

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Кафедра гідротехнічного будівництва

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з освітньої компоненти
«Будівництво в складних умовах»

для студентів другого (магістерського) рівня, спеціальності
194 **«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та
водні технології»** ОП «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»

УДК 69.058.5

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»
Вченою Радою Інституту
гідротехнічного будівництва
та цивільної інженерії**

Укладачі:

**Слободянюк В.П., к.т.н., доц.
Великий Д.І., ас.**

Рецензенти:

**К.т.н., доц. кафедри Автомобільних доріг та
аеродромів ОДАБА**

Лопіна О.І.

Директор, ГАП ЧП «Ретроград»

Опрятова І.І.

**Відповідальний за випуск: завідуючий кафедрою Гідротехнічного
будівництва Осадчий В.С., к.т.н., доц.**

ЗМІСТ

I . ВСТУП	4
I.1 Основні принципи будівництва в зоні слабких ґрунтів	4
I.2 Класифікація слабких ґрунтів	6
I.3 Основні характеристики слабких ґрунтів	9
II. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ КОНСОЛІДАЦІЇ ҐРУНТІВ	17
II.1 Первинна і вторинна консолідація ґрунтів	17
II.2 Основні положення й допуски фільтраційної консолідації	18
II.3 Одномірна задача фільтраційної консолідації	20
II.4 Обґрунтування проектних рішень	21
III. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОСАДКИ НАСИПУ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ	25
III.1 Загальні зауваження	25
III.2 Прогноз процесу осадки основи насипу з часом	27
IV. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ОСТАТОЧНОЇ ОСАДКИ ТА СТІЙКОСТІ НАСИПУ (графоаналітичним методом)	32
IV.1 Вихідні дані	32
IV.2 Розрахунок кінцевої осадки слабкої основи	32
IV.3 Перевірка стійкості слабких ґрунтів в основі насипу	38
V. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ПІЩАНИХ ПАЛЬ ...	44
VI. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАСИПУ НА ШАРІ ІОЛЬДІЄВИХ ГЛИН	49
VII. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАСИПУ НА ШАРІ ТОРФУ	51
VIII. ДОДАТОК	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

I.1 Основні принципи будівництва в зоні слабких ґрунтів

– до слабких відносять зв'язні ґрунти, стійкість до зсувів яких (в умовах природного залягання, при випробуванні приладом обертального зрізу) менше 0,075 МПа, питомий опір статичному зондуванню конусом з кутом при вершині $\alpha = 30^\circ$ менше 0,02 МПа або модуль осадки при навантаженні 0,25 МПа більше 50 мм/м (модуль деформації нижче 5 МПа). У разі відсутності таких випробувань до слабких ґрунтів слід відносити торф і заторфовані ґрунти, мули, сапропелі, глинисті ґрунти з коефіцієнтом консистенції більше 0,5 тощо.

– в основу проектного рішення на ділянці залягання слабких ґрунтів може бути покладено один з двох принципів:

1 – видалення слабого ґрунту та заміна його або застосування естакад;

2 – використання слабого ґрунту як основи насипу із застосуванням заходів, що забезпечують стійкість основи й прискорення його осадки, а також міцність елементів конструкцій, що зводяться на цій основі.

– на стадії розроблення інженерного проекту конструкцію фундаментів слід обґрунтовувати поетапно. На етапі обґрунтування інвестицій доцільно розглядати такі варіанти конструкцій, уточнення яких на стадії інженерного проекту й робочої документації давали б можливість знизити будівельну вартість без зниження рівня надійності.

– для обґрунтування вибору конструкції фундаменту проект повинен включати:

1. матеріали докладного інженерно-геологічного обстеження ґрунтової товщі на ділянках залягання слабких ґрунтів, зокрема дані про потужність окремих шарів і розташування їх у плані і за глибиною, а також дані з розрахункових значень фізико-механічних характеристик ґрунтів цих шарів, залягання рівня ґрунтових вод тощо;
2. вихідні дані для проектного фундаменту;

3. результати інженерних розрахунків, що обґрунтовують запропоновану конструкцію;

4. вказівки щодо порядку спорудження запроектованої конструкції.

