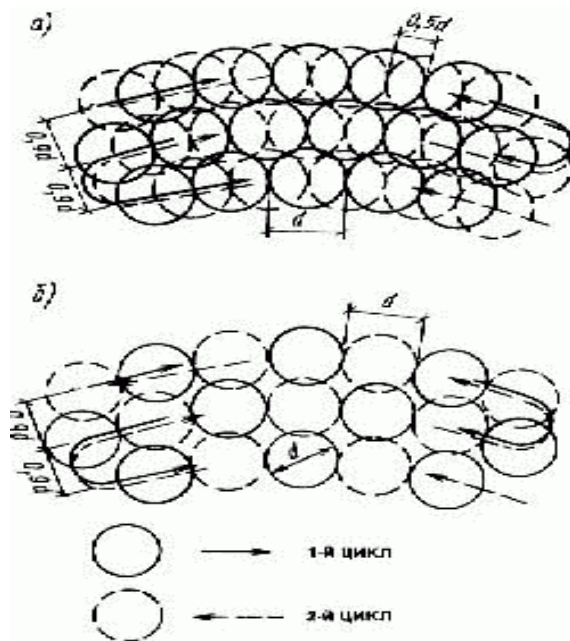


Рис. 3.9. Послідовність трамбування: а – з напуском у половину діаметра трамбівки; б – з пропуском у діаметр трамбівки

На першому етапі необхідно трамбувати ґрунт трамбівкою з найбільшим діаметром. Потім, коли досягнута відмова, діаметр трамбівки зменшують і ущільнення продовжують. За такої методики досягається максимальна глибина ущільненої зони. У разі використання трамбівки масою 5 – 7 тон, ущільнювати ґрунт слід 2 – 3 удари по кожному сліду, поступово переходячи від сліду до сліду поворотом стріли і перекриваючи попередній слід на 50%.

Якщо використовують трамбівку вагою 100 – 150 кН, то сліди ударів розміщують впритул без перекривання (рис. 3.10).

Під час трамбування потрібно наносити кількість ударів, які викликали відмову. Якщо кількість ударів збільшити, то відбудеться випирання ґрунту з поверхні з розрихленням.

Після закінчення трамбування верхній розпушений шар ґрунту доущільнюють легкими ударами трамбівки скиданням її з висоти 0,5 – 1,0 м або укочуванням. Якщо після трамбування відмітка основи виявиться нижче проектної, проводиться підсипка місцевим ґрунтом з його укочуванням.

Товщина ущільненого шару, типи кранів-екскаваторів і трамбівок, змінна продуктивність і орієнтовна кількість ударів в один слід для ущільнення ґрунтів до коефіцієнта ущільнення 0,95 – 0,98 наведені в табл. 3.1.

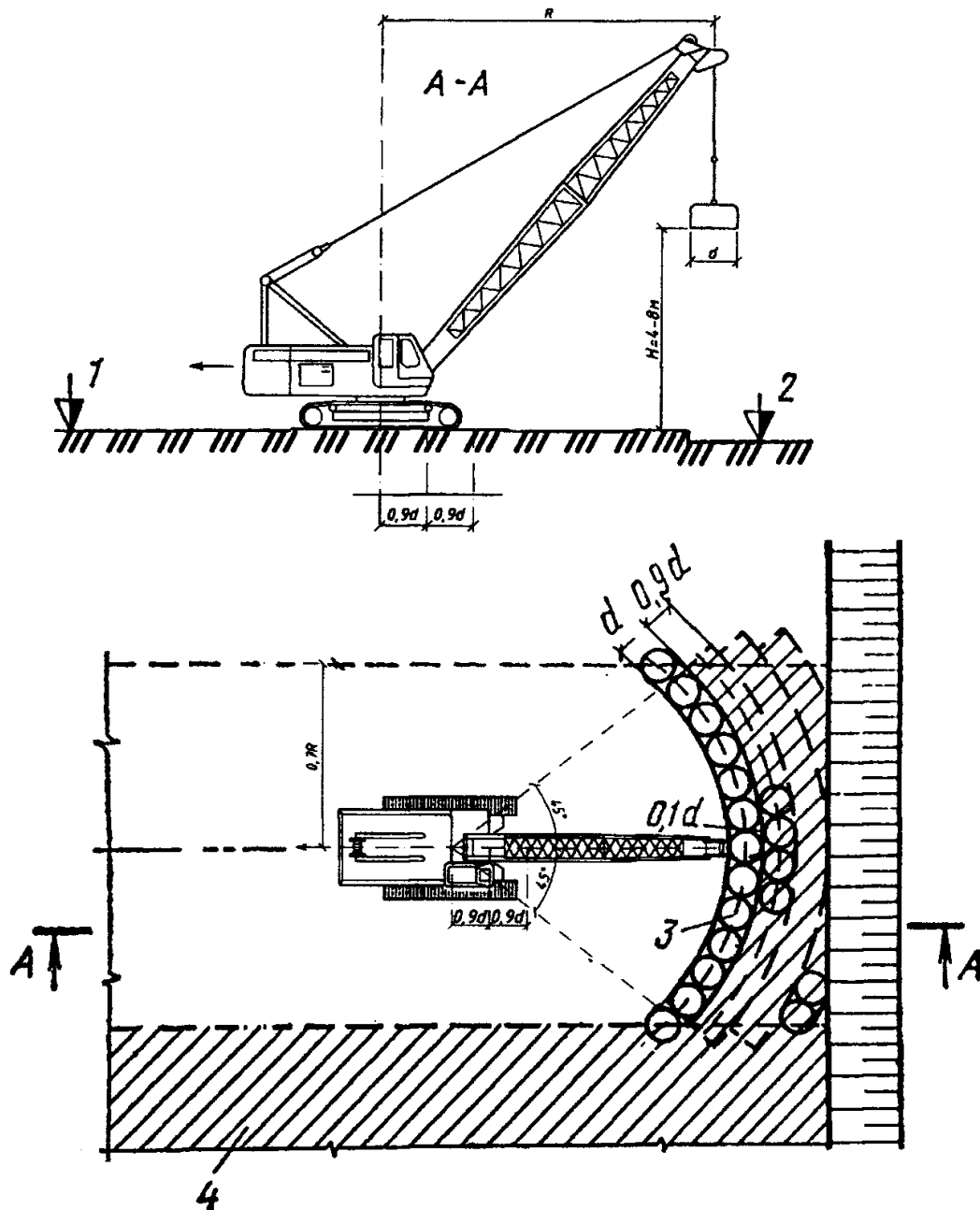


Рис. 3.10. Технологічна схема трамбування ґрунту важкими трамбівками: 1 – відмітка розробки котловану; 2 – проектна відмітка; 3 – послідовність скидання трамбівки з однієї стоянки екскаватора; 4 – зона ущільненого ґрунту

Таблиця 3.1

Характеристики установок з важкими трамбівками

№ п/п	Характеристика ущільнювального механізму	Висота скидання трамбівки, м	Товщина шару в метрах на ґрунтах		Кількість ударів в одне місце, шт.	Змінна продуктивність, м ³
			глинистих	піщаних гравелистих		
1	Кран-екскаватор 25 т, трамбівка діаметром 1,2 м масою 2,5 т	6 – 8	1,5 – 2,0	1,8 – 2,2	12 – 14	100 – 300
2	Кран-екскаватор 25 т, трамбівка діаметром 1,6 м масою 3,5 т	6 – 8	2,0 – 2,3	2,3	12 – 14	100 – 300
3	Кран-екскаватор 25 т, трамбівка діаметром 1,8 м масою 5,5 т	6 – 8	2,5	2,7 – 3,0	12 – 14	100 – 300
4	Кран-екскаватор 25 т, трамбівка діаметром 2,0 м масою 6 – 7 т	6 – 8	3,2 – 3,5	3,5 – 3,8	12 – 14	100 – 300
5	Кран-екскаватор 40 т, трамбівка діаметром 2,4 м масою 10 т	10 – 12	5,0 – 5,5	6,0	10 – 12	300 – 400
6	Кран-екскаватор 40 т, трамбівка діаметром 3,0 м масою 15 т	10 – 12	7,0	8,0	8 – 10	400 – 500

3.6. Ущільнення сухого ґрунту витрамбовуванням вертикальних порожнин

В установці для ущільнення ґрунту витрамбовуванням заглиблень на базі екскаватора установлена вертикальна металева тонкостінна замкнена оболонка, яку забивають у ґрунт вбудованим у неї гідромолотом для ущільнення оточуючого її ґрунту (рис. 3.11).

Гідромолот діє від гідросистеми екскаватора і має енергію удару до 100 кДж за робочої частоти до 20 ударів у хвилину зі швидкістю робочого ходу до 10 м/с. Тонкостінна оболонка має форму зрізаного конуса висотою 3 м з діаметром нижньої основи 0,5 м, а верхньої – 0,9 м.

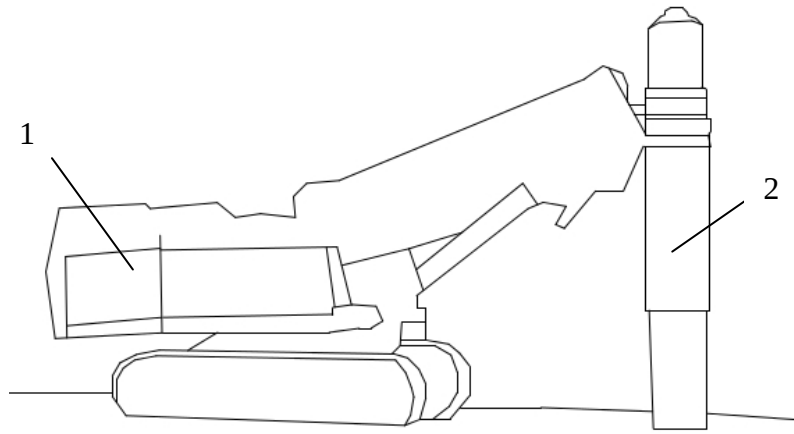


Рис. 3.11. Установка для ущільнення ґрунту втрамбуванням вертикальних порожнин: 1 – екскаватор; 2 – оболонка

Наприкінці робочого ходу ударник завдає удару по нижній основі оболонки через спеціальний буфер, який, з одного боку, обмежує ударний імпульс, захищаючи оболонку від руйнування, а з іншого – в десятки разів (у порівнянні з жорстким ударом) збільшує тривалість ударного впливу на ґрунт. Тривалість ударних імпульсів можна регулювати в широкому діапазоні. Завдяки цьому можна підбирати оптимальні режими трамбування ґрунтів з різними властивостями, що сприятливо позначається на ефективності технологічного процесу.

У момент удару на оболонку діє осьове зусилля близько 5000 кН, під дією якого оболонка переміщується відносно корпусу молота, проникаючи в ґрунт. Середня величина заглиблення оболонки в ґрунт за 1 удар складає близько 300 мм, а за 5 хвилин оболонку заглиблюють на повну глибину після 80 – 150 ударів. Унаслідок в ґрунті утворюється заглиблення відповідної форми і розмірів.

На відміну від падаючої трамбівки оболонка агрегату під час трамбування постійно утримує ґрунт у напруженому стані, що забезпечує високу ефективність процесу трамбування за зниження витрат енергії.

Процес ущільнення верхнього шару ґрунту з використанням агрегату, який витрамбовує заглиблення відбувається наступним чином.

На заздалегідь спланованій поверхні будівельного майданчика у вузлах прийнятої координатної сітки з кроком 1,7 – 2 м витрамбовують заглиблення конусоподібної форми глибиною до 3 м (рис. 3.12).

Витрамбовані заглиблення заповнюють місцевим ґрунтом зрізаним бульдозером з цього ж будівельного майданчика та додатково підтрамбовують тим самим агрегатом. Витрамбовування заглиблень та

заповнення їх ґрунтом з підтрамбуванням повторюють двічі або тричі. В якості заповнювача крім ґрунту можна використати гравій або бетонну суміш.

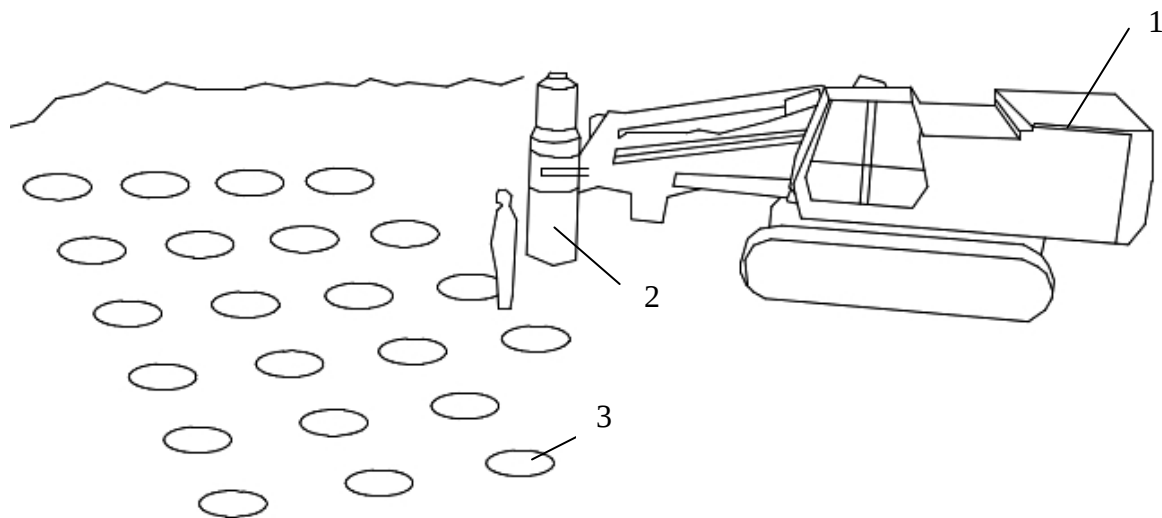


Рис. 3.12. Загальний вид витрамбовуваних порожнин: 1 – екскаватор; 2 – оболонка; 3 – заглиблення

Щільність ґрунту збільшується на 20 – 30%, змінюється його структура і в 2 – 2,5 рази зростає міцність ґрунту. Відстань між сусідніми вузлами координатної сітки вибирають таким чином, щоб унаслідок трамбування на глибині 4 – 5 м утворилася суцільна подушка ущільненого ґрунту з покращеними властивостями.

За робочу зміну (8 годин) агрегат витрамбовує до 30 заглиблень. Для ущільнення основи типового 9-поверхового будинку потрібно понад 500 витрамбовувань, на що витрачається 15 – 20 робочих змін.

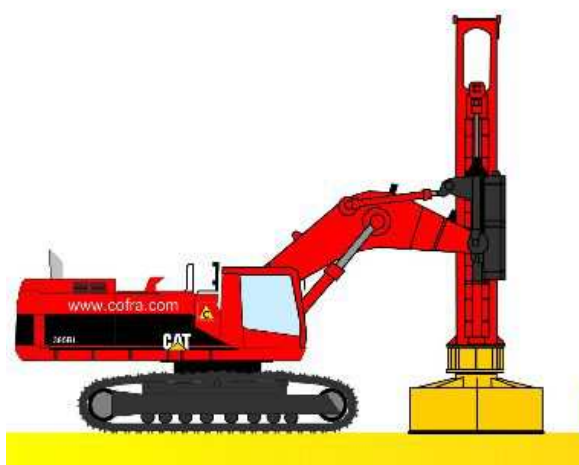
У порівнянні з копровими установками за один і той же час агрегат здійснює в 10 разів більше ударних імпульсів і має в стільки ж разів більшу продуктивність. Висота описаного агрегату втричі менша висоти існуючих копрів, тому до місця роботи така машина транспортується в зібраному вигляді.

3.7. Динамічне ущільнення (CDC) обладнанням Cofra

10 років тому компанія Cofra розпочала виготовляти обладнання для поверхневого ущільнення, яке забезпечує ущільнення ґрунту на глибину до 9 метрів від поверхні. Основу обладнання складає гідравлічний молот вагою 16 тон, а також система моніторингу робочого процесу і переміщення установки під контролем системи реєстрації GPS.

Цей спосіб досить економічний і здатний конкурувати з динамічним ущільненням та іншими методами швидкого впливу. Його використовують для ущільнення тонкого шару слабкого ґрунту на глибині або для ущільнення шарів товщиною 4 – 7 метрів.

Базова машина – важкий екскаватор зі спеціальною вигнутою жорсткою короткою стрілою, до кінця якої прикріплено гідромолот подвійної дії (рис. 3.13). Молот б'є по металевій основі діаметром 1,5 – 2,6 м, яка опирається на поверхню ґрунту. Такі удари молота ініціюють і генерують вібрацію. Навантаження від великої енергії удару та вібрація викликають переміщення металевої основи молота в ґрунт і ущільнює його.



а



б

Рис. 3.13. Схема динамічного ущільнення ґрунтів обладнанням Cofra: а – загальний вигляд установки; б – ущільнення ґрунту

Місця ударів для ущільнення знаходяться в точках перетину прямих, що створюють сітку з кроком від 2,0 м до 3,3 м. Частота ударів досягає 40 – 80 ударів у хвилину.

Результат ущільнення в значній мірі залежить від місцевих ґрунтових умов і вимог. Міцність ґрунту ущільненого цим способом може досягати 30 МПа в зоні 5 метрів. Рекомендована область застосування визначається вимогами до ущільнення, гранулометричним складом ґрунту і його пористістю, а взагалі найбільш придатним для цього є незв'язний ґрунт, в якому найдрібніших часточок не більше за 15%. У таких ґрунтах глибина ущільнення може бути максимальною (до 9 м), а в інших ґрунтах у середньому – від 5 до 6 метрів.

3.8. Глибинне віброущільнення водонасичених пісків

Для ущільнення водонасичених піщаних ґрунтів застосовують глибинне віброущільнення. Віброущільнення пісків можна виконати трьома способами:

- заглибленням вібробулави (вібратора) у водонасичений пісок;
- віброзаглибленням у водонасичений пісок об'ємного металевого осесиметричного каркаса;
- віброфлотацією водонасичених і сухих пісків.

У всіх способах вібрація передається піску, який спочатку локально або повністю розріджується, а потім поступово ущільнюється. За певних умов пісок може досягти щільного стану. Якщо пісок знаходиться не у водонасиченому стані, то до місця вібрування подають воду застосовуючи віброфлотатори.

Вібробулаву здебільшого використовують для ущільнення шару піску товщиною від 1 м до 10 м аналогічно тому, як ущільнюють вібратором бетонну суміш (рис. 3.14, а). Для прискорення робіт до вантажопідіймального крана можна підвісити через траверсу декілька вібробулав.

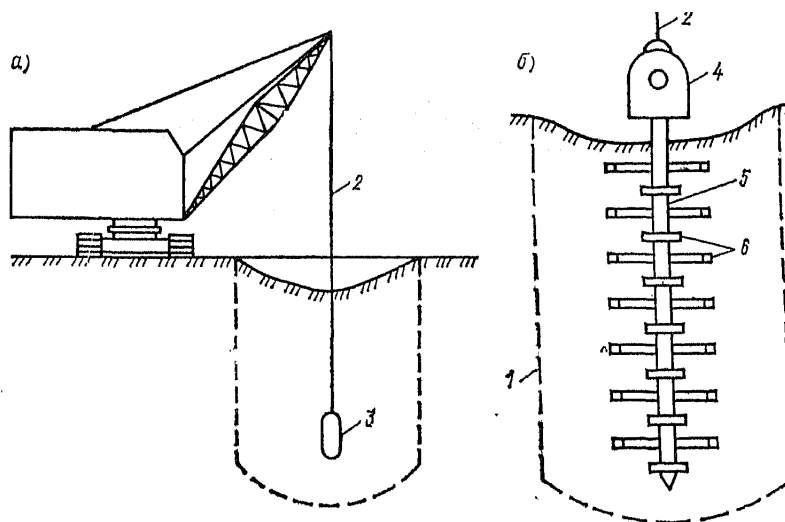


Рис. 3.14. Ущільнення водонасичених водою пісків вібруванням:
1 – границя ущільнення; 2 – трос; 3 – вібратор; 4 – віброзанурювач;
5 – стрижень; 6 – приварені планки Т-подібної форми

Віброзаглиблення об'ємного металокаркаса можна застосовувати для ущільнення водонасиченого піску, якщо товщина шару складає від 5 м до 20 м (рис. 3.14, б). Віброзаглиблювач кріпиться

до верхівки трубчастого стрижня з привареними в чотирьох напрямках, перпендикулярно стрижню, Т-подібних поперечних планок з певним кроком, що створює об'ємний каркас. У такому випадку вібрація охоплює більший об'єм, ніж коли використовується вібробулава.

3.9. Ущільнення незв'язних ґрунтів віброфлотацією

Віброфлотація вперше застосована під час ущільнення пісків у 1934 році. Сьогодні цей метод розповсюджений у світі і являється одним із провідних для ущільнення незв'язних ґрунтів.