- з метою оптимізації проектних рішень і процесу інженерно-геологічних пошуків останні треба організувати в тісному зв'язку з проектуванням як єдиний комплексний процес.

Зауваження 1.1. Відповідно до чинних норм при проектуванні насипу на ділянках залягання слабких ґрунтів можуть застосовуватися індивідуальні рішення, а також індивідуальна прив'язка типових рішень при відповідних обґрунтуваннях. Наприклад, індивідуальне проектування земляного полотна автомобільних доріг на слабких ґрунтах передбачає:

1. призначення геометричних параметрів насипу з урахуванням забезпечення його стійкості та запобігання неприпустимих вертикальних деформацій за величиною та інтенсивністю у випадку повного або часткового збереження слабких ґрунтів в основі;

2. призначення додаткових заходів для забезпечення цих умов і прийняття відповідних технологічних регламентів.

Зауваження 1.2. Так як метою цих методичних вказівок є забезпечення виконання **навчального** (курсового) проекту з дисципліни «Будівництво в складних умовах», всі рішення в цій роботі будуть прийматися тільки відповідно до **індивідуального завдання**.

Це завдання складається з 2 частин: 1 – оцінка стійкості та прогноз осадки слабого ґрунту в основі насипу; 2 – розрахунок піщаних паль в основі насипу, виконаного на двох типах слабких ґрунтів, що часто зустрічаються: а) слабкі (іольдієві) глини і б) водонасичений торф.

Вихідні дані, оформлені у вигляді індивідуального завдання, містять ряд припущень, що прискорюють розрахунки, але не порушують логіку виконання реальних проектів. Зокрема, ми обмежимося лише найпростішими випадками фільтраційної консолідації, ввівши деякі спрощення, застосовані в курсовому проекті, і які будуть розглянуті в розділі II.1.

I.2 Класифікація слабких ґрунтів

Залежно від складу, фаціально-генетичних і петрографічних особливостей, а також стану слабкі ґрунти слід поділяти на:

- групи за вмістом органічних речовин;
- види за генетико-фаціальними та петрографічними особливостями;
- підвиди за особливостями складу;
- різновиди за особливостями стану (щільності та вологості).

Схема загальної галузевої класифікації слабких ґрунтів для будівництва наведена в табл. I.1.

Кількісні критерії для зазначених класифікаційних показників і одиниць, їх найменування наведені для основних видів слабких ґрунтів у зазначеній таблиці.

Таблиця I.1 Загальна класифікація слабких ґрунтів

Група за вмістом органічних речовин	Вид за генетико-фаціальними і петрографічними особливостями		Підвид за вмістом		Різновид за станом	
	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака (вологість, W , % або показник плинності I_L)
1	2	3	4	5	6	7
Органічні ($P > 60\%$)	Торф малопопільний	$P \geq 95\%$	Волокнистий	$\Phi > 75\%$	Сухий	$W < 300\%$
					Маловологий	300 - 600 %
	Торф середньої попільності	$95\% > P \geq 80\%$	Маловолокнистий	$75\% \geq \Phi \geq 60\%$	Середньої вологості	600 - 900 %
	Торф високопопільний	$80\% > P > 60\%$	Неволокнистий	$\Phi < 60\%$	Надмірно вологий	1200 - 2500 %
	Органосапропель	$P > 60\%$			Маловологий	$W < 200\%$
					Середньої вологості	200 - 500 %
					Дуже вологий	500 - 1000 %
					Надмірно Вологий	$W > 1000\%$

Група за вмістом органічних речовин	Вид за генетико-фаціальними і петрографічними особливостями		Підвид за вмістом		Різновид за станом	
	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака (вологість, W , % або показник плинності I_L)
1	2	3	4	5	6	7
Органо мінеральні ($10\% \leq P \leq 60\%$)	Органо мінеральний сапропель	$60\% > P > 10\%$	-	-	Маловологий	$W < 150\%$
					Середньої вологості	150 - 400 %
					Дуже вологий	400 - 900 %
					Надмірно вологий	$W > 900\%$
	Болотний мергель	$10\% < P < 60\%$ $CaCO_3 > 25\%$	-	-	Маловологий	$W < 100\%$
					Середньої вологості	100 - 300 %
					Дуже вологий	$W > 300\%$
	Торф'янисті ґрунти	$30\% < P < 60\%$	Супісок	$1 \leq I_p < 7$	А	$0,5 < I_L < 0,75$
	Дуже заторфовані	$20\% < P < 30\%$	Суглинок	7 - 17	Б	0,75 - 1,0
					В	1,0 - 1,5
			Бідна глина	17 - 27	Г	1,5 - 2,0
	Заторфований	$10\% < P \leq 20\%$	Жирна глина	> 27	Д	2,0 - 2,5
					Е	2,5 - 3,0
					Ж	3,0 - 3,5
Мінеральні ($P \leq 10\%$)	Мул морський	-	-	-	А	$0,5 \leq I_L < 0,75$
	Мул озерний	-	-	-	Б	0,75 - 1,0
	Мул алювіальний	Комплекс фаціально-генетичних і петрографічних характеристик ($P < 10\%$)	Супісок	$1,0 \leq I_L < 7,0$	В	1,0 - 1,5
	Мокрий солончак	-	Суглинок	7,0 - 17	Г	1,5 - 2,0
					Д	2,0 - 2,5
						2,5 - 3,0
	Перезволожений глинистий ґрунт	-	Глина	> 17	Ж	3,0 - 3,5

Група за вмістом органічних речовин	Вид за генетико-фаціальними і петрографічними особливостями		Підвид за вмістом		Різновид за станом	
	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака	Назва	Визначальна ознака (вологість, W , % або показник плинності I_L)
1	2	3	4	5	6	7
	іольдієва глина	-	-	-	А	$W_{отн} < 1,0$
					Б	$1,0 \leq W_{отн} < 1,5$
					В	$1,5 \leq W_{отн} < 2,5$

Примітки:

1. Для відділення болотного мергелю від органомінерального сапропелю необхідно визначити зміст CaCO_3 .
2. Поряд із зазначеним у гр. 3 визначальною ознакою для встановлення виду слабого ґрунту використовується комплекс даних з фаціально-генетичних та петрографічних особливостей, що встановлюються в процесі дослідження.
3. P – втрати при прожарюванні,%; Φ – ступінь волокнистості,%; I_p – число пластичності; W - природна вологість,%; I_L – показник плинності; $W_{отн} = W / WL$ – відносна вологість; WL – вологість на межі плинності, %.
4. Ступінь волокнистості Φ вираховується через ступінь розкладу D_{dp}' , що визначається за допомогою мікроскопа, за формулою: $\Phi = 100 - D_{dp}'$, %. Під час визначення ступеня розкладання ваговим методом ступінь волокнистості Φ слід встановлювати за формулами $\Phi = 88 - 0,42 D_{dp}'$ при $D_{dp}' < 50\%$; $\Phi = 118 - 0,32 D_{dp}'$, при $D_{dp}' > 50\%$. При визначенні D_{dp}' використовується сито 0,25 мм.

I.3 Основні характеристики слабких ґрунтів

А) Характеристики стисливості ґрунту

– характеристики стисливості слабких ґрунтів у лабораторних умовах визначають за результатами випробувань зразків з непорушеною структурою в компресійних приладах (тобто в умовах одновимірного стискання).

Експериментально визначається залежність між докладеним навантаженням P_i і коефіцієнтом пористості ґрунту (e), а також відносною деформацією (λ), модулями осадки (e) або деформації (E).

У розрахункових методах, рекомендованих цими Методичними вказівками, як показник стисливості використовується модуль осадки (e_p) і модуль деформації (E_p).