Суть способу полягає в тому, що спеціальний вібратор з напрямною трубою (віброфлотатор) (рис. 3.15), підвішений до троса вантажопідйомного крана опускають у пухкий піщаний ґрунт під дією вібрації, власної ваги і з подаванням крізь нижні сопла вібратора води під тиском.

Ущільнення пісків віброфлотацією рекомендоване на глибині від 3 м до 20 м, але був випадок ущільнення до глибини 40 м, а в рекламі способу – 70 м. Цим способом можна ущільнювати піски, як нижче рівня ґрунтових вод, так і вище.

Основне обладнання для цього способу складається із напрямної інвентарної металевої труби заданої довжини, до нижнього кінця якої прикріплений циліндричний вібратор (діаметром 30 – 50 см).

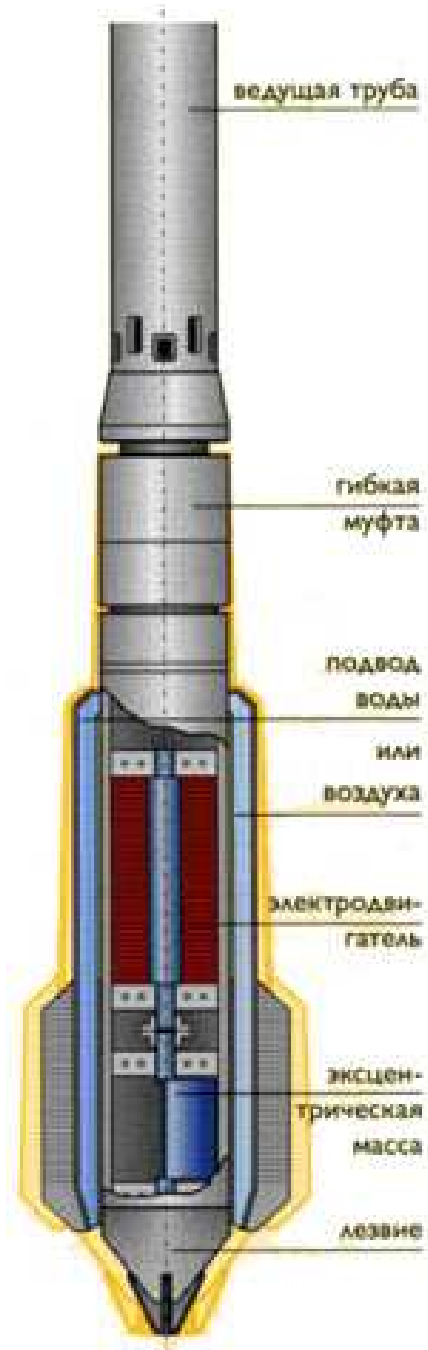


Рис. 3.15. Конструкція віброфлотатора

Вібратор генерує бокові коливання корпусу з амплітудою 5 мм – 20 мм. Нижній загострений та верхній кінець вібратора оснащений соплами, через які в ґрунт за бажанням оператора (вниз або вгору)

нагнітається вода або стиснуте повітря з метою підвищення ущільнення піщаного ґрунту.

Установку для віброущільнення оснащують бортовими комп'ютерами для моніторингу параметрів ущільнення під час виконання робіт. Основні з них – сила струму та швидкість підйому віброфлотатора. Це дозволяє оператору установки виправляти будь-які відхилення в процесі виконання ущільнення, щоб досягти проектних показників ґрунту. Коефіцієнт ущільнення піску, у такому випадку, може досягати 0,5 – 0,9. Коефіцієнт ущільнення залежить від виду піску, відстані між точками опускання віброфлотатора, а також від тривалості вібрування.

Ущільнення виконують наступним чином (рис. 3.16).

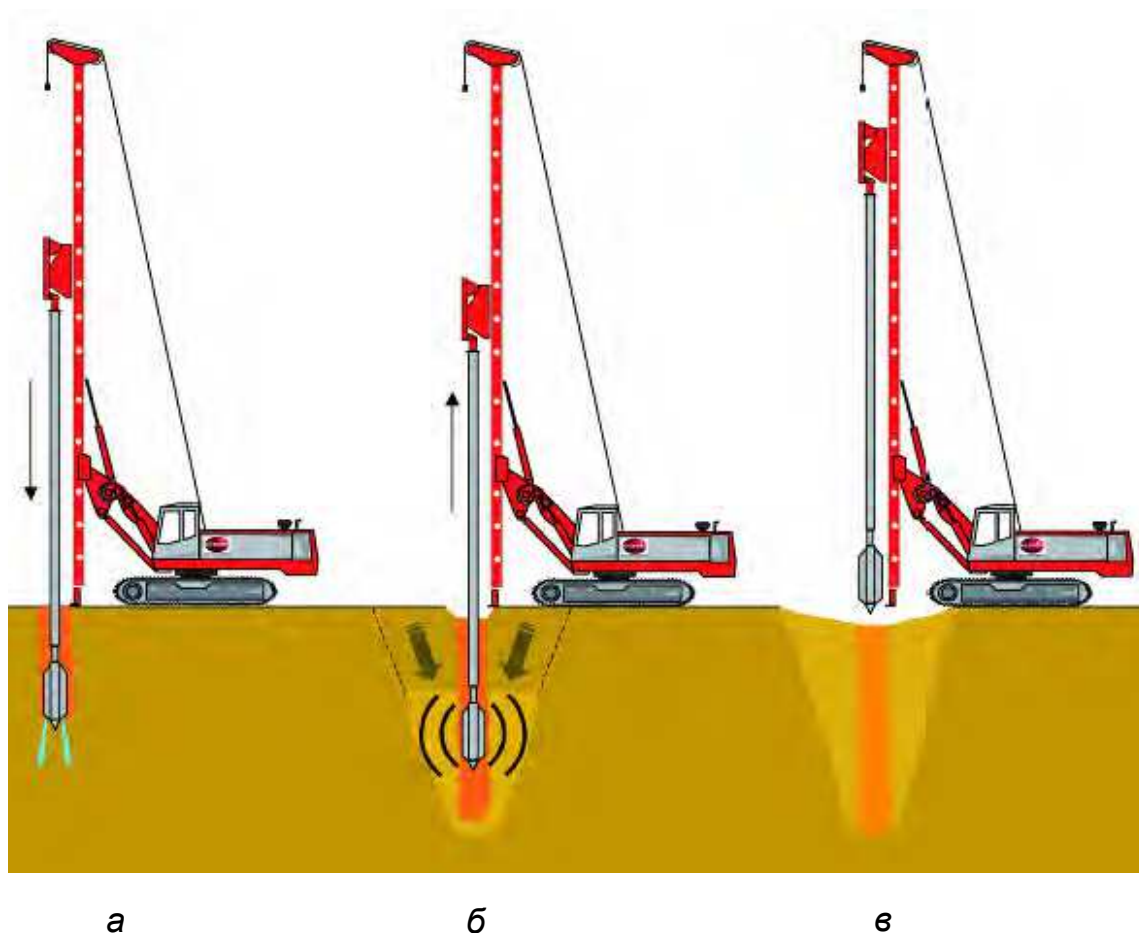


Рис. 3.16. Схема ущільнення ґрунту віброфлотацією: а – опускання флотатора в ґрунт з подачею води; б – піднімання флотатора з осіданням оточуючого ґрунту; в – відїзд установки для підсипання ґрунту в лунку

Віброфлотатор з прямою трубою підвішений до троса крана наводять на точку і з ввімкнутим вібратором під дією власної ваги та коливань опускають у ґрунт, заразом подаючи в переднє сопло

вібратора воду під тиском. В окремих випадках трубчасту палю з віброфлотатором у нижній частині вдавлюють вібрацією і поліспасною системою базової машини. Опускання віброфлотатора ведуть повільно, щоб струмені води розмивали ґрунт і насичували оточуючий пісок водою. Після досягнення щільного шару ґрунту або проектної глибини струмінь води переключають на верхні сопла вібратора і віброфлотатор повільно підіймають на поверхню.

Точки опускання віброфлотатора в ґрунт назначають на перетинах ліній квадратної або рівносторонньої трикутної сітки. Як правило, відстань між точками віброфлотації приймають 1,5 – 5,0 м. За такого ущільнення в ґрунті забезпечується однорідність ущільнення і не виникають внутрішні напруження.

У пухкому масиві піску під дією віброфлотації ущільнюється стовбур ґрунту діаметром 1,5 – 2,5 м. На місці піднятого віброфлотатора створюється конічний кратер за рахунок ущільнення і переміщення вниз часточок ґрунту. Цей кратер засипають щебенем або бетонною сумішшю, але частіше місцевим піском і виконують повторне віброущільнення з додаванням піску в кратер під час підйому віброфлотатора (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Схема засипання кратера ґрунтом з повторним віброущільненням віброфлотатором

Коли використовується чистий пісок для штучних насипів поверхню насипу можна підняти з розрахунку, що після ущільнення глибинним вібруванням поверхня осяде до проектного рівня і

підсипання лунок виявиться не потрібним. Поверхня ґрунту опускається, а шар ґрунту 0,5 м – 1,0 м залишається розрихленим і його необхідно ущільнити іншим способом, наприклад, вібраційним котком.

Для цього способу ущільнення в пісках не повинно бути глинистих або мулистих частинок більше ніж 10%. Цим способом можна ущільнювати поверхневі мулисті відкладення на дні водойми.

Запитання для самоконтролю

1. Розкрийте суть ущільнення ґрунтів водопониженням відкритими траншеями і дренажами.
2. Які основні положення технології ущільнення водонасичених слабких ґрунтів привантаженням?
3. Як ущільнюють привантаженням мулисті ґрунти під водою?
4. Перерахуйте послідовність робочих операцій ущільнення ґрунтів привантаженням з улаштуванням піщаних паль.
5. Як ущільнюють ґрунти способом ґрунтових паль – «паля в палю»?
6. Як ущільнюють сухі лесові ґрунти важкими трамбівками?
7. Яке обладнання і в якій послідовності використовують для ущільнення сухих рихлих ґрунтів утрамбовуванням вертикальних порожнин?
8. Перерахуйте основні конструктивні та технологічні особливості обладнання фірми Sofra для ущільнення ґрунтів.
9. Як ущільнюють водонасичені піски вібруванням?
10. Як ущільнюють водонасичені піски віброфлотацією?

4. УЩІЛЬНЕННЯ НАСИПНИХ ҐРУНТІВ

Усі планувальні насипи, незалежно від їх призначення, споруджують із однорідних ґрунтів з розрівнюванням відсипаного шару горизонтальними чи похилими з невеликим ухилом шарами з подальшим ущільненням.

Вибір типу машин для ущільнення насипу головним чином залежить від загальної схеми її спорудження, із бокових резервів, виїмок чи кар'єрів, а також від відстані транспортування ґрунту. Під час транспортування ґрунту автомобілями чи колісними тракторами-

тягачами товщина відсипаного шару може досягати: глинистого і суглинистого ґрунту 0,5 м; супіщаного 0,8 м, піщаного 1,2 м.

Якщо насип відсипають шарами товщиною 0,3 м з використанням автосамоскидів, тракторів з причепами і скреперів, то ущільнювати шари ґрунту можна ними за спеціальною технологією і схемами руху машин.

У відповідальних спорудах шари обов'язково ущільнюють.

Ґрунти ущільнюють шарами однакової товщини, яка залежить від виду ґрунту, умов виконання і обсягів робіт, типу ущільнюючих машин та заданих термінів.

Ущільнення насипних ґрунтів необхідно проводити за вологості близькій до оптимальної. Коли вологість менша оптимальної, то потрібно зменшувати товщину шару ґрунту, збільшувати кількість проходів котка чи збільшити його масу, або додатково зволожувати на місці його розробки. Якщо використовують ґрунти які мають вологість більшу за допустиму, потрібно передбачати заходи з осушення перезволожених ґрунтів до оптимальної вологості.

Ущільненню ґрунтів має передувати пробне ущільнення ґрунтів на невеликій ділянці будівельного майданчика, де укладатимуть ґрунт для встановлення оптимальної вологості ґрунтів та основних параметрів ущільнення – числа проходів ущільнюючих машин або числа ударів трамбівки по одному сліду, а також інших показників, зазначених у проектній документації для отримання необхідних значень щільності і несучої здатності ґрунтів.

4.1. Укочування ґрунтів котками статичної дії

Кулачковими котками ущільнюють глини, суглинки і глинисті ґрунти з домішками щебеню та гравію, а також грудкуваті ґрунти оптимальної вологості. Надмірнозволожені зв'язні ґрунти взагалі не ущільнюють кулачковими котками, тому що відбувається налипання ґрунту на поверхні вальця, унаслідок відбудеться заклинення вальця, і він перестав рухатися.

Не слід також застосовувати кулачкові катки для ущільнення щільних ґрунтів, адже для проникнення в ґрунт кулачків потрібні досить високі контактні тиски, а на заключній стадії процесу ці тиски не потрібні.

За першої проходки котка, коли ґрунт ще пухкий, кулачки повністю заглиблюються в ґрунт, через що в контакт з поверхнею ґрунту може

входити також і валець котка. Надмірному заглибленню кулачків в ґрунт сприяє високий контактний тиск, який значно перевершує межу міцності ґрунту. За такого заглиблення під кожним кулачком, як це показано на рис. 4.1, утворюється ущільнене ядро.

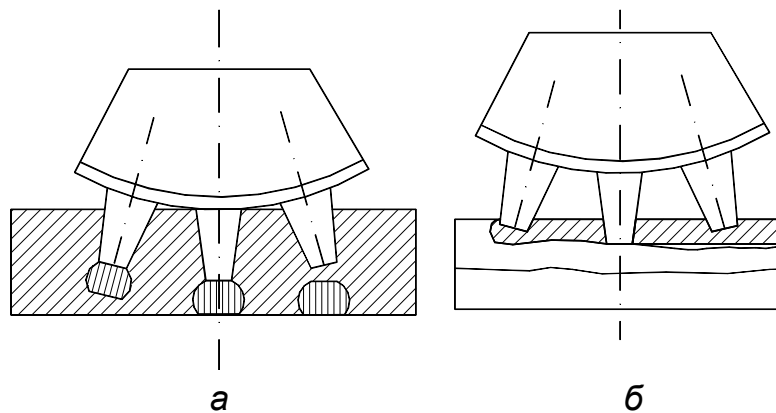


Рис. 4.1. Ущільнення ґрунту кулачковим котком: а – перша проходка; б – остання проходка

На поверхні вальця є велика кількість кулачків, тому після першої проходки залишається велике число «ядер», які розташовані в шаховому порядку близько один до одного. Ущільненню ґрунту між ядрами сприяє пластична текучість ґрунту як з-під кулачків, так і ущільнених ядер. Через це об'єм ущільненого ґрунту значно розширюється.

На наступних проходках відбувається ущільнення ґрунту в проміжках між ядрами і нарощується раніше ущільнений шар ґрунту. Нарощування йде за рахунок ущільнення пухкого ґрунту, розташованого над утвореними за попередніх проходок ядрами. Ці ядра служать тією жорсткою основою, яка сприяє утворенню нового шару ущільненого ґрунту. Таким чином, під час кожного нового проходу заглиблення кулачків в ґрунт знижується, і коток опирається на ґрунт тільки через кулачки, адже контакт між поверхнями вальця і ґрунтом втрачається. Разом з тим, через високі тиски, кулачки заглиблюються в ґрунт на деяку глибину, і тому в кінці ущільнення якась частина ґрунту (рис. 4.1, б) залишається розпушеною.

Через надмірно великий контактний тиск розпушена частина шару стає настільки великою, що ущільнення далі не відбувається.

Котки з гладкими вальцями переважно використовують на початку ущільнення свіжовідсипаного ґрунту та завершенні – верхнього шару насипу.

Гладкі котки ущільнюють ґрунт шарами без розпушення його поверхні або з незначним розпушенням на глибину 1-3 мм (у незв'язних ґрунтах).

Котками на пневматичних шинах масою від 8 до 25 т ефективно ущільнюють незв'язні, малозв'язані, а також зв'язні ґрунти оптимальної вологості, тобто – ґрунти усіх видів (рис. 4.2, а).

Пухкий ґрунт краще укочувати легким котком на пневмошинах без навантаження баластом або за зниженого тиску в шинах.

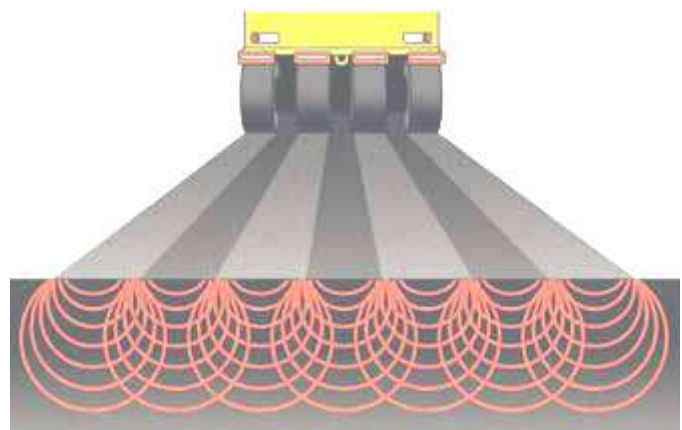
На перших проходках, коли ґрунт ще пухкий, пневматик працює як жорстке колесо. По мірі ущільнення ґрунту значення деформації шини збільшується, а на щільних поверхнях ґрунту здебільшого деформується шина. Для зміни контактного тиску пневматичних шин на ґрунт змінюють розмір контактної поверхні шини зміною тиску повітря в ній.

Колеса самохідних пневмокотків мають незалежну підвіску. За незалежної підвіски кожне колесо має можливість рухатися у вертикальній площині незалежно від інших. Пневматичні колеса мають гладку або профільну робочу поверхню.

Колеса на різних осях по відношенню один до одного розміщені в шаховому порядку, і за переміщення котка проходки передніх коліс перекриваються задніми. Таким чином, перекриваються і зони контактного тиску, які при цьому виникають (рис. 4.2, б).



а



б

Рис. 4.2. Ущільнення ґрунту пневмоколісним котком: а – пошарове укочування; б – зони контактного тиску, які перекриваються

Тому на одній з осей кількість коліс на одне більше, ніж на іншій. На одній геометричній вісі знаходиться 3 – 7 коліс.

Пневмоколісні причіпні котки фірми BROONS (Австралія) призначені для ущільнення будь-яких ґрунтів.

Причіпні котки зазвичай розраховані на роботу з трактором. У більшості випадків їх виготовляють одноосними і за способом підвіски поділяються на котки з жорсткою й незалежною підвіскою коліс.

У котків з жорсткою підвіскою колеса монтують в один ряд, наприклад, десять пневматичних шин (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Укочування насипного шару одноосним причіпним котком

Вісь коліс укріплюється на поздовжній балці рами, яка зазвичай розміщена над колесами і несе на собі кузов для баласту. Статичне навантаження на шину 195 кгс.

Існують котки, колеса яких монтують у два ряди. Крайні два колеса з'єднують між собою і передніми двома колесами за допомогою балки, яка прикріплена до рами.

До кожної з трьох балок кріпиться два передніх і два задніх колеса. Кожна балка має можливість переміщуватися у вертикальному положенні. Коли балки займають горизонтальне положення, то всі дванадцять коліс мають контакт з ґрунтом і, у цьому випадку, досягається максимальна ширина смуги ущільнення 2320 мм (рис. 4.4, а). Якщо одна з балок займає вертикальне положення, то передні колеса можуть ущільнювати ґрунт або всі чотири колеса разом з балкою знаходяться у повітрі.



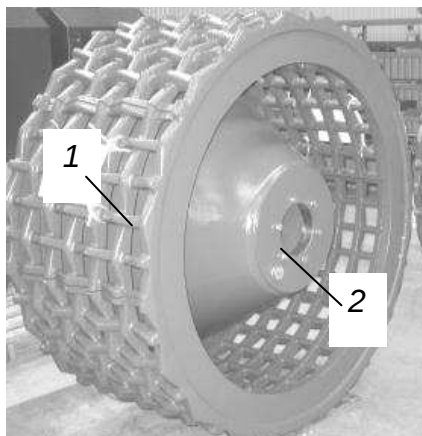
Рис. 4.4. Причіпний пневмоколісний коток фірми BROONS: а – пошарове укочування; б, в – вид збоку і зверху

Це дає можливість регулювати ширину смуги ущільнення, що головним чином актуально в сільській місцевості або з обмеженим фронтом робіт (рис. 4.4, б, в).

Решітчасті причіпні котки фірми BROONS (Австралія) призначені для ущільнення відсипок із щебеню.

Якщо ширина причіпного модуля 1,8 м та загальна маса котка з баластом 14 т, то можна ущільнити кам'яні матеріали за один прохід котка.

Решітка вальців виготовлена з круглої пруткової сталі методом плетіння або збирається з окремих, відлитих зі сталі, ланок (рис. 4.5, б). Легко вирішується проблема очищення вальця котка від налипання ґрунту. Завдяки високим контактним тискам грудки ґрунту в місцях контакту решітки з поверхнею ущільнювального шару продавлюються всередину вальця і під час кочення останнього, під дією власної ваги, падають на поверхні конусів 2, які розміщені всередині вальця 1 котка (рис. 4.5, а). Далі ґрунт, рухаючись поверхнями конусів, скидається в різні боки.



а



б

Рис. 4.5. Схема розміщення очисних конусів (а) і схема решітки (б):
1 – решічастий валець; 2 – конус

Причіпні котки зазвичай влаштовують двосекційними та чотирисекційними і можуть довантажуватися баластом (рис. 4.6).

Найефективніші решічасті котки у разі ущільнення ґрунтів взимку, коли ущільнювальні ґрунти містять мерзлі грудки. За рахунок високих контактних тисків під час роботи котка (статичне лінійне навантаження 72 кг/см, 88 кг/см) відбувається дроблення, як мерзлих грудок, так й інших крупних включень, що сприяє кращому упакуванню частинок ґрунту і значно підвищує якість ущільнення.



Рис. 4.6. Ущільнення ґрунту решічастим котком з баластом

Технологічні особливості ущільнення ґрунту котками полягають в тому, що всю площу розділяють на окремі захватки (карти), розмір яких повинен забезпечити достатній фронт робіт. Збільшення

фронту робіт може привести до висихання підготовленого ґрунту в спекотну погоду, а зменшення – не дає можливості продуктивно використовувати ґрунтоущільнювальні машини. Так у випадку ущільнення ґрунту в насипі пропонують розміри захваток: для кулачкових котків – 200 – 250 м; для котків на пневматичних шинах – 200 м; для віброкотків – 200 – 250 м; для віброущільнювальних і трамбувальних машин – не менше 50 м.

Пошарове укочування насипу котками статичної дії необхідно здійснювати від краю до середини (рис. 4.7), у цьому випадку кожний слід від попереднього проходу котка треба перекривати під час наступного проходу не менше, ніж на третину ширини котка.

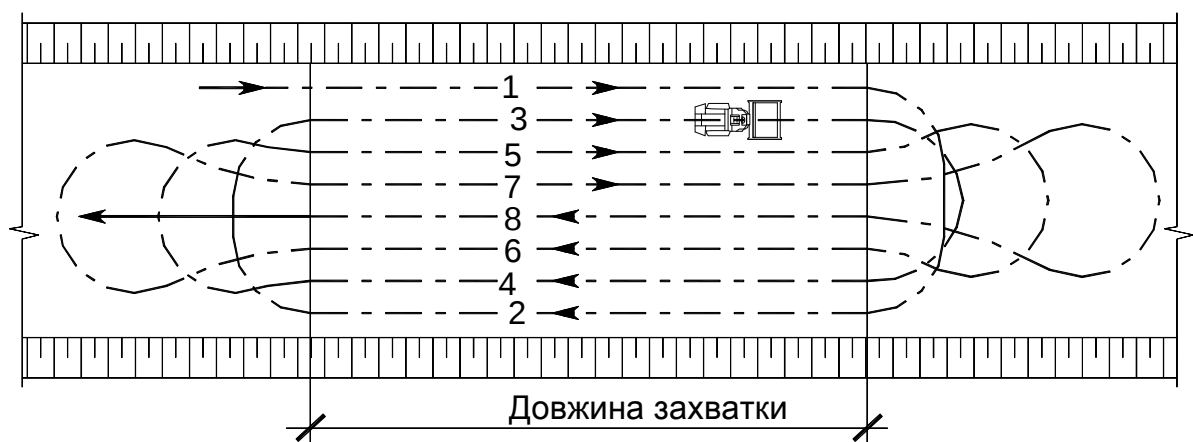


Рис. 4.7. Схема укочування насипу на захватці: 1-8 – номери і напрямки проходів котка

Коли ширина насипів достатня для поворотів котка, то застосовують схему руху по замкнутому колу. У разі виключення можливості поворотів котка на насипах, влаштовують з'їзди (в'їздів) і застосовують човникову схему руху.

Якщо використовують причіпний коток, то його відчіплюють від тягача і залишають на насипі, а тягач розвертається, з'їжджаючи з насипу, причіплює коток і далі виконує ущільнення.

За укочення насипів котками шириною більше 10 м перший і другий ходи повинні бути на відстані 2-2,5 м від брівки насипу, а потім, зміщуючи проходки на $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{4}$ ширини котка в бік брівки. Після цього укочування продовжують круговими проходками від краю до середини насипу з перекриттям кожного проходу на $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{4}$ ширини котка. Після закінчення циклу укочування насипу на захватці (карті), у тій самій послідовності виконують укочування і на наступних захватках.

Коли необхідно виконати великий обсяг робіт з ущільнення насипів, фронт робіт розбивають на захватки і роботи на окремій захватці проводять – смуга поряд зі смугою (рис. 4.8), по чергово ущільнюючи кожну з них. Ширина ущільнювальної смуги визначається габаритами ущільнювальних засобів, схемою їх руху і умовами безпечного виконання робіт – допустимого наближення машини до брівки насипу, яке попереджає сповзання машини униз.

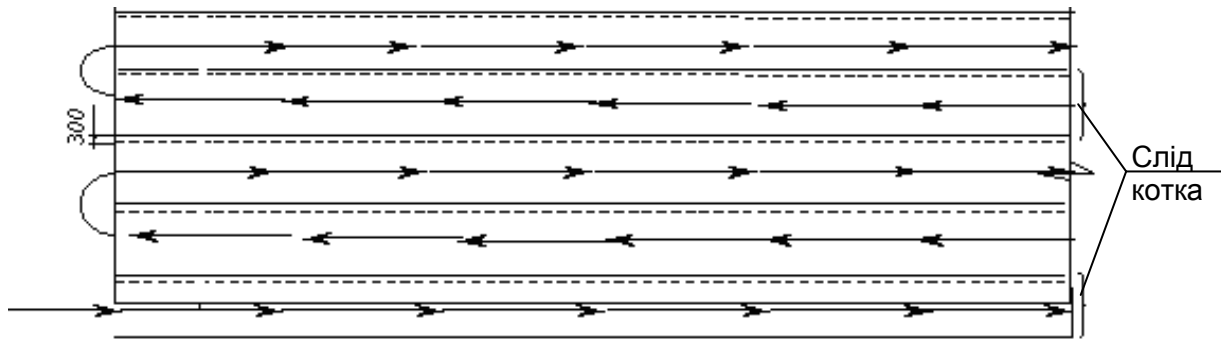


Рис. 4.8. Схема поверхневого ущільнення ґрунтів котками

У випадку укочення ґрунтів під час першого і двох останніх проходів рекомендується швидкість руху не більше ніж 1,5 – 2 км/год., для всіх проміжних – до 8 км/год..

Питомий тиск робочого органу на ґрунт не повинен перевищувати меж міцності ґрунту; разом з тим він не повинен бути занадто низьким, адже в цьому випадку знижується значення щільності, а для досягнення необхідної щільності за низького тиску необхідно зменшувати товщину ущільнювального шару. Питомий тиск рекомендується призначати в розмірі 90% від межі міцності ґрунту в МПа.

Питомий тиск котків збільшується зі збільшенням щільності укочувального шару за рахунок скорочення площі контакту колеса з ґрунтом. Питомий тиск пневмокотків можна регулювати, змінюючи тиск повітря в шинах. Так, для ущільнення пісків рекомендується утримувати тиск у шинах – 0,2 МПа, супісків – 0,3 – 0,4 МПа, а суглинків і глин – 0,5 – 0,7 МПа.

Зверх великоуламкових ґрунтів потрібно передбачати влаштування верхнього шару насипу завтовшки не менше ніж 0,5 м з ґрунтів, що містять уламки розміром не більше ніж 0,2 м.

У випадку влаштування насипів з пилюватих ґрунтів потрібно вживати заходів для їх знепилювання (полив водою або закріплюючими розчинами).

4.2. Ущільнення ґрунтів віброукочуванням

Даний спосіб використовують для ущільнення незв'язних і малозв'язних ґрунтів, у яких глинистих частинок менше ніж 6%. Тобто це великоуламкові, гравійно-піщані, супіщані і деякі різновиди глинистих ґрунтів, а також піски. Піски найкраще ущільнюють тільки вібраційними засобами.

Віброкотки, працюючи в режимі вібротрамбування з деяким відривом від поверхні землі, здатні ущільнювати навіть важкі глинисті ґрунти твердої консистенції.

Найбільшого поширення в світі набули віброкотки з гладкими або кулачковими вальцями (рис. 4.9 а, б). Для ущільнення скельних великоуламкових порід використовують віброкоток зі скельним вальцем, а для ущільнення глинистих ґрунтів – коток з полігональним вальцем (рис. 4.9 в, г).



а



б



в



г

Рис. 4.9. Віброукочування ґрунтів вібраційними котками: а – з гладким вальцем; б – з кулачковим вальцем; в – з полігональним вальцем; г – з скельним вальцем

Ведучими виробниками вібраційних котків являються провідні світові виробники будівельної і дорожньої техніки: «Bomag», «Hamm», «IR-ABG» (ФРГ), «Dynapec» (Швеція), «Ammann» (Швейцарія), «Caterpillar» (США), «JCB-Vibromax» (Великобританія), «Stavostroy» (Словаччина) тощо.

Основну номенклатуру вібраційних котків для ущільнення ґрунту складають одновальцеві вібраційні самохідні катки з продуктивністю понад 1500 м³ в зміну з товщиною ущільнювального шару понад 0,3 м.

Такі катки складаються із вібровальця, силового блоку (двигуна), кабіни оператора, які спираються на пневмоколеса. Гідравлічні циліндри поворотного механізму повертають не тільки задню частину на пневмоколесах, а частково раму з вальцем. Кут повороту моторної частини досягає 30 – 35 градусів, а робочого органу – біля 11 градусів.

Сучасні віброкотки мають шарнірнозчленовану раму, що дозволяє їм компактно повертатися в плані і мають низку однотипних конструктивних рішень:

- гідропривід ходу катка і рульового управління гідроциліндром взаємного повороту вібровальця і силового блоку;
- використання двох взаємозамінних вібровальців (гладкого і кулачкового) або кулачкового бандажу;
- використання кабіни з захистом від перекидання;
- висока і низька частоти вібрації вальця.

Гідравлічна вібросистема створює частоту коливання вальця від 24 до 48 Герц (Гц). Дві частоти вібрації вальця дозволяють отримати дві амплітуди вібрації: великої амплітуди в межах 1,35 – 2,85 мм та меншої амплітуди в межах 0,56 – 1,1 мм. Велика амплітуда (за низької частоти вібрації) використовується на перших і основних проходах катка з метою забезпечення ущільнення нижньої і середньої частини ущільнювального шару. Менша амплітуда (за високої частоти вібрації) використовується на останніх проходах катка для ущільнення верхнього шару.

Валець вібраційного катка представляє собою масивний циліндр, на який приходить 50% загальної ваги машини.

У більшості котків нового покоління управління механізмом вібрації відбувається в автоматичному режимі: оператор задає з пульта управління параметри ущільнення, електронна система зчитує з сенсорів на внутрішньому боці вальця дані про заглиблення в ґрунт вальця на кожному циклі обертання ексцентриків, тобто ступені ущільнення ґрунту, і на цій підставі задає оптимальне положення

механізму вібрації і швидкості котка. Інформація виводиться на дисплей пульта управління в режимі реального часу.

Ущільнювальна здатність котка залежить від параметрів вальця (амплітуди, частоти), загальної маси віброкотка, маси вібруючого вальця і маси привантаження (рами та баласту). За амплітуди коливань від 1,2 до 1,5 мм, частоти в межах від 20 до 35 Гц, товщина ущільнювального шару прямо пропорційна загальній масі причіпного котка або масі вібровальцевого модуля (маса вальця разом з рамою) у самохідного котка з шарнірно-зчленованою рамою.

Орієнтовні значення найбільшої товщини шарів ґрунту ущільнювального гладковальцевими віброкотками на швидкості від 2,0 до 2,5 км/год. і рекомендовані кількості проходів представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Рекомендована товщина шару і кількість проходів віброкотка

Різновиди ґрунтів, їх стан	Коефіцієнт ущільнення	Оптимальна товщина ущільнювального шару (см) віброкотком з загальною вагою (т) або з вагою (т) вібраційного шарнірно-зчленованого модуля				Кількість проходів котка (шт)
		3 – 4	5 – 7	8 – 10	12 – 13	
Скально-крупнообломочний і валунно-гальковий з незв'язним заповнювачем	0,95	–	–	75 – 85	110 – 120	8 – 10
Піщано-гравійна суміш, пісок звичайний, пилуватий	0,95	35 – 40	50 – 60	80 – 90	100 – 110	6 – 8
	0,98	20 – 30	30 – 35	40 – 50	60 – 70	8 – 12
Пісок однорозмірний за вологості ≤ 4-5%	0,95	30 – 35	40 – 45	–	–	4 – 6
	0,98	20 – 25	30 – 35	–	–	6 – 8
Пісок однорозмірний за вологості ≥ 6-7%	0,95	40 – 45	55 – 60	70 – 75	–	4 – 6
	0,98	25 – 30	35 – 40	50 – 55	–	6 – 8
Супісок оптимальної вологості, супісок пилуватий	0,95	30 – 35	45 – 50	55 – 60	70 – 75	6 – 8
	0,98	20 – 25	30 – 35	40 – 45	50 – 60	10 – 12
Суглинок і глина в долях оптимальної вологості 0,95 – 1,05	0,95	–	20 – 25	25 – 30	35 – 40	8 – 10
0,85 – 0,90	0,95	–	–	20 – 25	25 – 30	10 – 12

За частоти коливань вальця від 20 до 35 Гц швидкість руху віброкотка не повинна перевищувати 2,0 – 2,5 км/год. У такому режимі роботи за 4 – 8 проходів одним слідом коток за найбільшої товщини ущільнювального шару забезпечує високу щільність ґрунту. За вищих швидкостях (від 4 до 5 км/год.) кількість проходів збільшують в 1,5 рази, але також знижують товщину шару, а відносна щільність ґрунту складе не більше ніж 0,95 від критичної міцності ґрунту.

Пісок і піщано-гравійна суміш ущільнюється віброкотками краще всього за повного водонасичення. Однак, надлишкове зволоження припустимо лише за наявності хорошого відводу води із ущільнювального насипу і у літній період. Дрібні піски в стані надлишкового зволоження важче ущільнюються вібраційними засобами. Найефективніше їх ущільнення досягається за оптимальної вологості.

Глинисті ґрунти слід ущільнювати віброкотками вагою від 25 т до 35 т.

Поверхня насипу із ґрунтів з крупними включеннями перед ущільнення повинна бути належно спланована. За потребою відсипають додатковий шар дрібнозернистого ґрунту для виключення прямого контакту твердих уламків з вібровальцем, що може пошкодити механізм.

Ущільнення виконують поздовжніми по відношенню до осі захватки проходками, починаючи від країв до середини (рис. 4.10). За ширини насипу більше ніж 30 м насип розділяють на декілька поздовжніх захваток по ширині і почергово ущільнюють кожную з них.

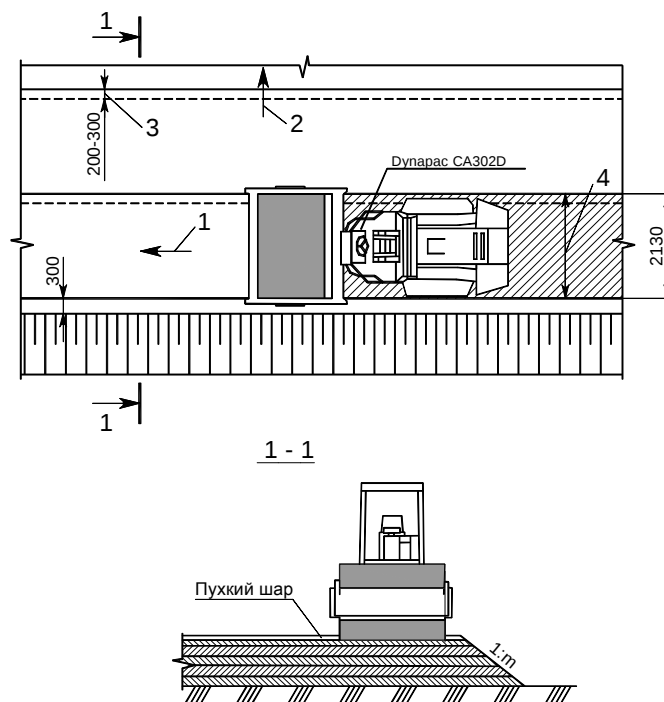


Рис. 4.10. Схема ущільнення ґрунту укочуванням: 1 – напрямок укочування від країв до середини; 2 – загальний напрямок робіт на ділянці; 3 – перекриття попередньої смуги; 4 – ширина смуги

Максимально допустима величина перекриття слідів віброкотка повинна складати не більше 0,1 ширини вальця (рис. 4.11). А мінімально допустима відстань між слідами ущільнення не повинна перевищувати 0,5 м.



Рис. 4.11. Рух вібраційного котка з перекриттям слідів

4.3. Ущільнення ґрунтів вібруванням вібраційними плитами і вібропластинами

Вібраційні плити використовують для ущільнення крупнозернистих і дрібнозернистих незв'язних ґрунтів. Можливість ущільнення вібраційної плитою того чи іншого виду ґрунту визначається її масою. Завдяки компактному розміру, віброплити можна використовувати в місцях недосяжних для великої дорожньої техніки, закритих приміщеннях і невеликих площах.

Неврівноважені маси – дебаланси ексцентрикового типу разом з валом і підшипниками утворюють віброелемент, який часто розміщують на плиті в спеціальному корпусі. Віброелементи можуть бути ненаправленої і направленої дії (рис. 4.12). У першому випадку він складається з одного дебаланса і тому здійснює кругові коливальні рухи. Віброелементи спрямованої дії складається з двох дебалансів, що обертаються в різні боки з однаковою кутовою швидкістю. По відношенню один до одного вони розташовані так, що в кожен момент часу складові відцентрових сил по одній з вісей, зазвичай горизонтальній, врівноважені, а складові за віссю, перпендикулярною першій вісі, складають. Тому коливання вібратора відбуваються тільки в одному напрямку. Корпус віброелемента спрямованої дії на опорній плиті машини може бути встановлений шарнірно (рис. 4.12, б).

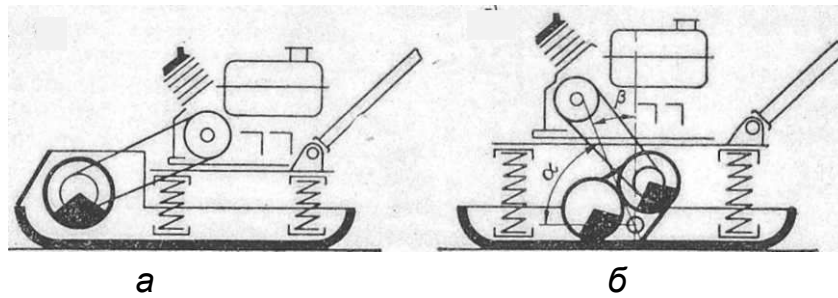


Рис. 4.12. Конструктивні схеми самохідних вібраційних плит:
а – ненаправленої; б – направленої дії

Якщо його повернути так, щоб його вісь складала з вертикальною віссю деякий кут, то у цьому випадку з'явиться її горизонтальна складова, за рахунок якої машина буде переміщуватися.

Сучасні ручні вібраційні плити поділяються на віброплити прямого ходу (рух плити – тільки вперед від оператора) і реверсивні віброплити (рух плити – вперед і назад від оператора). Також відбувається їх поділ залежно від ваги: легкі віброплити вагою до 65 кг; середні віброплити важать від 65 до 100 кг; важкі вагою понад 100 кг .

Світовим лідером з виробництва віброплит вважається німецька компанія Wacker. Також в Україні популярні віброплити Enar (Іспанія), Ammann (Швейцарія), Dynapac (Швеція), Grost (Китай), Сплитстоун (Росія).

Легкі віброплити вагою до 65 кг неревверсивні або прямого ходу (рис. 4.13, а) призначені для ущільнення гравійних доріжок, піску і гравію дрібної фракції з товщиною шару до 15 см, тротуарної плитки і бруківки.



Рис. 4.13. Вібраційні плити: а – неревверсивна; б – реверсивна;
в – дистанційна з інфрачервоним дистанційним керуванням

Середні вібраційні плити вагою 65 – 100 кг неревверсивні або прямого ходу (рис. 4.13, б) призначені для ущільнення піску, дрібної і середньої фракції гравію загальною товщиною 20 – 25 см.

Важкі вібраційні плити вагою понад 100 кг (нереверсивні, реверсивні, дистанційні) призначені для пошарового ущільнення ґрунтових доріг, ущільнення зворотної засипки траншей і основ фундаментів (рис. 4.13, в). Вони ефективні для ущільнення піску і гравію шарами товщиною 25 – 35 см.

Перехід вібраційних плит у транспортне положення здійснюється шляхом встановлення на опорній плиті коліс на пневматичних шинах. Доставляють їх до місця роботи на транспортних засобах загального призначення.

Керування плитою здійснюється через рукоятку, на яку виведені важелі управління двигуном і віброелементами, або за допомогою інфрачервоного дистанційного управління. Оператор, який рухається за машиною, може змінити напрямок її руху натиском на рукоятку або кнопку пульта (рис. 4.14). Зважаючи на те, що машина частину часу перебуває в повітрі, її поворот не викликає труднощів.



Рис. 4.14. Керування процесом віброущільнення пультом дистанційного управління

Необхідну щільність ґрунту не можна отримати одноразовим прикладанням ущільнювального зусилля. З першими проходками віброплити відбувається інтенсивне наростання щільності, а після 3 – 4 проходок інтенсивність ущільнення значно знижується.

Кількість проходок реверсивних і нереверсивних віброплит і оптимальна товщина ущільнювального шару наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Виробничі характеристики віброплит

Різновид ґрунтів	Оптимальна товщина ущільнювального шару (см) віброплитою вагою (кг)					Кількість проходів вібро-плити, шт.
	нереверсивна		реверсивна			
	60 – 100	120 – 150	100 – 300	300 – 550	550 – 700	
Піщано-гравійна суміш, пісок	15 – 20	25 – 30	25 – 30	40 – 45	50 – 60	3 – 5
Супісок	10 – 15	20 – 25	20 – 25	35 – 40	40 – 45	4 – 6
Суглинок	–	10 – 15	10 – 15	25 – 30	25 – 30	3 – 5

Вібраційні плити використовують, переважно, для ущільнення ґрунтів на прямолінійних ділянках невеликої довжини, захватками в межах 50 – 100 м з поздовжнім ухилом ущільнювальної поверхні не більше за 10% і поперечними ухилами не більше за 5%. У разі групової роботи машин довжина захватки може бути збільшена до 200 м.

Ущільнення незв'язного ґрунту вібраційною плитою всередині будівлі під підлоги показано на рис. 4.15.

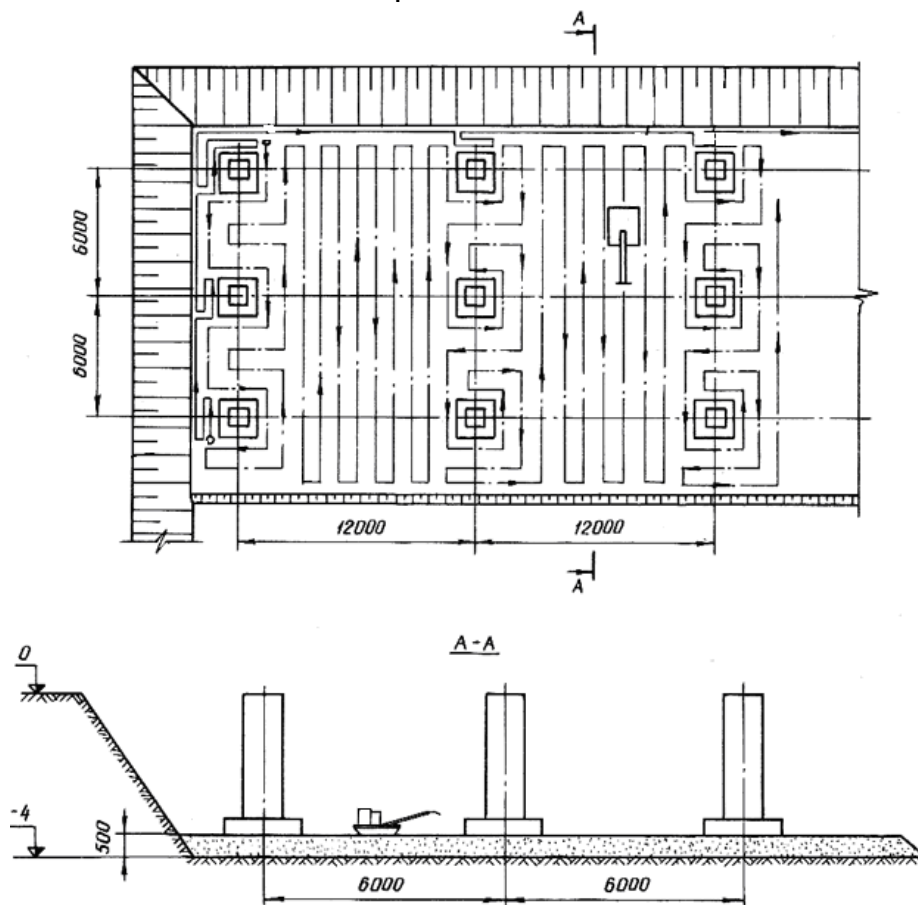


Рис. 4.15. Схема ущільнення незв'язного ґрунту вібраційною плитою

Навісні трамбувальні вібропластини Stehr використовуються для ущільнення верхнього рихлого шару будь-якого типу ґрунту.

Трамбувальні вібропластини діють на ущільнювальну поверхню вертикально завдяки двом або чотирьом ексцентричним валам, які обертаються в протилежних напрямках. Трамбувальні вібропластини працюють з високою частотою (60 Гц) і низькою амплітудою.

Вібропластини Stehr бувають одинарні, подвійні і потрійні. Дане навісне обладнання можуть встановлювати на міні-навантажувачі, екскаватори, трактори, катки.

Вібротрамбування відбувається рівномірно за один прохід вібропластин і не потребує багатократних проходів одним слідом. Також є можливість зміщувати вібропластини на 800 мм в бік від базової машини для ущільнення узбіччя (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Ущільнення насипного ґрунту вібротрамбувальними пластинами Stehr

4.4. Ущільнення ґрунтів причіпними котками з ударними багатограними вальцями

Причіпні котки з ударними багатограними вальцями або котки динамічного ущільнення або ударні котки (Impact rollers), як їх ще називають, використовуються в світі з 1980 року, після того, як фірма Broons (Австралія) запатентувала революційний патент ВН-1300 “Square” Impact Roller. Це дало поштовх вдосконаленню конструкції котків.

Ущільнення відбувається за допомогою нециліндричного вальця, а багатогранного з трьома, чотирма або п'ятьма гранями (рис. 4.14), який обертається навколо вісі, що призводить до ударів їх об ґрунт та ущільнення. Ефективно застосовують дані котки для ущільнення, як зв'язних, так і не зв'язних ґрунтів, і не залежить від їх вологості, тобто можна ущільнювати сухі ґрунти.

Причіпний багатогранний коток складається з рами, пневмоколіс та двох три- або п'ятигранних вальців чи одного чотиригранного (рис. 4.17).

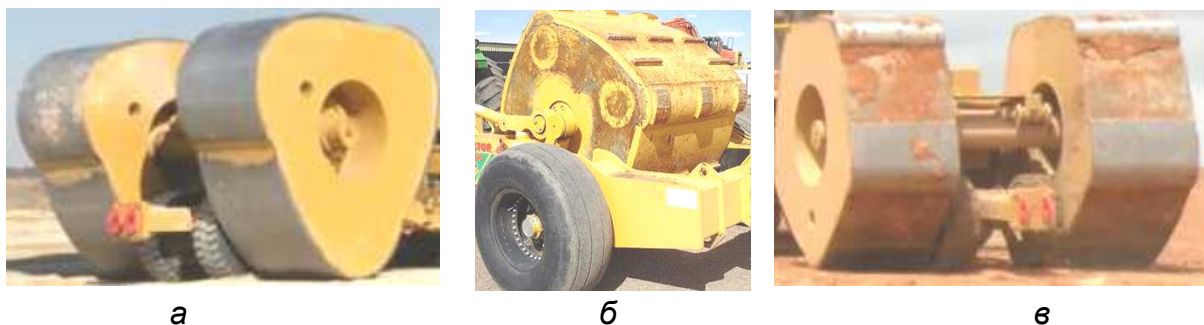


Рис. 4.17. Загальний вигляд нециліндричних котків: а – два тригранних; б – один чотиригранний; в – два п'ятигранних

Пневматичні колеса виконують декілька функцій:

- опорна функція всього механізму;
- забезпечення руху причіпного котка;
- унеможливають пробуксування котка об ґрунт;
- частково виконують віброізолюючу функцію базової машини, тобто згладжують коливання.

Суть роботи котка основана на простому принципі, згідно якого ущільнення являється похідною від енергії падаючого вантажу і кута падіння до площини. За рахунок високої енергії від 50 кДж до 100 кДж, яка розвивається з кожним ударом, коток здатен ущільнювати товщі ґрунту глибиною понад 3 метри за декілька проходок. Продуктивність – 2000 м³/год.

Причіпні котки з багатогранними вальцями випускають вагою 8 – 16 т, а потенціальна енергія змінюється від 12 кДж до 37 кДж.

Технологія ущільнення ґрунту нециліндричним тригранним котком основана на знаннях фундаментальної фізики, а саме законі збереження механічної енергії. Максимальне зусилля на ґрунт відбувається шляхом повороту котка на кут (великого радіуса (R)) і падаючи на плоский бік (малою піввіссю (r)). Чим більша різниця цих

радіусів ($R-r$), тим більша висота підйому (рис. 4.18). Таким чином, під час проходки тригранного ущільнююче зусилля на ґрунт більше, ніж під час проходки п'ятигранного.

Потенціальна енергія в момент стискування відводиться в кінетичну енергію, коли найближча точка досягне землі для удару об поверхню ґрунту, для максимального зусилля.



Рис. 4.18. Принцип роботи нециліндричного тригранного котка

За рекомендованої робочої швидкості руху 8 – 12 км/год. багатогранний валець наносить на поверхню два удари в секунду. Енергія кожного удару дорівнює від 50 кДж до 100 кДж.

Ефект ущільнення визначається величиною незворотних деформацій і розподілення їх за товщиною (рис. 4.19).

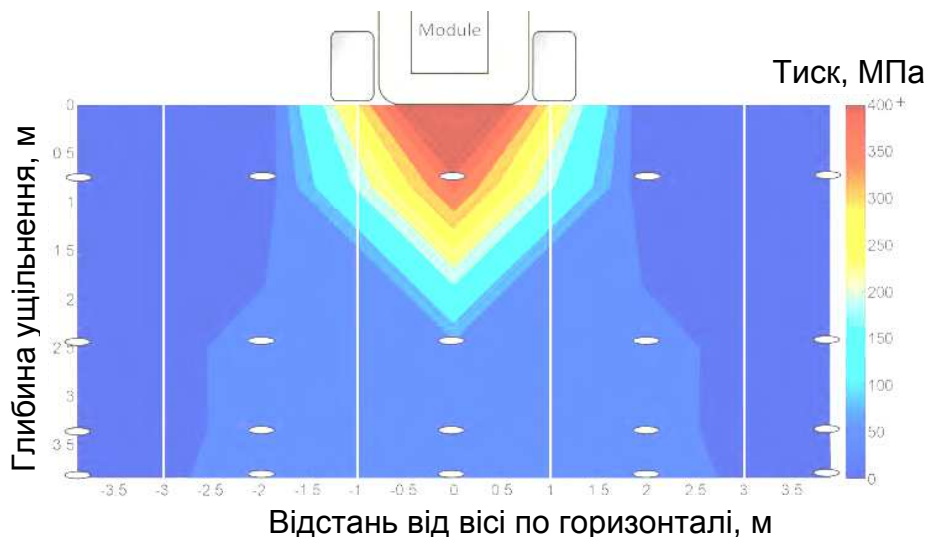


Рис. 4.19. Розподілення вертикальних напружень від маси котка

З практичного досвіду відомо, що один гектар на глибину менше одного метра можна ущільнити за 19,2 години роботи котка 20 проходками одним слідом.

Технологія ущільнення ґрунту причіпними котками з ударними багатограними вальцями аналогічна технології ущільнення котками статичної дії (рис. 4.20).



Рис. 4.20. Ущільнення ґрунту нециліндричним чотиригранним котком

Для досягнення коефіцієнта ущільнення 0,95 рекомендують шість проходок котка (8 т), якщо товщина шару 900 мм або десять проходок – для 1100 мм. А для досягнення коефіцієнта ущільнення 0,98 рекомендують десять проходок котка для шарів товщиною 850 мм або тридцять проходок – для 1000 мм.

4.5. Динамічна консолідація ґрунтів надважкими трамбівками

Суть цього методу полягає в покращенні механічних властивостей ґрунту шляхом передачі йому високих енергетичних імпульсів трамбуванням. Тут крім удару виникають поверхневі хвилі, що розповсюджуються в ґрунтах.

Від витіснення і коливань ґрунту його часточки переміщуються і створюють щільніші конфігурації. У надмірно зволжених ґрунтах від сильного удару і наступних коливань відбувається їх розрідження і зерна ґрунту переміщуються в компактніший стан. В обох випадках зменшення порожнин і збільшення контакту між зернами приводить до покращення властивостей ґрунту.

Цей динамічний феномен проявився, коли дослідники почали скидати надважкі тіла в межах 80 – 120 кН (8 – 12 т) з висоти від 10 м до 20 м. Після того, як було встановлено, що глибина трамбування ґрунту залежить від ваги трамбівки і висоти її скидання, дослідники розпочали збільшувати ці показники.

Дослідження з вагою трамбівки 80 кН (8 т), яку скидали з висоти 10 м, показали, що глибина ущільнення ґрунту була біля 5 м. Подальші

експерименти в натурних умовах з вантажем 150 кН (15 т), який піднімав вантажопідйомний кран за допомогою одного троса та за допомогою поліспада з декількома тросами показали, що застосування поліспада знижувало швидкість падіння і глибину ущільнення. Було також виявлено, що вільне скидання трамбівки відхиляє точку приземлення трамбівки від точки її наведення. Цей факт та необхідність пере захоплення трамбівки збільшують трудомісткість процесу.

Тривалий час вільне скидання трамбівки було обмежене її вагою 150 кН (15 т). У цьому випадку глибина трамбування сягала 8 – 10 м.

Для збільшення вантажу трамбівки європейським дослідником Менаром була розроблена індивідуальна установка, яка дозволяла розвинути енергію удару 7 МНм. Вага трамбівки сягала 250 кН (25 т), яку скидали з висоти 28 м (рис. 4.21).



Рис. 4.21. Динамічне ущільнення ґрунту з використанням трамбівки 25 т з висоти 28 м

У подальшому була виготовлена індивідуальна установка мега-машина потужністю 16 МНм за один удар. Трамбівку вагою 400 кНм (40 т) піднімали на висоту 40 м. Ця машина була використана для ущільнення ґрунтів під час будівництва доріг у Швейцарії, США, Японії та Мексиці.

Гіга-машина, без сумніву, – це найефективніша установка, яка коли-небудь була виготовлена для трамбування ґрунту. Ця установка мала самохідне шасі із 168 коліс і 7 кілометрів гідропроводів. Трамбівку вагою 1700 кН (170 т) скидали з висоти 22 м. Гіга-машина була побудована спеціально для ущільнення 20 млн. м³ піщаного ґрунту, відсипаного у море та на узбережжі моря для злітно-посадочної смуги аеропорту міста Ніцци (рис. 4.22). Кількість таких машин була обмежена без права відтворення на комерційних умовах.



Рис. 4.22. Динамічне ущільнення ґрунту під час будівництва аеропорту в Ніцци (Франція) з використанням гіга-машини

Світовий рекорд одночасної роботи динамічних (трамбуєчих) установок високої потужності на одному об'єкті було встановлено у Саудівській Аравії, коли 13 установок протягом місяця ущільнювали 966 тис. м² насипу в Об'єднаних Арабських Еміратах.

Серійно виготовляють машини з вагою трамбівки 350 кН (35 т) (рис. 4.23).

Рис. 4.23. Серійна машина
з трамбівкою 35 т



Самі трамбівки виготовляють у вигляді циліндрів з діаметром більшим від їх висоти, бо це визначає глибину ущільнення, яка складає 2,5 – 3,0 діаметри трамбівки. Трамбівку підвішують до робочого тросу крана-екскаватора за допомогою вертлюгів і проміжного троса довжиною від 1,0 м до 1,5 м з вантажем, які забезпечують натяг робочого троса і виключають його передчасний знос внаслідок утворення перегинів.

Трамбування, як насипного, так і природного ґрунту надважкими трамбівками виконують в окремих точках з підсипанням місцевого ґрунту в лунки, створені ударами трамбівки (рис. 4.24).

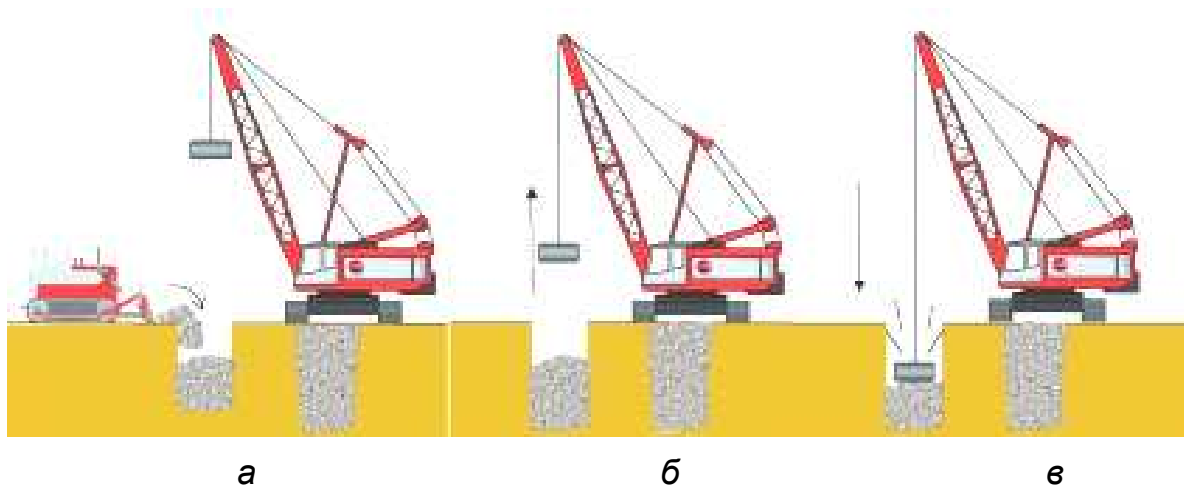


Рис. 4.24. Трамбування ґрунту в окремій точці удару: а – підсипання місцевого ґрунту в лунки; б – ущільнення ґрунту в лунці; в – ущільнення здійснюють до відмови

Коли глибина лунки перевищить 0,6-0,7 діаметра трамбівки, утворену лунку засипають і процес ущільнення повторюють. У цьому випадку, спочатку ущільнюють засипаний у лунку ґрунт з максимальною

енергією удару трамбівки, унаслідок чого глибина стовпа з піску збільшується на деяку величину. Процес повторюють до досягнення необхідного відмови трамбівки.

Інтенсивне динамічне ущільнення від традиційного поверхневого трамбування відрізняється використанням значно більшої енергії удару, у цьому випадку удари наносяться в окремих точках без перекриття слідів. Точки трамбування намічають так, щоб між ними була відстань 1,2 – 1,5 діаметра трамбівки. Процеси трамбування і підсипання лунок розділяють у часі.

4.6. Ущільнення ґрунтів комбінованими способами

Комбіновані способи ущільнення поділяються на дві групи: 1 – комбінація механічного впливу на ґрунт, 2 – суміщення впливу на ґрунт з іншими видами робіт.

Першу групу комбінованих способів представляють процеси, які виконуються послідовно за загальноприйнятими технологічними схемами, але з використанням механізованих засобів, які суміщають декілька механічних впливів на ґрунт, як різних робочих органів машин, так і робочих поверхонь. Також можливі поєднання: вібрація і укочування (віброкотки), трамбування і укочування.

Робочі поверхні можуть бути в різному поєднанні: гладкі металеві вальці і пневмоколеса, кулачкові вальці і пневмоколеса, кулачкові вальці і віброплити. Такі поєднання досягаються або роботою в певній послідовності різних машин (наприклад, спочатку кулачковими, а потім пневмоколісними котками) або використанням машин зі змінними робочими органами.

Фірми BROONS (Австралія) виготовляє причіпні і напівпричепні комбіновані статичні пневмогладковальцеві котки eCombi загальною вагою 5,47 т – 9,0 т з блоком пневмоколіс і гладким вальцем. Робочі поверхні почергово можуть опускатися на поверхню укочування і створювати необхідне силове навантаження, у тому числі і за рахунок баласту (рис. 4.25).

Друга група способів представляє суміщення одного або декількох механічних впливів на ґрунт з іншими видами робіт.



Рис. 4.25. Ущільнення ґрунту пневмогладковальцевим котком eCombi

Наприклад, процеси з розробки, транспортування, укладання й ущільнення ґрунту або розрівнювання і ущільнення (бульдозер-коток, грейдер-коток), транспортування і ущільнення (скрепер-коток). Тобто, це об'єднання декількох простих процесів у комплексний.

Можуть поєднувати два процеси, наприклад, дроблення кам'яних порід решітчастим котком і ущільнення пневматичними шинами, які розміщені в два ряди (рис. 4.26). Для цього використовують комбінований пневморешітчастий статичний коток вагою 7,0 – 14,0 т фірми BROONS (Австралія).



Рис. 4.26. Суміщення дроблення породи з її ущільненням комбінованим котком

Під час ущільнення ґрунту скрепером-котком у технологічній схемі замість розчленування процесу на його складові передбачається укрупнення будівельних процесів шляхом їх суміщення з ущільненням ґрунтів.

Під час ущільнення ґрунту скрепером-котком використовують технологічні схеми виконання земляних робіт: переміщення за еліпсом, «за вісімкою» (рис. 4.27), зигзагом і поперечно-човникову.

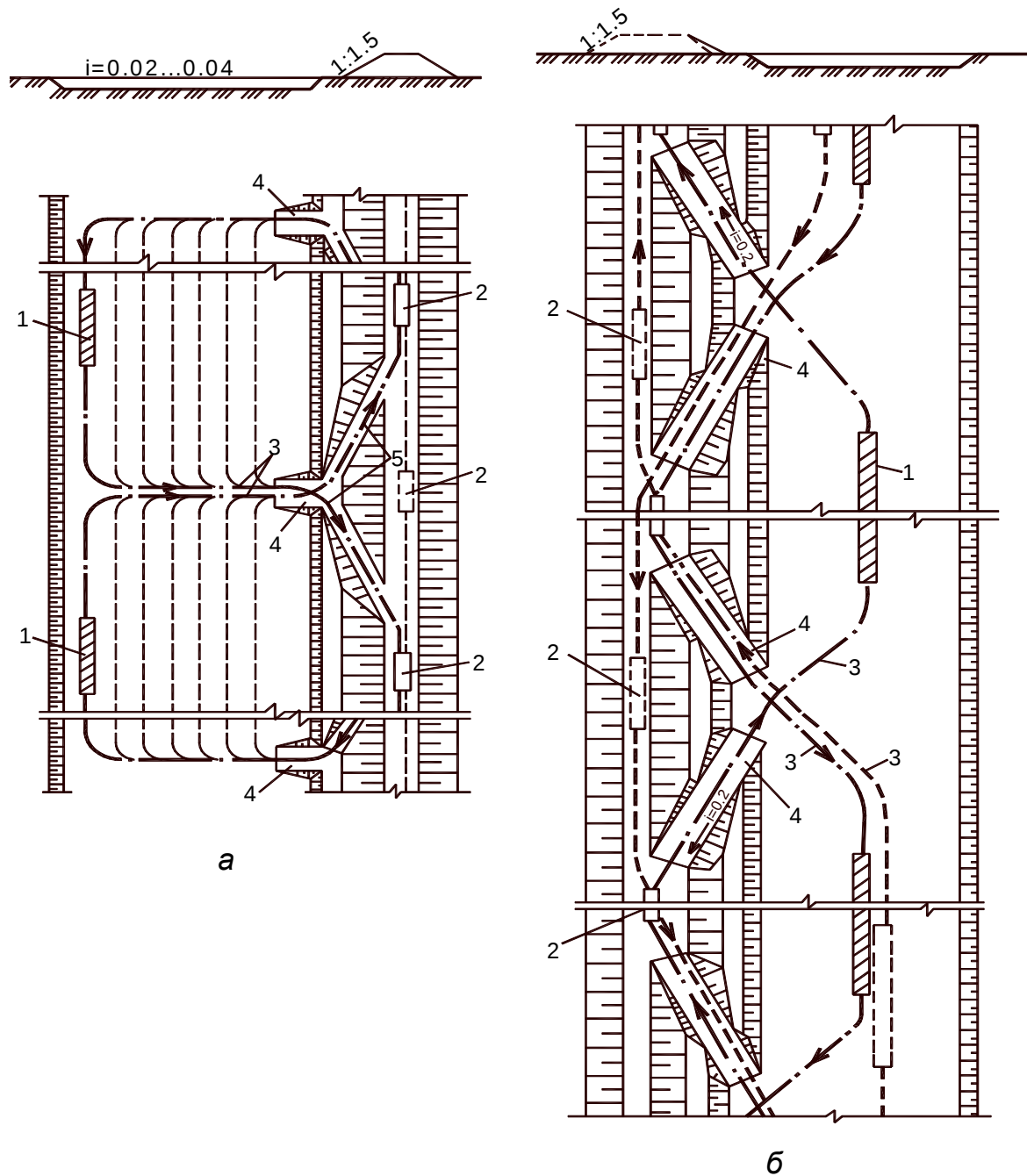


Рис. 4.27. Схема роботи скрепера-котка: а – «вісімкою», б – зигзагом: 1– набір ґрунту в резерві; 2 – розвантаження ґрунту на насипі з ущільненням; 3 – рух скрепера-котка; 4 – заїзди і виїзди для машин; 5 – заїзди і виїзди для машин на насип

Використання цих схем залежить від характеру споруди, взаємного розташування місць розробки і вивантаження ґрунту та інших місцевих умов. Для попередження зносу ходової частини скрепера, коли він рухається за еліпсом, періодично використовують напрямок руху в зворотну сторону. За поперечно-човникового руху скрепера-котка вісь земляного полотна служить границею між двома частинами насипу і прилеглих резервів.

Ця схема руху дозволяє до мінімуму скоротити число проходів і довжину порожнього ходу скрепера-котка, забезпечуючи за один хід дві відсипки. Ухили виїздів повинні бути не більше 1:5, а з'їздів – 1:1,25, ширина їх повинна бути не менше за 3,5 м.

Для забезпечення рівномірної щільності за глибиною і шириною насипу приймають наступний порядок виконання робіт (рис. 4.28). Фронт робіт розбивають на захватки і карти рівної довжини. Роботи ведуть одночасно на двох суміжних захватках.

Відсипання ґрунту розвантаженням скрепера починають з першої карти смугами 1, 2, 3 в напрямку другої захватки. Розвантажують ґрунт на ходу скрепера і планують його ножем скрепера-котка в процесі розвантаження. Після розвантаження ґрунту на першій карті скрепер набирає ґрунт зліва від першої захватки. Завантажений скрепер-коток проходить першою картою зліва на право і ущільнює на ній ґрунт та, рухаючись далі праворуч, розвантажує ґрунт на другій карті. Скрепер-коток, завантажений ґрунтом зліва, кожен раз, переміщуючись першою картою, ущільнює її до повного відсипання ґрунту на другій карті. Перехід з карти відсипання до карти ущільнення здійснюється згідно схеми на рис. 4.28.

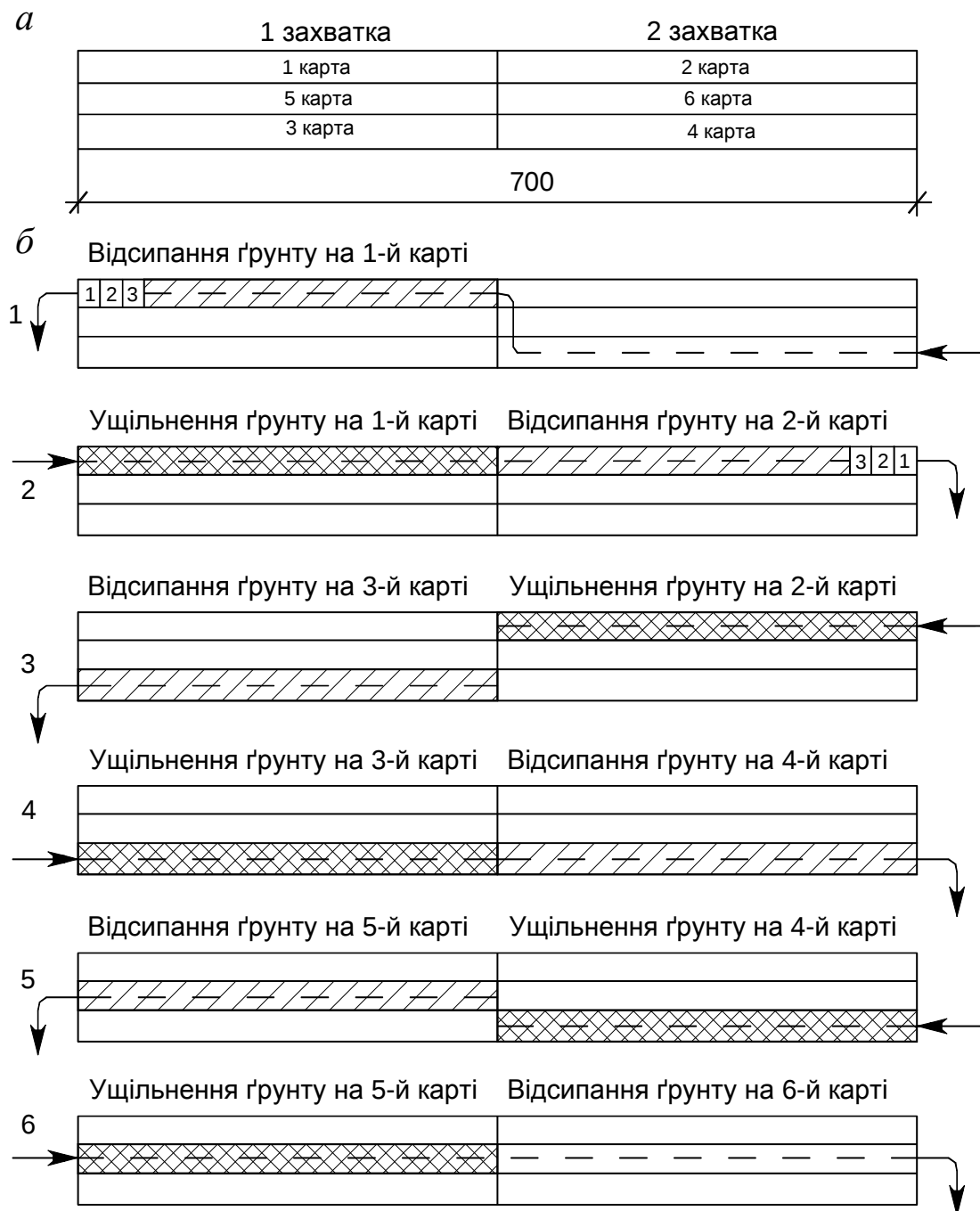


Рис. 4.28. Розбивка фронту робіт на захватки і карти (а) і послідовність відсипання та ущільнення ґрунту скрепером-котком (б): 1...3 – послідовність відсипання ґрунту скрепером-котком на карті

Запитання для самоконтролю

1. Коли і за яких умов застосовують кулачкові котки?
2. Як вирівняти і ущільнити поверхню ґрунту після ущільнення його кулачковим котком?
3. Опишіть як діє на ґрунт самохідний пневмоколісний коток?
4. Особливості ущільнення ґрунтів пневмоколісними причіпними котками.
5. Опишіть процес ущільнення ґрунту решітчастим котком.
6. Які рекомендовані розміри захваток для ущільнення насипу котками?
7. Проілюструйте схемою послідовність укочування ґрунту котками.
8. Які види ґрунтів ущільнюють вібраційними котками?
9. Яку швидкість руху віброкотка рекомендують на перших, наступних і останніх проходках?
10. Яка максимальна і мінімальна величина перекриття слідів віброкотка?
11. Розкажіть про ущільнення ґрунту ударними багатограними вальцями.
12. На чому засновано метод динамічної консолідації ґрунту надважкими трамбівками? У яких випадках його застосовують?
13. Які є дві групи комбінованих способів ущільнення?
14. Які способи представляють першу групу комбінованого ущільнення? А які відносять до другої?
15. Наведіть приклад суміщеного виконання ущільнення ґрунту з іншими видами робіт у межах захватки?

5. УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ В ОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРИ

5.1. Характеристика обмеженого простору

Технологія ущільнення ґрунтів в обмеженому просторі визначається специфікою будівельних робіт: складністю земляних споруд, обмеженістю робочої зони, невеликими обсягами робіт, що практично виключає можливість використання машин загального призначення.

Ущільнення ґрунту також ускладнюється наявністю в котлованах і траншеях різного роду підземних комунікацій та конструкцій, що не дозволяє в окремих місцях розвивати необхідне ущільнювальне

зусилля, а тому збільшує тривалість прикладання меншого зусилля для досягнення проектної міцності ґрунту.

Найскладніше ущільнювати ґрунт зворотної засипки пазух котлованів біля фундаментів або траншей зі змонтованими інженерними мережами, оскільки роботи ведуться в обмежених умовах (рис. 5.1).

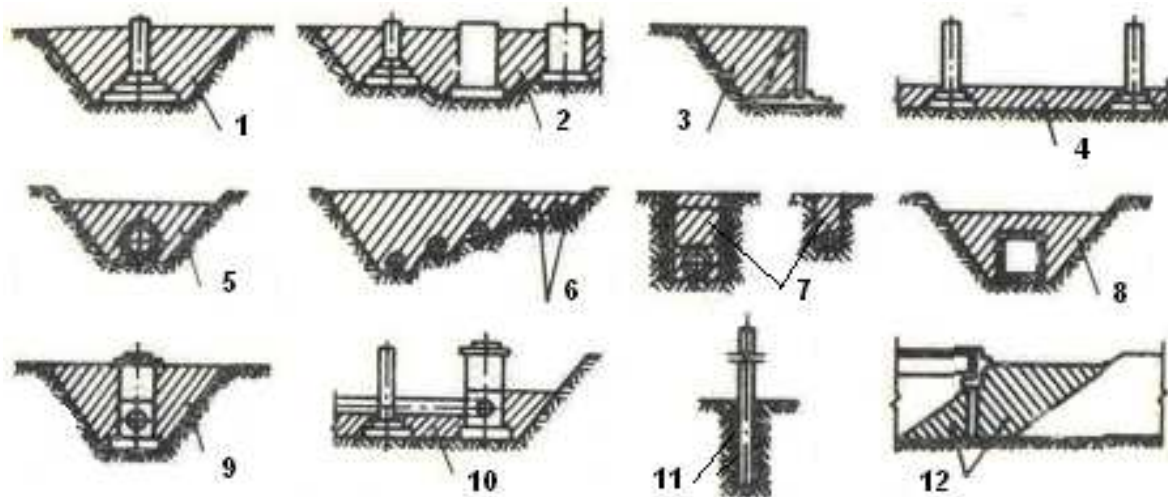


Рис. 5.1. Характерні обмеження в разі ущільнення зворотної засипки: 1 – пазуха між стінками котловану та фундаменту під колону; 2 – пазуха між стінками фундаментів під технологічне обладнання; 3 – пазуха між стінками котловану і підпірною стінкою; 4 – підсилення ґрунту під підлоги; 5 – пазухи між стінками траншеї і трубопроводом; 6 – пазухи між трубами і стінками траншеї; 7 – пазухи між стінками вузьких траншей (з кріпленням і без кріплення) з трубопроводом; 8 – пазухи між стінками траншеї і колектором; 9 – пазухи між стінками траншеї і оглядовим колодязем; 10 – пазухи під трубопроводом; 11 – пазухи між стінками виїмки і опорою; 12 – пазухи між укосами земляного полотна дороги і опорами моста і конуса під шляхопроводом

5.2. Обладнання для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі

Для ущільнення насипних ґрунтів в обмеженому просторі використовують вібротрамбівки, спеціалізовані малогабаритні віброплити, мінікотки з виносним керуванням, малогабаритні самохідні котки і велика кількість навісного обладнання на екскаватори, навантажувачі та інші машини для земляних робіт.

Ручні трамбівки – це ручні інструменти вагою 10 – 15 кг, виготовлені із дерева, металу, рідше, із пластмаси та азбестоцементу

або бетону. Це – стрижневі конструкції висотою 0,9 -1,2 м з п'ятою внизу та поперечиною зверху з двома рукоятками (рис. 5.2, а).

Механізовані трамбівки з пневмоприводом легкі, безпечні, але для їхньої роботи необхідно мати компресор. За від'ємної температури зовнішнього повітря вони можуть проявляти відмову в роботі.



Рис. 5.2. Інструменти і механізоване обладнання для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі: а – трамбівка ручна; б – трамбівка з пневмоприводом; в – трамбівка вібраційна бензинова ручна; г – вібротрамбівка дизельна ручна; д – трамбівка вібраційна електрична ручна; е – спеціалізована механічна вібротрамбівка; ж – віброплита малогабаритна механізована; з – мінікоток з виносним керуванням

Вібротрамбівки по суті – механізовані інструменти вібраційної дії, які працюють з відривом від ущільнювальної поверхні. Найпоширеніші трамбівки з шатунно-кривошипним механізмом. Останній приводиться в рух електричним, дизельним або двотактним бензиновим двигуном, який не перестає працювати навіть у перекинутому стані (рис. 5.2, в, г, д).

Трамбівка складається з двох частин – верхньої (привід) і нижньої – трамбуючого органу. Нижня частина спирається на поверхню ґрунту і одночасно підвішується до кривошипного механізму і, відносно верхньої частини, може рухатися по напрямних. Між частинами трамбівки затиснуті пружини. Під час повороту кривошипа у верхнє положення нижня частина трамбівки швидко підтягується до верхньої частини і відривається від ґрунту. У цьому випадку вся трамбівка зависає в повітрі. Під час опускання кривошипа відбувається удар трамбуючим органом об ґрунт, який посилюється випрямленням пружин.

Ці ручні машини важать від 30 до 90 кг і наносять по поверхні ґрунту 500-1000 ударів у хвилину з висотою підскоку 30 см. Вібротрамбівками ущільнюють будь-які види ґрунтів від незв'язних (пісок, гравій) до зв'язних (глина) у стиснених умовах і за малих обсягів робіт.

Спеціалізовані віброплити вагою 70 кг розроблені фірмою Дунарас для одночасного ущільнення двох пазух у місцях примикання їх до трубопроводу діаметром 150 – 300 мм, що значно спрощує ущільнення бокових пазух у вузьких траншеях (рис. 5.2, е).

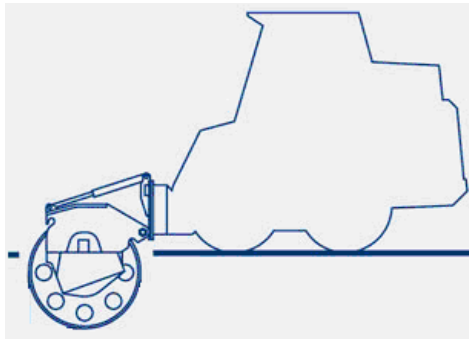
Віброплита малогабаритна механізована шириною біля 30 см з установленим на ній бензиновим або електричним приводом пересувається самостійно під час керування нею оператором через важелі, які розміщено на виносній консолі зручній для управління (рис. 5.2, ж).

Мінікоток з виносними органами керування (рис. 5.2, з) з регульованим вібронавантаженням має два вальця діаметром біля 0,5 м шириною 0,8 м може успішно ущільнювати ґрунт у стиснених умовах.

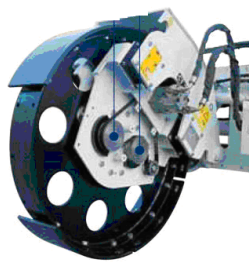
Для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі використовують також потужніші засоби – це самохідні мінікотки та навісне обладнання на універсальну землерийну техніку, здебільшого, на екскаватори, навантажувачі тощо (рис. 5.3).



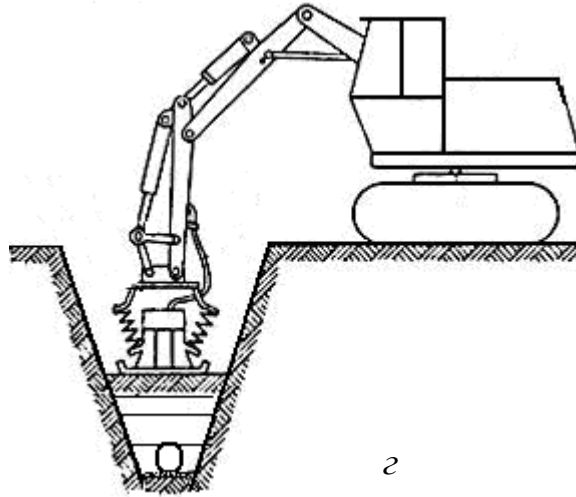
а



б



в



г

Рис. 5.3. Машины для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі:
а – самохідний мінікоток; б – навантажувач з навісним віброколесом;
в – навісне віброколесо; г – екскаватор з навісним обладнанням – віброплита

Самохідні мінікотки виготовляють різних розмірів, потужностей і форми вальців. На рисунку 5.3, а продемонстровано один із котків, що має розміри в плані 1,2 м – ширина, 1,8 м – довжина, 1,4 м – висота. Форма вальців рельєфна у вигляді коліс.

Навісне віброколесо до шасі будівельної машини, частіше до навантажувача (рис. 5.3, в) використовують для ущільнення ґрунту у вузьких траншеях глибиною до 0,75 м і шириною до 0,4 м. Існує фронтальне трамбувальне колесо з боковим зміщенням по відношенню до базової машини.

Два вібраційних вали реверсивного обертання розвивають максимальну силу ущільнення 42 кН, а також обмежують величину вібрації в горизонтальній площині для захисту машини та оператора. Частота вібрації становить 30 – 40 Гц, а амплітуда – 0,8 – 1,4 мм.

Екскаваторне навісне обладнання (рис. 5.3, г) широко використовують для ущільнення ґрунту в тісних умовах.

Навісних вібротрамбівок і віброплит (рис. 5.4, а, б), які досягають 2100 ударів за хвилину, існує широкий модельний ряд.



Рис. 5.4. Навісне обладнання на стрілу екскаватора: а – вібротрамбівка; б – віброплита; в – інерційна гідравлічна трамбівка; г – трамбуєча насадка на гідромолот; д – ущільнювальне колесо Stehr; є – траншейна трамбівка

Вони мають розмірами 305 мм х 712 мм, 482 мм х 712 мм, 609 мм х 914 мм, 712 мм х 1016 мм, 863 мм х 1092 мм і вагу відповідно від 486 кг до 787 кг. Мінімальна вага екскаватора повинна бути не менше ніж 1,5 т під час роботи з вібротрамбівками вагою 486 кг і 20 т – відповідно 787 кг. Вібротрамбівку легко переустановити завдяки гідравлічному приводу і вона може якісно ущільнювати ґрунт на будь-яких ухилах.

Навісне інерційне обладнання з гідроприводом, а також трамбуєча насадка на гідромолот наведені на рис. 5.4, в, г.

Навісна траншейна трамбівка (рис. 5.4, є) з робочою шириною 220 мм і висотою легко 1500 мм має частоту вібрування 60 Гц.

Ущільнювальне колесо Stehr (рис. 5.4, д) навішане на стрілу екскаватора виготовляють з високоміцної сталі, що дозволяє досягати високих статичних тисків. Воно виготовляється в шести модифікаціях вагою від 145 кг до 940 кг, які відрізняються робочою шириною від 150 мм до 770 мм та вимогами до мінімальної ваги машини-носія (від 1,5 т до 25,0 т).

5.3. Технологія ущільнення ґрунту в обмеженому просторі

За великого різномаяття характерних схем обмежень ущільнення ґрунту зворотної засипки в них можна виділити типові зони (рис. 5.5.). Зазвичай, кожна зона – це, умовно, призматич, створений горизонтальними площинами та укосами котловану з трапецією у вертикальному перетині. Зона першого типу має найменшу основу шириною до 0,2 м на глибині нижче 1,5 м. Зона другого типу має основу шириною від 0,4 м до 1,0 м на глибині від 0,6 до 1,5 м. Зона третього типу має основу шириною від 1,0 м на глибині вище 0,6 м.

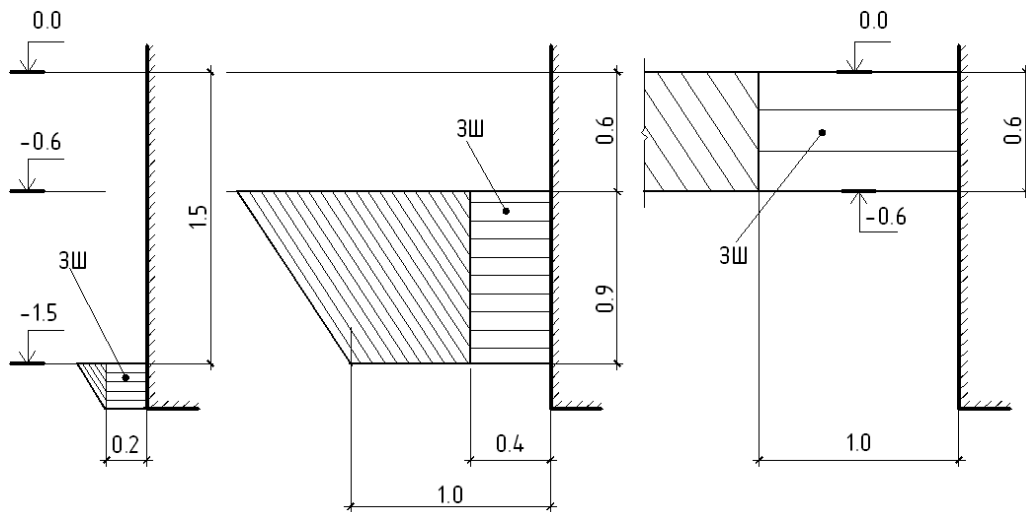


Рис. 5.5. Типові зони за ущільнення зворотної засипки в обмежених умовах: а – перший тип; б – другий тип; в – третій тип; ЗШ – захисний шар

Це зонування не характерне за ущільнення ґрунту під підлоги, та у вузьких пазах з вертикальними стінками, в яких параметри зони ущільнення практично не змінюються залежно від глибини котловану або траншеї. У всіх зонах ущільнення визначають параметри **захисного шару** ґрунту біля конструкцій та труб, яка потребує більш обережнішого виконання робіт.

Для виконання обсягів однотипних робіт, що часто повторюються, доцільно сформувати комплекти машин та механізмів і, навіть, у невеликих об'ємах організувати спеціалізовані потоки за різновидом засобів праці.

5.3.1. Захисний шар ґрунту

Для того, щоб уникнути пошкоджень інженерних мереж, будівельних конструкцій, захисних та ізоляційних шарів на конструкціях та окремих споруд, будівельною практикою і цільовими дослідженнями

встановлено, що в межах певної відстані від перерахованих місць необхідно ущільнювати ґрунт з обережністю і обмеженням для потужних засобів. Цей шар ґрунту називають захисним шаром.

Товщина захисного ґрунтового шару біля інженерних мереж і будівельних конструкції залежно від різновиду ущільнюючої машини за рекомендацією компанії Dynaparc наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Товщина захисного ґрунтового шару біля інженерних мереж і будівельних конструкції

Найменування ущільнювальної машини	Вага машини або навантаження на 1м ² площі, або 1 м п. (при лінійному навантаженні)	Товщина захисного шару, м
Трамбівка	70 кг	0,25
Вібраційна плита	50 кг	0,10
	100 кг	0,10
	200 кг	0,15
	400 кг	0,25
	600 кг	0,40
Одновальцевий віброкоток (за лінійного навантаження)	15 кН/м	0,50
	30 кН/м	1,00
	45 кН/м	1,50
	60 кН/м	2,00
Двовальцевий віброкоток (за лінійного навантаження)	5 кН/м	0,15
	10 кН/м	0,35
	15 кН/м	0,50
	20 кН/м	0,70
Статичний тривальцевий коток (за лінійного навантаження)	50 кН/м	0,80
Пневматичний коток (навантаження на колесо)	15 кН	0,50
	30 кН	0,80

Крім того, у нормативної та технічної літературі є також рекомендації. Наприклад, трамбуєчі машини та трамбуєчі плити, які скидають з висоти, слід використовувати не ближче ніж 2,0 метрів від цих споруд. За ущільнення ґрунту трамбуєчими машинами над трубами необхідно попередньо пошарово ущільнити іншими засобами (ручними трамбівками), захисний шар товщиною не менше 2,0 м.

За ущільнення ґрунту вібротрамбівками, вібраційними плитами масою більше 400 кг над трубами товщина захисного шару повинна бути не менше 25 см над металевими і залізобетонними трубами і не менше 40 см над керамічними, азбестоцементними і пластмасовими трубами.

Вибір технології ущільнення ґрунту залежить від параметрів обмежень зон ущільнення, видів та властивостей ґрунту, наявності спеціалізованих засобів обладнання для ущільнення ґрунту в обмеженому просторі.

Технологія ущільнення ґрунту залежить від типу зони ущільнення ґрунту.

У зоні обмежень першого типу на рівні закладання фундаменту, інших несучих конструкцій та трубопроводів основи котлованів та траншей настільки малі, що унеможливають застосування не тільки високопродуктивних ущільнюючих машин, але в деяких випадках і ефективний механізований інструмент.

Особливо обережні методи ущільнення ґрунту слід вибирати біля поверхонь конструкцій, біля і над трубопроводами, тобто в межах захисного шару ґрунту.

У зоні другого типу виділяють два об'єми ґрунту: захисний шар ґрунту для будівельних конструкцій та об'єм, в якому можна застосувати для ущільнення ґрунту в порівнянні з зоною першого типу потужніші механізовані інструменти або малу механізацію.

У зоні третього типу також виділяють два об'єми ґрунту зворотної засипки. Біля фундаментів та інших конструкцій, також є захисний шар ґрунту, який ущільнюють засобами, що не руйнують ці конструкції. У другому об'ємі ґрунт можна ущільнювати високопродуктивними засобами малої механізації або класичними ґрунтоущільнювальними машинами.

5.3.2. Ущільнення ґрунту в пазухах котлованів під фундаменти

Пазухи котлованів під **стовпчасті фундаменти** утворюють систему об'ємів з обмеженими розмірами, а тому ці місця представляють складність за ущільнення ґрунту зворотної засипки.

Роботу необхідно починати із зон, які розміщені навколо фундаментів (підколонників), а далі ущільнювати ґрунт між фундаментами (рис. 5.6).

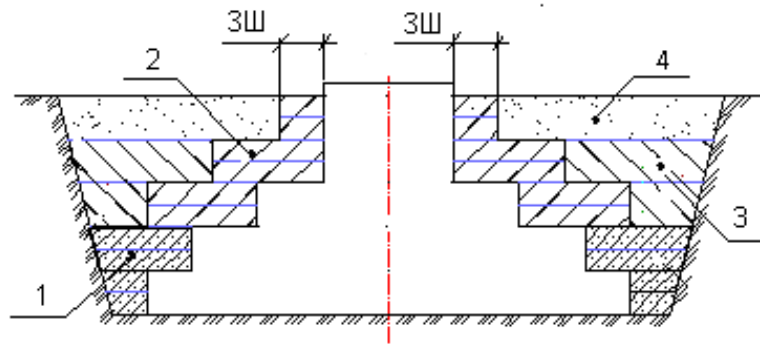


Рис. 5.6. Схема об'ємів зворотної засипки стовпчастого фундаменту і способи їх ущільнення: 1 – шари ґрунту, що ущільнюються: ручними трамбівками, вібротрамбівками, навісними трамбівками, 2 – тяж вібротрамбівками, віброплитами, 3 – тяж віброплитами, пересувними котками, 4 – тяж пересувними котками, самохідними мінікотками; ЗШ – ширина захисного шару ґрунту

Ущільнення ґрунту в зоні, яка прилягає до окремо стоячих фундаментів або інших підземних конструкцій, ведеться в більш стиснених умовах, ніж над фундаментами, і потребує особливих заходів, які запобігають пошкодженню конструкції. Цю зону слід ущільнювати укочуванням, вібротрамбуванням, вібруванням або комбінованим способом. Розміри цієї зони мають ширину 40 см навколо підшви фундаменту. Розрівнюють ґрунт у цих місцях вручну, а ущільнювати слід вібротрамбівками, віброплитами або пневмотрамбівками, ручними трамбівками. За ущільнення ґрунту вібраційною плитою використовують схему руху навкруги фундаментів по спіралі.

У місцях віддалених від фундаменту, де збільшується фронт робіт, слід використовувати більш продуктивні машини для ущільнення ґрунту, наприклад, віброплити вагою понад 400 кг, ручні котки. За використання самохідних котків для ущільнення *верхнього* шару зв'язного ґрунту в зоні, прилеглій до окремо розташованих фундаментів або інших підземних конструкцій, рекомендуються самохідні котки з гладким вальцями, обладнані кулачковими бандажами, для ущільнення незв'язних ґрунтів – віброкотки. Ущільнення ґрунту необхідно проводити паралельними проходами, спочатку уздовж прольотів споруди, а потім у поперечному напрямку.

За ущільнення ґрунту в замкнутих пазухах за допомогою саморухомих малогабаритних засобів дозволяється сумістити ущільнення ґрунту із засипанням і виконати роботи до проектних відміток в одній пазусі, потім в іншій, якщо в проекті виконання робіт дозволено одностороннє навантаження від ґрунту на прилягаючі конструкції.

Протягом ущільнення ґрунт в окремих місцях накривають дерев'яними мостиками із щитів для переміщення машин в інші місця. Якщо між місцями ущільнення є виступаючі конструкції, то їх також накривають дерев'яними містками.

Пазухи котлованів **стрічкових фундаментів** характерні можливою великою глибиною та невеликою шириною.

Вузькими, з позиції обмежень, вважають пазухи шириною менше 1,4 м (мінімальний розмір пазухи, який допускає роботу малогабаритного бульдозера). Слід виділяти пазухи шириною від 0,7 до 1,4 м, в яких людина може працювати, і пазухи шириною менше 0,7 м, в які доступ робітника неможливий.

За ущільнення з різною глибиною закладання насамперед виконують роботи в глибших місцях, а після досягнення загального рівня ущільнення проводяться по всьому котловану.

Для ущільнення ґрунту в пазухах фундаменту з визначеними параметрами обмеженого простору застосовуються ручні трамбівки, вібротрамбівки, віброплити в невеликою шириною робочої плити (до 30 см), навісні вібро- та пневмотрамбівки.

Вібротрамбіками ущільнюють ґрунт паралельними проходками довжиною 10 – 15 м, спочатку вздовж споруд, потім (за можливості) поперек споруди в проміжках між поздовжніми ущільненими смугами (рис. 5.7).

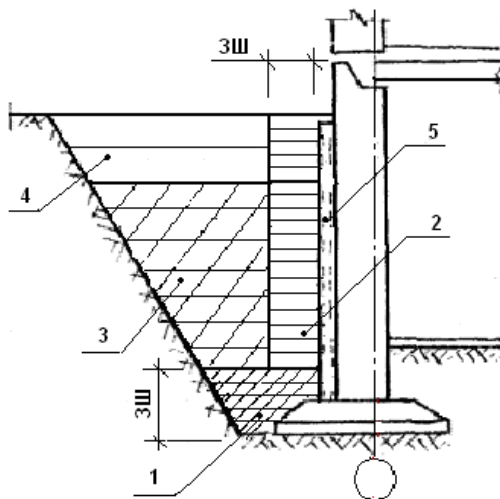


Рис. 5.7. Схеми ущільнення ґрунту в пазусі котловану стрічкового фундаменту: 1 – шари ґрунту, що ущільнюються ручними трамбівками, вібротрамбівками, навісними трамбівками; 2 – важкими вібротрамбівками, віброплитами; 3 – важкими віброплитами, ручними котками; 4 – важкими ручними котками, самохідними мінікотками; 5 – гідроізоляція, 3Ш – ширина захисного шару ґрунту

Ущільнення ґрунту навісними вібротрамбівками проводяться за допомогою екскаватора або крана, який встановлюється на брівці котловану. Ущільнюють ґрунт концентричними смугами в межах зони дії крана з однієї стоянки. Відстань між стоянками крана приймають рівною $1/2$ найбільшого вильоту стріли крана.

Поблизу тонкостінних конструкцій, для попередження їх зміщення розпором ущільненого ґрунту, роботи проводяться паралельно в сусідніх пазухах.

Існуючі в даний час механізовані інструменти не дозволяють ущільнювати ґрунт у глибоких і вузьких пазухах шириною до 0,7 м, оскільки в них людина не може працювати. У цьому випадку пазухи можна засипати піском, тільки не в лесових ґрунтах, що подається невеликими дозами з рясним поливом водою, що створює ефект гідронамиву. Поливають струменем води з тиском 0,36 МПа. Пазухи не можна засипати відразу на всю глибину з наступним поливом водою, оскільки в цьому випадку ущільнення не буде досягнуто. Такий спосіб можна рекомендувати за умови плюсової температури зовнішнього середовища.

5.3.3. Ущільнення ґрунту в траншеї з трубопроводом

ґрунт зворотної засипки траншеї з трубопроводом ущільнюють послідовно в три етапи (рис. 5.8):

- перший етап: підбивка пазух між трубою і траншеєю; ущільнення ґрунту в пазухах між трубою і стінками траншеї;
- другий етап: ущільнення верхнього захисного шару;
- третій етап: ущільнення верхніх шарів траншеї

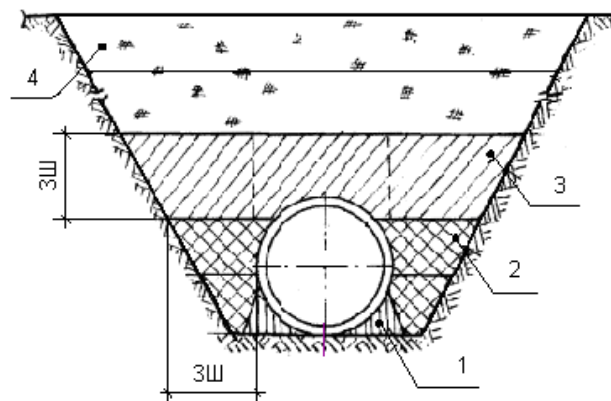


Рис. 5.8. Схема ущільнення ґрунту зворотної засипки траншеї з трубопроводом: 1 – шари ґрунту, що ущільнюють ручними трамбівками, пневмотрамбівками, вібротрамбівками; 2 – теж вібротрамбівками, навісними трамбівками; 3 – теж віброплитами; 4 – теж пересувними котками, самохідними мінікотками; 3Ш – ширина захисного шару ґрунту

Підбивку пазух між трубою і дном траншеї виконують не мерзлим ґрунтом, який не містить твердих включень розміром понад 1/10 діаметра труби ручними трамбівками, вібротрамбівками або навісним обладнанням на екскаваторах або навантажувачах, розміри ущільнювальної п'яти яких і самого інструмента не перевищують ширини пазух.

Траншеї для прокладки газових, теплових, водопровідних і каналізаційних трубопроводів мають ширину не менше за 1,5 – 2 м, глибину до 1,5 – 2,0 м і пазухи по низу траншеї 0,1 – 0,6 м, а тому для ущільнення ґрунту в пазухах шириною до 0,5 м біля трубопроводів та ізольованих елементів конструкції можна виконувати **засобами ручного або пневматичного** трамбування (рис. 5.9, а, б).

Трамбування ґрунту в пазухах між трубою і стінками траншеї виконують пошарово з товщиною шару не більше 25 см. У цьому відсіпку та ущільнення ґрунту потрібно вести з обох боків труби шарами однакової товщини поздовжніми проходами і, залежно від ширини пазухи, ручними трамбівками, вузькими віброплитами, залежно від виду матеріала труб – вібротрамбівками (рис. 5.9, а).

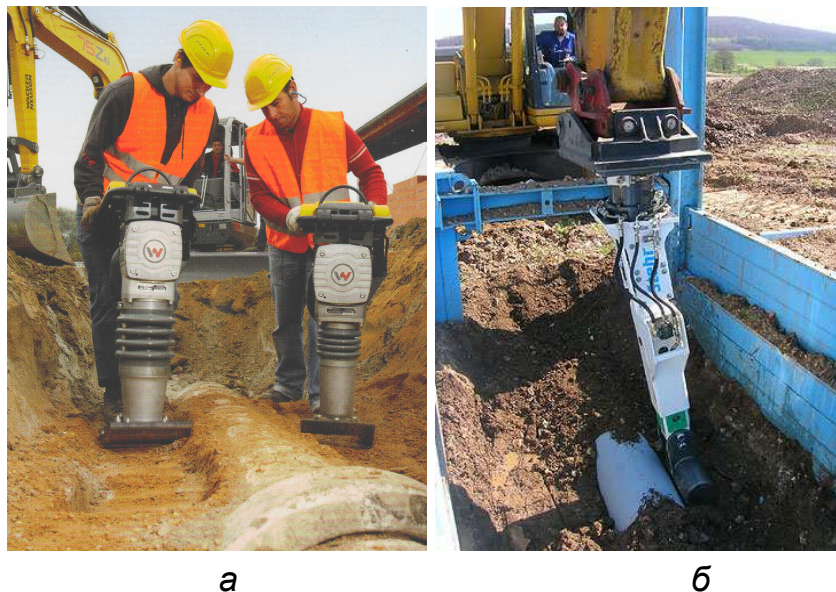


Рис. 5.9. Ущільнення пазух між трубою і дном траншеї: а – вібротрамбівками; б – навісною траншейною трамбівкою

У цих умовах для ущільнення ґрунту широко використовують **навісне екскаваторне обладнання**. Використання навісної траншейної трамбівки (рис. 5.9, б) безпечне для трубопроводів і ізоляцій конструкцій тому, що параметри вібрування можна контролювати для кожного конкретного місця. Обладнання виключає

передачу надлишкового тиску стріли екскаватора на ґрунт і забезпечує рівномірне ущільнення ґрунту.

Ущільнення верхнього захисного шару над азбестоцементних, пластмасових, керамічних і залізобетонних труб на висоту 0,5 м над верхом труби, а для інших труб – ґрунту без твердих включень розміром понад $1/4$ їх діаметра на висоту 0,2 м над верхом труби. Цей шар ущільнюють ручними механізованими трамбівкам, віброплитами.

Траншейна трамбівка з робочою шириною 220 мм легко переміщається з місця на місце з частотою вібрування 60 Гц за глибини траншей до 1500 мм.

У випадку ущільнення ґрунту в важкодоступних місцях використовують навісну інерційну гідравлічну трамбівку, а також трамбуєчу насадку на гідромолот.

Гідравлічні вібротрамбівка, віброплити – навісне обладнання на екскаватор для ущільнення будь-яких ґрунтів в обмеженому просторі.

Подальше ущільнення верхніх шарів траншеї виконують пошарово товщиною від 20 до 30 см. Ці шари ущільнюють ручними механізованими віброплитами, ручними або самохідними котками (рис. 5.2, з; 5.3, а).

До наступного проходу ґрунтоущільнювальної машини по одному і тому самому сліду приступають після того, як вся ширина ущільнювальної смуги буде перекрита слідами попереднього проходу, щоб уникнути пропусків в ущільненні необхідно кожним проходом машини перекривати попередній хід на $10 \div 15$ см.

У місцях перетину траншей з підземними комунікаціями або кабелями, їх засипають шарами не більше 0,1 м і ретельно ущільнюють ручними трамбівками або віброплитами невеликою масою.

Самими малорозмірними, з точки зору стиснення і незручності ведення робіт з ущільнення ґрунту, являються траншейні прокладки кабелів зв'язку та трубопроводів з керамічних, азбестових або інших труб діаметром 50 – 100 мм (глибина і ширина траншеї 0,5 – 1,0 м за ширини бокових пазух 0,2 – 0,3 м). Для ущільнення застосовують навісне віброколесо, ручні вібротрамбівки. Віброколесо навішується на центральну частину мінінавантажувача та екскаватори (рис. 5.10).



Рис. 5.10. Навісне трамбувальне віброколесо з боковим зміщенням

Функція вільного ходу дозволяє ущільнювати ґрунт без опору і попереджає його налипання, а бокове зміщення колеса (до 400 мм за межі машини) забезпечує якісне ущільнення вздовж обочин, біля бордюрів і стін.

Змінні колеса дозволяють регулювати робочу ширину ущільнення, яка може бути 200 мм, 250 мм, 300 мм і 400 мм.

Для ущільнення ґрунту важкодоступними є також пазухи ям і котлованів біля стовпів, колон, стін, колодязів. У цих місцях використовують невеликі віброплити з шириною проходки до 30 см (у незв'язних ґрунтах) і ручні вібротрамбівки (у зв'язних і незв'язних ґрунтах).

Запитання для самоконтролю

1. Які ви знаєте обмежені умови або стиснуті місця під час ущільнення ґрунту?
2. Обґрунтуйте область застосування вібротрамбівок.
3. Розкажіть про принцип роботи вібротрамбівок.
4. Поясніть призначення різного навісного екскаваторного обладнання під час ущільнення ґрунту.
5. Яка роль захисного шару за ущільнення ґрунту в траншеях?
6. Від чого залежить товщина захисного шару ґрунту?
7. В якій послідовності виконують ущільнення ґрунту в пазах котловану під стовбчасті фундаменти?
8. Намалюйте і поясніть схему послідовності ущільнення ґрунту в пазах траншей під трубопроводи.

6. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

6.1. Система визначення якості ущільнення ґрунту

Якість виконання ущільнення ґрунту повинна відповідати вимогам проекту виконання робіт і діючих нормативних документів. Контроль якості ущільнення ґрунту здійснюють послідовно в три етапи: вхідний (попередній), поопераційний (у процесі виконання робіт) і заключний (у період здачі й приймання об'єктів).

Вхідний контроль якості матеріалів передбачає перевірку відповідності проектних і натурних показників складу (зерновий склад, пластичність) та стану (вологість, щільність) ґрунтів у кар'єрах, резервах, виїмках, штучних основах. Під час вхідного контролю слід перевіряти правильність визначення обсягів резервів з врахуванням фактичної ситуації в плані; склад ґрунту за найменуванням виду і різновидну, наявність крупних включень, вологість, коефіцієнт фільтрації, зерновий склад пісків.

На етапі вхідного контролю будівельна організація повинна виконувати налаштування основних технологічних процесів на піонерних ділянках, яке здійснюється методом «пробного ущільнення».

Поопераційний контроль виконують у повній відповідності до вимог ПВР, технологічних карт чи карт трудових процесів.

Операційний контроль якості передбачає перевірку:

- правильності розміщення осьової лінії поверхні земляного полотна в плані та висотних відміток;
- товщини родючого шару ґрунту, що зрізається;
- щільності ґрунту в основі земляного полотна;
- вологості ґрунту, який використовується для спорудження земляного полотна;
- товщини шарів ґрунту, які відсипають у тіло насипу;
- однорідності ґрунту в шарах насипу;
- щільності ґрунту в шарах насипу;
- рівності поверхні земляного полотна;
- поперечного профілю земляного полотна (відстань між віссю та брівкою, поперечний похил, крутизна укосів);
- якості підготовки траншей;
- відповідності проекту підготовленої основи під труби;
- відповідності проекту матеріалів фільтруючих шарів.

Під час операційного контролю якості ущільнення ґрунтів на болотах додатково контролюють: повноту виторфовування, величину осідання, геометричні розміри вертикальних піщаних дренажів та коефіцієнт фільтрації піску в них.

Під час операційного контролю якості ущільнення великоуламкових ґрунтів додатково потрібно контролювати кількість і вологість дрібнозему.

Перевірку товщини шарів потрібно виконувати не рідше ніж через 200 м у трьох точках на поперечному перетині насипу.

Щільність ґрунту треба контролювати в кожному технологічному шарі вздовж осі земляного полотна та на відстані від 1,5 м до 2,0 м від брівки.

Контроль щільності ґрунту потрібно виконувати на кожній ділянці роботи ущільнюючих машин, але не рідше ніж через 100 м за висоти насипу до 3 м та не рідше ніж через 50 м за висоти насипу понад 3 м. Контроль щільності потрібно проводити на глибині 1/3 товщини ущільнювального шару, але не менше ніж 8 см.

Контроль щільності верхнього шару потрібно виконувати не рідше ніж через 50 м.

Додатковий контроль щільності треба виконувати в кожному шарі ґрунту під час ущільнення ґрунту в пазах труб, над трубами.

Відхилення від нормативного значення коефіцієнта ущільнення в бік зменшення допускаються не більше ніж в 10% випробувань від їх загальної кількості і не більше ніж на 0,04, у решти 90% випробувань відхилення не повинно перевищувати 0,01.

Контроль вологості ґрунту для земляних споруд та для опоряджувальних і укріплювальних видів робіт треба проводити як у місці його розробки (резерв, кар'єр, виїмка), так і в місці укладання та ущільнення не рідше одного разу за зміну та обов'язково після атмосферних опадів.

Щільність та вологість ґрунту лабораторними методами потрібно визначати згідно з ДСТУ Б.В.2.1-17:2009, які наведено в табл. 6.1.

Під час операційного контролю для однорідних ґрунтів дозволяється використовувати польові експрес-методи, але не менше ніж 10% вимірів повинно бути виконано стандартним методом.

Таблиця 6.1

**Методи визначення фізичних показників ґрунту
за ДСТУ Б В.2.1-17-2009**

Фізичні показники ґрунту		Метод визначення	Область застосування методу
Вологість	У тому числі гігроскопічна	Висушування до постійної маси	Всі ґрунти
	Сумарна	Середньою пробою	Мерзлі шаруватої та сітчастої кріогенної текстури
	Границі текучості	Пенетрація конусом	Пилувато-глинисті
	Границі розкочування	Розкочування в джгут	Те саме
		Пресування	Те саме
щільність	ґрунту	Ріжучим кільцем	ґрунти, що легко піддаються вирізанню або не зберігають своєї форми без кільця, сипкомерзлі та з масивною кріогенною текстурою
		Зважування у воді парафінованих зразків	Пилувато-глинисті немерзлі, схильні кришитися або ті, що важко піддаються вирізанню
		Зважування у нейтральній рідині	Мерзлі
	Сухого ґрунту	Розрахунковий	Всі ґрунти
	Часток ґрунту	Пікнометричний з водою	Всі ґрунти, крім засолених та набухаючих
		Пікнометричний з нейтральною рідиною	Засолені та набухаючі
		Метод двох пікнометрів	Засолені

Під час приймального та інспекційного контролю використання експрес-методів не дозволяється.

Рівність поверхні ущільненого ґрунту контролюється по осі смуг ущільнення нівелюванням у трьох точках поперечного профілю (по осі, лівій та правій брівках). Відстань між точками контролю повинна не перевищувати 100 м.

Заключний контроль під час приймання об'єктів в експлуатацію передбачає перевірку технічної документації, яка повинна містити: відомості про постійні репери, акти геодезичної розбивки земляних споруд, робочі креслення споруд погоджені з проектною організацією і замовником, журнал робіт, акти огляду прихованих робіт, результати контролю ущільнених ґрунтів та результати вибіркової перевірки якості ущільнення. Під час приймання завершених робіт необхідно провести детальний огляд об'єкта та виконати контрольні заміри, перевірку результатів інструментальних вимірів і показників лабораторних випробувань і порівняти їх з технічною документацією. Якщо хоч один з показників по конкретному елементу не відповідає допустимому його значенню, тоді виконана робота не підлягає прийманню і потребує доопрацювання.

6.2. Лабораторні методи визначення щільності ґрунту

Для визначення щільності ґрунту існує ряд польових та лабораторних способів, але тут варто пам'ятати, що насипні чи природні ґрунти ущільнюються для збільшення їх міцності та зменшення їх деформації. Безперечно, що визначення міцнісних та деформаційних показників у польових умовах буде ближче відображати реальну роботу ущільненого ґрунту, але такі дослідження трудомісткі, дорогі та довготривалі.

Існують також більш оперативні та економічні методи як польові, так і лабораторні.

Оперативні польові методи розроблені на принципі penetraції (проникнення) в ґрунт конуса, загостреного чи циліндричного стрижня від статичного чи ударного дозованого навантаження. Кількість роботи або глибина проникнення в ґрунт зонда опосередковано, за спеціальними таблицями, дає можливість визначити щільність ґрунту. Тут слід зазначити, що точність визначення щільності може не відповідати реальності, а тому цей метод використовують для якісної («більше-менше») оцінки.

Лабораторні методи визначення щільності ґрунту дають, більш точні результати, проте тривалість таких робіт розтягується іноді на декілька днів. Значно скоротити термін можна за наявності польової лабораторії, а тому можна оперативно і точно виконувати щоденний контроль якості. Для відповідальних об'єктів кінцевий контроль ущільнення ґрунту може бути призначений проектом у вигляді штампових випробувань ґрунту.

У лабораторних умовах для визначення фізичних властивостей ущільненого ґрунту виконують випробування над пробами ґрунту непорушеної структури відібраними на місці його ущільнення. Відбір, пакування, транспортування та зберігання проб ґрунту непорушеної структури (монолітів) виконують згідно з ДСТУ Б В.2.1-8.

Нижче приведені способи лабораторного визначення:

- вологості ґрунту в природному стані;
- вологості ґрунту на границі розкочування;
- щільності ґрунту в природному стані (двома способами);
- розрахункової щільності ґрунту в сухому стані.

Для виконання лабораторних випробувань необхідно мати наступне лабораторне обладнання та матеріали:

1. Шафа сушильна;
2. Термометр зі шкалою до 200 °С, з ціною поділки 2 °С;
3. Ексикатор (ГОСТ 23932) з хлористим кальцієм прожареним у муфельній печі;
4. Стаканчики скляні (ГОСТ 23932) або алюмінієві;
5. Шпатель металевий;
6. Ніж з прямим лезом;
7. Щипці тигельні;
8. Ваги лабораторні (ГОСТ 24104) з гирями (ДСТУ, ГОСТ 7328);
9. Кільця-пробовідбірники (ДСТУ Б В.2.1-17-2009);
10. Лопатка пласка;
11. Штангенциркуль (ДСТУ, ГОСТ 166);
12. Насадка для вдавлювання кілець;
13. Прес гвинтовий для вдавлювання кілець;
14. Пластижки гладкі зі скла або металу для накривання кілець;
15. Вазелін технічний або консистентне мастило;
16. Склянки лабораторні 0,5 -1,0 л;
17. Парафін;
18. Голка, нитка, висок;

19. Папір фільтрувальний;

20. Вода дистильована.

Фізичні властивості потрібно визначати не менше ніж для двох паралельних зразків, які відбирають з досліджуваної проби ґрунту. Визначення властивостей вираховують як середнє арифметичне за результатами паралельних визначень.

Різниця між паралельними визначеннями не повинна перевищувати:

- для вологості ґрунту - 0,2 % за кількості визначень від 1 до 5;
 - 0,6 % за кількості визначень від 5 до 10;
 - 2,0 % за кількості визначень від 10 до 50;
 - 4,0 % за кількості визначень від 50 до 100.
- для щільності ґрунту - 0,04 г/см³ у піщаних ґрунтах;
 - 0,03 г/см³ у пилувато-глинистих ґрунтах.

Точність обрахування повинна бути:

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| - для щільності | 0,01 г/см ³ |
| - для вологості до 30% | 0,1% |
| - для вологості більше ніж 30% | 1,0% |

Точність зважування повинна бути:

- | | |
|-------------------------------|--------|
| - для маси від 10 до 1000 г | 0,02 г |
| - для маси від 1000 до 5000 г | 1,0 г |

Точність вимірювання внутрішнього діаметра та висоти кільця-пробовідбірника повинна бути 0,1мм.

Визначення вологості ґрунту

Вологість ґрунту визначають як відношення маси води, вилученої із ґрунту висушуванням до постійної маси, до маси висушеного ґрунту. Зразок ґрунту для визначення вологості відбирають масою від 15 до 50 г із природних умов або із «монолітів» доставлених у лабораторію, поміщають у заздалегідь висушений, зважений і пронумерований стаканчик і щільно закривають кришкою.

Зразок ґрунту в закритому стаканчику зважують.

Стаканчик відкривають і разом з кришкою поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси за температури 105 ± 2 °С, чергуючи висушування і зважування. Перше сушіння піщаних ґрунтів триває протягом 3 год., а інших ґрунтів – протягом 5 год. Наступні висушування піщаних ґрунтів тривають 1 год., інших – 2 год.

Після кожного висушування ґрунт у стаканчику охолоджують в ексикаторі з хлористим кальцієм до температури приміщення і зважують. Висушування ґрунту продовжують до одержання різниці мас ґрунту зі стаканчиком не більше ніж 0,02 г під час двох наступних зважувань.

Вологість ґрунту у відсотках вираховують за формулою:

$$w = \frac{100}{m_0 - m} (m_1 - m_0) \quad (27)$$

де m – маса порожнього стаканчика з кришкою, г;

m_1 – маса вологого ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г;

m_0 – маса висушеного ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г;

Визначення вологості на границі розкочування ґрунту

Значення вологості ґрунту на границі розкочування дає можливість визначити оптимальну вологість ущільнення.

Границя розкочування (пластичності) – це вологість ґрунту, за якої він розкочується в джгутики діаметром 3 мм, що починають розпадатися на шматочки довжиною від 3 до 10 мм.

Ґрунт у кількості від 40 до 50 г розминають ножем або шпателем у фарфоровій чашці, очищають від рослинних залишок розміром більше ніж 1 мм, просівають крізь сито із сіткою №1, зволожують дистильованою водою до стану густої пасти і витримують протягом 2 год. у закритій посуді.

Невеликий шматочок ґрунтової пасти розкочують долонею на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джгута діаметром 3 мм. Якщо джгут за цієї товщини не тріскається – його збирають у грудочку і знову розкочують. Тепло від рук випаровує воду із розкочуваного ґрунту.

І на якійсь спробі джгутики ґрунту діаметром 3 мм будуть розпадатися за поперечними тріщинами на шматочки довжиною від 3 мм до 10 мм.

Шматочки джгута збирають у стаканчики, накривають кришками і коли маса ґрунту в стаканчиках досягне 10 – 15 г, визначають вологість цього ґрунту.

Визначення щільності ґрунту

Щільність ґрунту визначають відношенням маси зразка ґрунту до його об'єму.

Для визначення щільності ґрунту рекомендується два способи:

- для ґрунтів, що легко піддаються вирізанню або не зберігають своєї форми без кільця, використовують *метод ріжучого кільця*;
- для ґрунтів пилувато-глинистих, схильних кришитися або тих, що важко піддаються вирізанню – *метод зважування у воді* парафінованих зразків.

Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця.

Для випробувань необхідно взяти ріжуче кільце – пробовідбірник з нержавіючого металу, яке має діаметр 50 – 70 мм, товщину стінки – 2 мм, висоту біля 30 мм і кут заточки зовнішнього краю, що ріже не більше ніж 30°. Кільця нумерують, вимірюють внутрішній діаметр і висоту та зважують. За результатами вимірювань вираховують об'єм кільця з точністю до 0,1 см³. Пластинки із гладкою поверхнею (зі скла, металу тощо) нумерують та зважують.

Поверхню ґрунту, з якого мають відібрати зразок для визначення його щільності, розчищають від рихлої поверхні і вирівнюють.

Металеve кільце-пробовідбірник змащують із внутрішньої сторони тонким шаром вазеліну або консистентного мастила і вдавлюють у підготовлену поверхню ґрунту. Потім ґрунт обрізають зовні кільця на глибину до 10 мм нижче ріжучого краю кільця і відокремлюють його від ґрунтового масиву. Ґрунт, що виступає за краї кільця, підрізають ножом, зачищають поверхню ґрунту на рівні з краями кільця і закривають торці пластинками.

Кільце із ґрунтом і пластинками зважують.

Щільність ґрунту в грамах на кубічний сантиметр обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0 - m_2)}{V} \quad (28)$$

де m_1 – маса ґрунту з кільцем і пластинками, г;

m_0 – маса кільця, г;

m_2 – маса пластинок, г;

V – внутрішній об'єм кільця, см³.

Визначення щільності ґрунту методом зважування у воді

Вирізають зразок ґрунту об'ємом біля 50 см³ і надають йому округлої форми за допомогою обрізання гострих виступів ножом. Зразок обв'язують тонкою міцною ниткою з вільним кінцем і петлею для підвішування зразка до ваги.

Парафін нагрівають у чистій посуді до температури 57 – 60 °С.

Зразок разом з ниткою зважують і занурюють у розплавлений парафін на 2 – 3 с. Після виймання зразка і затвердіння парафіну нагрітою голкою проколюють повітряні бульбашки у парафінові та загладжують місця проколів до утворення щільної парафінової оболонки.

Охолоджений парафінований зразок зважують.

Удруге парафінований зразок зважують у посудині з водою. Для цього один із підвісів ваг знімають, коромисло ваг урівноважують (за потреби – додатковим вантажем). На місце знятого підвісу ваг підвішують на нитці парафінований зразок. Підтримуючи зразок за нитку під нього на ваги установлюють посуду з водою. Об'єм посуду, рівень води, довжина нитки повинні забезпечити повне занурення зразка у воду. Зразок не повинен торкатися дна і стінок посуду.

Зважений зразок виймають із води, промокають фільтрувальним папером і зважують втретє. Якщо показники третього зважування відрізняються від показників першого зважування більше ніж на 0,02 г зразок слід забракувати в зв'язку з негерметичністю парафінової оболонки.

Щільність ґрунту вираховують за формулою:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_p \cdot \rho_w}{\rho_p(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)} \quad (29)$$

де m – маса зразка ґрунту до парафінування, г;

m_1 – маса парафінованого зразка ґрунту, г;

m_2 – маса парафінованого зразка ґрунту у воді, г;

ρ_p – щільність парафіну, можна прийняти $0,9 \text{ г/см}^3$

Визначення щільності сухого ґрунту

Для визначення щільності сухого ґрунту попередніми лабораторними дослідженнями визначають вологість і щільність ґрунту за цієї вологості.

Щільність сухого ґрунту (щільність скелету сухого ґрунту) в грамах на кубічний сантиметр вираховують за формулою:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w} \quad (30)$$

де ρ – щільність ґрунту, г/см^3 ;

w – вологість ґрунту, %.

Запитання для самоконтролю

1. Якими видами контролю супроводжується ущільнення ґрунтів?
2. Які параметри слід перевіряти на етапі вхідного контролю?
3. Що підлягає операційному контролю?
4. Які методи визначення фізичних показників ґрунту є сьогодні?
5. Розкрийте суть визначення вологості ґрунту. Напишіть формулу.
6. Які способи визначення щільності ґрунту ви знаєте? Коротко охарактеризуйте кожен з них.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Кожне технологічне рішення з ущільнення ґрунтів повинно відповідати вимогам щодо безпечних умов праці будівельних робітників та машиністів, безпечної експлуатації засобів праці, збереження споруд, що будуються, та охорони навколишнього середовища.

Найпоширеніший шкідливий чинник – це обвалення ґрунту в процесі його ущільнення в траншеях і котлованах. Обвалення відбувається через перевищення нормативної глибини виїмки без кріплення або неправильного їх виконання, розробки траншей і котлованів з не достатньо стійкими укосами, недотримання технології виконання земляних робіт, виникнення непередбачених навантажень на ґрунт біля виїмок та порушення правил експлуатації будівельних машин і механізмів.

7.1. Утримання будівельних майданчиків

Виїмки, у яких ущільнюється ґрунт, повинні бути огорожені захисними огороженнями, і огороженнями від дії поверхневих вод водовідвідними каналами або водонепроникними валами. Не дозволяється ущільнення у виїмках перезволожених піщаних ґрунтів, лесових, насипних. Допуск робітників у виїмку дозволяється після встановлення кріплення.

Ґрунт для зворотного засипання в траншеї або котловани необхідно розташовувати на відстані не менш ніж 0,5 м від брівки укосу, яку потрібно утримувати в чистоті. За станом укосів виїмки виконробу необхідно систематично спостерігати і якщо будуть виявлені тріщини, зсуви або зрушення негайно повідомляти начальнику дільниці і

приймати, узгоджене з інженером безпеки праці або головним інженером будівельної організації, рішення.

У місцях переходу робітників через траншеї глибиною більше ніж 1 м повинні бути влаштовані містки шириною не менше ніж 0,6 м з поручнями висотою 1,1 м. Для спуску в траншеї і котловани необхідно встановлювати драбини шириною не менше ніж 0,6 м з поручнями або приставні сходи, які встановлюють, на відстані не більше ніж 10,0 м від місця виконання робіт. Спуски в траншеї на 1,0 м підіймають над брівкою виїмки.

7.2. Вимоги до робочих місць

Проходи до робочих місць повинні мати ширину не менше 0,6 м, а висота таких проходів у просвіті — не менше ніж 1,8 м. На робочих місцях необхідно передбачити достатній простір для виконання робіт, але не менше ніж параметри, що вказані в п.2 ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013.

Виконання робіт, пов'язаних з перебуванням працівників у виїмках з вертикальними стінками без кріплення вище рівня ґрунтових вод і за відсутності поблизу підземних споруд, допускається за їхньої глибини не більше, м:

1,0 – у незлежаних насипних і природного утворення піщаних ґрунтах;

1,25 – у супісках;

1,50 – у суглинках і глинах.

За ущільнення ґрунту в пазухах котлованів та траншей маса механізованого інструменту, засобів малої механізації, які необхідно піднімати та переміщувати, не повинна перевищувати наступних параметрів: для жінок – 15 кг, для чоловіків – 80 кг, але піднімати на висоту від 1,5 м до 2,0 м відповідно до 10 і 50 кг. На висоту більше 2,0 м вантажі потрібно піднімати тільки механізованим способом. Під час переміщення механізмів, облаштованих транспортним роликом, фізичні зусилля робітника жіночої статі не повинно перевищувати 15 кг.

Виконання робіт в виїмках глибиною більше ніж 1,5 м дозволяється ланкою в складі не менше двох працівників.

7.3. Захист працівників від дії шкідливих чинників

Під час ущільнення ґрунту із застосуванням машин і механізмів повинні виконуватися передбачені в ПБР заходи із забезпечення

техногенної і пожежної безпеки, охорони атмосферного повітря, безпечних умов праці. На робочих місцях, на будівельному майданчику і в навколишньому середовищі необхідно забезпечувати регламентовані у ДСН 3.3.6.037, ДСН 3.3.6.039 безпечні рівні звукових та вібраційних навантажень і впливу на мікроклімат будівельних машин, транспортних засобів, виробничого устаткування, засобів механізації, оснастки, ручних машин та інструменту.

Зони з рівнем звуку понад 80 дБ повинні бути позначені знаками небезпеки. Робота в цих зонах без використання засобів індивідуального захисту забороняється. Забороняється навіть короточасне перебування в зонах звукового тиску вище 130 дБ у будь-якій октавній смузі.

Робота в умовах дії локальної вібрації, що перевищує гранично допустиму більше ніж на 12 дБ, не дозволяється.

Гранично допустимі параметри імпульсної локальної вібрації наведені в табл. 7.1.

Вибір способів виконання робіт з ущільнення ґрунту повинен передбачати усунення або зниження до рівня допустимих норм дії на будівельних робітників небезпечних і шкідливих виробничих чинників завдяки механізації і автоматизації трудомістких, небезпечних робіт, а також робіт, що виконуються у важкодоступних місцях.

Таблиця 7.1

Гранично допустимі параметри імпульсної локальної вібрації

Діапазон тривалості вібраційних імпульсів, мс	Допустима кількість імпульсів штук за 8 годин (за 1 годину) за пікових рівней віброприскорення, дБ			
	120	130	140	150
1 - 30*	160000**	50000	5000	500
	(20000**)	(6250)	(625)	(62)
31 - 1000*	160000**	16000	1600	160
	(20000**)	(2000)	(200)	(20)

* Вібраційні імпульси 1 - 30 мс мають місце за використання немеханізованого інструменту 31 - 1000 мс - механізованого інструменту.

** Значення відповідає максимально можливій кількості імпульсів за 8-годинну зміну за частоти проходження 5,6 Гц. У дужках - допустима кількість імпульсів за 1 годину.

Залежно від перевищення гранично допустимого рівня вібрації за допомогою таблиці 7.2 визначається допустимий сумарний час дії вібрації за 8-годинну робочу зміну.

Таблиця 7.2

Допустимий час дії вібрації за перевищення її допустимого рівня

Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв.
1	384
4	191
8	76
12	30

Якщо допустимий сумарний час дії вібрації більший за необхідний технологічний час праці за зміну, то він повинен довільно розподілятися в межах робочої зміни з дотриманням двох регламентованих перерв (перша – 20 хвилин за 1 – 2 годину від початку роботи, друга – на 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви) та обідньої перерви тривалістю не менше 40 хвилин.

Для усунення шкідливого впливу вібрації на працюючих повинні застосовуватися наступні заходи:

- зниження вібрації в джерелі її утворення конструктивними або технологічними заходами;
- зменшення вібрації на шляху її поширення засобами віброізоляції і вібропоглинання;
- дистанційне керування, що виключає передачу вібрації на робочі місця;
- засоби індивідуального захисту.

7.4. Вимоги до експлуатації будівельних машин

Під час використання будівельних машин рівень шуму, вібрації, загазованості, запиленості на робочих місцях машиністів не повинен перевищувати норми, а освітлення – відповідати нормам, що визначені для конкретних видів робіт.

Освітлення робочих зон слід приймати відповідно до положень ДБН В.2.5-28.

Переміщення, установка і робота машин поблизу виїмок (котлованів, траншей) з незакріпленими укосами дозволяється тільки за

межею призми обвалення ґрунту на відстані, що встановлюється проектом виконання робіт.

За відсутності відповідних вказівок в ПВР найменша допустима відстань по горизонталі від основи укусу котловану, траншеї (виїмки) до найближчих опор вантажопідіймальних машин ДБН А.3.2.2:2009 і наведена в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Відстань вантажопідіймальних машин від ґрунтових укосів

Глибина котловану (канави), м	Відстань від основи укусу до найближчої опори* для насипного ґрунту, м				
	піщаного і гравійного	супіщаного	суглинистого	глинистого	лесового сухого
1	1,5	1,25	1,0	1,0	1,0
2	3,0	2,4	2,0	1,5	2,0
3	4,0	3,6	3,25	1,75	2,5
4	5,0	4,4	4,0	3,0	3,0
5	6,0	5,3	4,75	3,5	3,5
* Під найближчою опорою розуміється край виносної опори машини або край баластової призми вантажопідіймального крана, що переміщується рейковими коліями					

Під час експлуатації машин, що мають рухомі робочі органи, необхідно запобігти доступу людей до небезпечної зони роботи, межа якої встановлена на відстані не менше ніж 5 м від граничного положення робочого органу, якщо в інструкції заводу-виготовлювача відсутні інші вимоги.

Під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт та подавання машин, механізмів, малу техніку на дно виїмок слід подавати тільки механізованим способом для вантажів більше ніж 50 кг, а також, коли піднімають вантаж на висоту більше 2 м.

Під час ущільнення ґрунту комплектом машин необхідно дотримуватись вимог НПАОП 45.11-7.15-80:

- ущільнення ґрунту заднім ходом нереверсивними катками, які не обладнані спеціальними пристосуваннями, не дозволяється;
- на подовжніх ухилах понад 20° і на поперечних ухилах понад 15° робота дизельнотрамбувальних машин не допускається;
- рух дизельнотрамбувальних машин під час ущільнення ґрунту не повинен здійснюватися в напрямі потоку відпрацьованого газу,

перебування працюючих на насипі в зоні поширення відпрацьованого газу, не допускається;

- не допускається наближення тракторів з навісними і причіпними ґрунтоущільнювальними робочими органами зовнішньою гранню гусениці або колеса ближче 0,5 м до брівки насипу;

- під час ущільнення ґрунту машинами з падаючими плитами біля брівок насипу, а також рихлого ґрунту не можна допускати, щоб нижній кінець подовжувачів штанг виходив за межі уловлювачів трамбувальних плит, не допускається робити ущільнення ґрунту машинами з падаючими плитами на поперечних і подовжніх ухилах більше ніж 7° і скидати плити в поглиблення більше за 0,5 м від рівня стоянки трактора;

- не дозволяється робити круті повороти пневмокотка на не ущільненому шарі ґрунту;

- транспортувати катки на пневматичних шинах на причепі до автомобіля допускається тільки після розвантаження їх від баласту. Відчеплення від тягача одновісного котка на пневматичних шинах дозволяється робити тільки після розвантаження баласту;

- коли змінюється напрям руху самохідних котків усіх типів, необхідно подавати попереджувальний звуковий сигнал.

7.5. Вимоги до експлуатації механізованого інструменту

Під час використання електрифікованих або пневматичних ручних машин необхідно: переконатися в цілісності деталей корпусу, електричного кабелю (повітряного рукава), надійності і правильності кріплення деталей; перевірити роботу інструменту на холостому ході. Під час перерв у роботі, після завершення роботи, а також під час змащування, очищення, заміни робочого інструменту тощо, ручні машини повинні бути вимкнені та від'єднані від електричної та повітропроводної мережі.

Ручні пневматичні машини повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.71-13.

Під час роботи з пневмомашиною слід:

- не допускати, щоб машини працювала на холостому ходу (крім випадків апробації);

- якщо виявлено несправності, потрібно терміново припинити роботу;

- працівники повинні бути забезпечені рукавицями на віброізолюючій основі та засобами захисту від виробничого шуму;
- ручні машини та інструменти повинні бути піддані технічному огляду не менше одного разу за 10 днів роботи.

Інструмент, що не відповідає вимогам безпеки, потрібно вилучати.

Ручні електричні машини повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21, НПАОП 40.1-1.32, ДСТУ Б В 2.8-10.

Не допускається користування електроінструментом з простроченою датою періодичної перевірки. За невиконання вимог інструкції працівник несе відповідальність відповідно до чинного законодавства. Зовнішні електропроводки тимчасового електропостачання мають бути виконані ізольованим проводом, розміщені на опорах на висоті 2,5 м над робочими місцями, 3,5 м над проходами і 6,0 м – над землею.

7.6. Вимоги до збереження навколишнього середовища.

Заходи щодо захисту навколишнього середовища слід передбачати в проекті організації будівництва і в проекті виконання робіт і виконувати згідно з ГОСТ 17.2.3.02.

Роботи з ущільнення ґрунту під час спорудження об'єктів здійснюються із дотриманням вимог з безпеки прилеглих об'єктів техногенного середовища. Одностороннє ущільнення ґрунту в пазах котлованів біля стін дозволяється лише після досягнення бетоном необхідної міцності. Ущільнювати ґрунт трамбуванням поблизу підпірних стін фундаментів, інженерних комунікацій треба на відстані і згідно порядку, які вказані в ПВР.

Використання ударного інструменту є можливим на відстані не ближче ніж 5 м від існуючої інженерної комунікації.

Допустимі рівні шуму, вібрації, інфразвуку і низькочастотного шуму в приміщеннях житлових і цивільних будинків та на території, що прилягає до будівельного майданчика, мають відповідати СН 3077, СанПиН 42-120-4948. Санітарно-гігієнічні характеристики повітря робочої зони мають відповідати ГОСТ 12.1.005.

Запитання для самоконтролю

1. Перерахуйте причини обвалення ґрунту під час розробки траншей і котлованів.

2. Як повинні облаштовуватися місця переходу робітників через траншеї?
3. Назвіть мінімальні параметри проходів до робочих місць у котлованах і траншеях.
4. Чи існують в Україні обмеження для підймання вантажів робітниками?
5. За якого критичного рівня звуку забороняється перебування робітників без засобів індивідуального захисту.
6. Які заходи повинні застосовуватися для усунення шкідливого впливу вібрації?
7. Від чого залежить мінімальна відстань розташування будівельних машин – від основи укусу траншеї або котловану?
8. Які ви знаєте вимоги до порядку перебування працюючих у зоні роботи машин з дизельним двигуном?
9. Доведіть на прикладах, що ущільнювати ґрунт можна не лише дотримуючись вимог з безпеки прилеглих об'єктів до виконання робіт, але й дотримуючись збереження навколишнього середовища?

Список літератури

1. *Герсеванов Н. М.* Собрание сочинений / Н. М. Герсеванов. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – т. 2. – 374 с.
2. *Баркан Д. Д.* Виброметод в строительстве / Д. Д. Баркан. – М.: Гиссройиздат, 1959. – 315 с.
3. *Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник* / А.В. Паталеев, С. Я. Боженков, А. А. Бирюков. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – ч.1. – 344 с.
4. *Технология строительного производства: справочник* / под ред. С. Я. Луцкого, С. С. Атаева. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
5. *Неклюдов М.К.* Механизация уплотнения грунтов. – 2-е изд. доп. и перер. / Неклюдов М.К. – М.: Стройиздат, 1985. – 168 с.
6. *Белоногов Л.Б.* Современные методы уплотнения грунтов. Выбор и расчет оборудования: учеб.-метод. пособие / Л.Б. Белоногов, Л.В. Янковский. – Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 136 с.
7. *Хархута Н.Я.* Машины для уплотнения грунтов / Н.Я. Хархута. – Л.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
8. *ТКП 45-5.01-107-2008.* Грунтовые основания, уплотнение тяжелыми трамбовками. Правила проектирования и устройства. – Минск, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 29 с.
9. *Уплотнение грунтов обратных засыпок в стесненных условиях строительства.* – М.: Стройиздат, 1981. – 220 с.
10. *Абелев, М.Ю.* Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений / М.Ю. Абелев. - М.: Стройиздат, 1973. – 228 с.
11. *Методы ускорения стабилизации земляного полотна при строительстве дорог на болотах: обзорная информация автомобильные дороги.* – М.: Минавтодор РСФСР, ЦБНТИ, вып. 5, 1984. – 39 с.
12. *Яресько В. Н.* Банников М. Д. Сеськов В.И. Опыт применения предварительной консолидации и временной пригрузки / Яресько В.Н. Банников М. Д. Сеськов В.И. – М., 1976 – (Тр./Союздорнии; вып. 91).
13. *An economic assessment of methods of accelerating the consolidation of natural soils.* – TRRL Supplementary-Report, 1977, № 203.
14. *Menard L.* La consolidation dynamique des sols de foundation // Annales del'YTBTP, 1974. – № 320, sept. – P.194 – 222.

15. *Маринеску К.* Модифицированный способ интенсивного динамического уплотнения слабых грунтов / К. Маринеску // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1986. – № 2. – С. 26 - 28.

16. *Уплотнение* просадочных грунтов / В.И. Крутов, В.Г. Галицкий, А.А. Мусаелян; под ред. Крутова. – М.: Стройиздат, 1974. – 208 с.

17. [http:// www.ледубосс.рф/wp-content/uploads/2011/01/instruktsiya](http://www.ледубосс.рф/wp-content/uploads/2011/01/instruktsiya)

18. [http:// www.cofra.com](http://www.cofra.com)

19. [http:// www.mehard-web.com](http://www.mehard-web.com)

20. *Babak Hamidi* Advances in dynamic compaction / Babak Hamidi, Hamid Nikraz, Serge Varaksin // Proceedings of Indian Geotechnical Conference, December 15-17, 2011.

21. *ДСТУ Б А.1.1-25-94.* Ґрунти. Терміни та визначення. – [Чинний від 01.10.1994]. – К.: Держбуд України, 2001. – 52 с.

22. *ДСТУ Б.В.2.1-2-96.* (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація. – [Чинний від 01.07.1996]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування та архітектури, 1997. – 51 с.

23. *ДСТУ Б. В. 2.1-3-96.* (ГОСТ 30416-96) Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення. – [Чинний від 01.04.1997]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування та архітектури, 1997. – 26 с.

24. *ДСТУ Б В.2.1-4-96.* (ГОСТ 12248-96) Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. – [Чинний від 01.04.1997]. – К.: Державний комітет України в справах містобудування та архітектури, 1997. – 102 с.

25. *ДСТУ Б В.2.1-5-96.* (ГОСТ 20522-96) Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. – [Чинний від 01.01.1997]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування та архітектури, 1997. – 29 с.

26. *ДСТУ Б.В.2.1-6-2000.* (ГОСТ 30672-99). Ґрунти. Польові випробування. Загальні положення. – [Чинний від 01.01.2001]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 9 с.

27. *ДСТУ Б.В.2.1-7-2000.* (ГОСТ 20276-99) Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості. – [Чинний від 01.03.2001]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2001. – 81 с.

28. *ДСТУ Б.В.2.1-9-2002.* (ГОСТ 19912-2001) Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. – [Чинний

від 01.10.2002]. – К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2002. – 24 с.

29. *ДБН А.3.1-5-2009*. Організація будівельного виробництва. – [Чинний від 2012-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 61 с.

30. *ДБН А.3.2.-2-2009*. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. – [Чинний від 2013-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 94 с.

31. *ГОСТ 24846-81*. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений (Грунты. Методи вимірювання деформації основ будівель і споруд). – [Введ. с 01.01.1982]. – М.: Государственный стандарт союза СССР, 1982. – 16 с.

32. *ДСТУ Б В.2.1-17:2009*. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – [Чинний від 01.10.2010]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.

33. *СНиП 3.02.01-87*. Земляные сооружения, основания и фундаменты (Земляні споруди, основи і фундаменти). – [Введ. 1988-07-01]. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 74 с.

34. *ДБН В.2.1-10-2009*. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – [Чинний від 01.07.2009]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 101 с.

35. *ДБН В.2.3-4:2007*. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – [Чинні від 01.03.2008]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.

36. *ГОСТ 22733-77*. Грунты. Методы лабораторного определения максимальной плотности. – [Введ. с 01.07.1978]. – М.: Государственный комитет совета Министров СССР по делам строительства, 1978. – 7 с.

37. *ГОСТ 23061-90*. Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности. – [Введ. с 01.09.1990]. – М.: Государственный строительный комитет СССР, 1990. – 26 с.

Навчальне видання

ТЕРНОВИЙ Віталій Іванович
УМАНЕЦЬ Ірина Михайлівна
САУШЕВА Людмила Семенівна
МОЛОДІД Олександр Станіславович

УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

Навчальний посібник

Редагування та коректура *М.С. Степанової*

Комп'ютерне верстання *І.С. Аршинкіної*

Підписано до друку 15.12.2015. Формат 60 × 84 _{1/16}
Ум. друк. арк. 7,44. Обл.-вид. арк. 8,0.
Тираж 50 прим. Вид. № 22/І-15. Зам. 78/1-15

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680
E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

Навчальний посібник



Київ 2015