– модуль загальної деформації ґрунту пов'язаний з навантаженням функціональної залежності

$$E_{pi} = \frac{P_i}{\lambda_i}, \quad (I.1)$$

де p_i – навантаження, що стискає;

λ_i – відносна деформація під час цього навантаження.

Відносна деформація, виражена в промілях, називається модулем осадки (e_p)

$$e_{pi} = \frac{\Delta h_i}{h} \cdot 1000, \text{ мм/м} \quad (I.2)$$

де: Δh_i – деформація зразка;

h – початкова висота зразка.

Особливістю слабких ґрунтів є нелінійність залежності модуля деформації й осадки від навантаження. Суттєвою особливістю характеру стисливості природних ґрунтів є наявність так званої структурної міцності ґрунту на стискання, природа якої зумовлюється видом ґрунту, його вихідним станом і структурою. У зв'язку з цим для прогнозу осадки слабких ґрунтів, крім зазначених вище деформаційних характеристик, необхідно визначати величину структурної міцності стискання (p_{cmp}). Вона визначається шляхом побудови компресійної кривої виду $e_i = f(\lg P_i)$. Точка очевидного перелому компресійної кривої після

початкового прямолінійного відрізка відповідає структурній щільності ґрунту на стискання.

За результатами випробувань ґрунтів на компресію можна отримати три види початкового відрізка компресивної кривої $e_i = f(\lg P_i)$: 1 – горизонтальний; 2 – слабо похилий; 3 – різко похилий до осі $\lg P_i$. У першому випадку (горизонтальний початковий відрізок) структурну міцність на стискання $P_{\text{стр}}$ визначають графічно наступним чином (див. рисунок I.1).

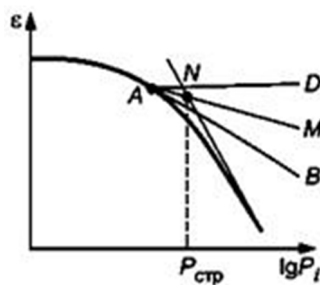


Рисунок I.1 – Графік визначення структурної міцності ґрунту на стискання. Знаходять точку A – точку різкої зміни кривизни (перегину) кривої $e_i = f(\lg P_i)$. Через цю точку проводять дотичну AB і горизонтальну лінію AD, потім бісектрису AM кута BAD. Прямолінійний відрізок компресійної кривої екстраполюють до перетину з бісектрисою AM і отримують точку N. Значення P , що відповідає цій точці, приймають за структурну міцність ґрунту на стискання $P_{\text{стр}}$.

У другому випадку (слабо нахилений початковий відрізок) структурну міцність ґрунту на стискання $P_{\text{стр}}$ визначають так як і в першому випадку за зміною кривизни кривої $e_i = f(\lg P_i)$, нехай і не так очевидно вираженої. Орієнтовно значення P , що відповідає точці перегину, може бути прийнято за $P_{\text{стр}}$.

У третьому випадку (різко нахилений відрізок) структурна міцність на стискання для цього ґрунту відсутня і її не визначають.

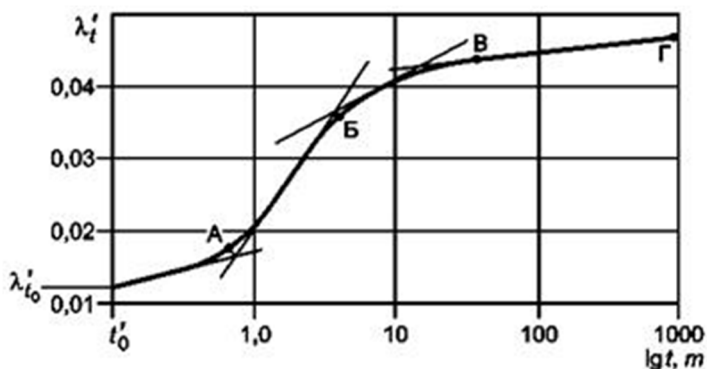
Б) Характеристики ущільнення ґрунту в часі

– на характер осадки і швидкість, з якою вона відбувається, впливають: початковий стан ґрунту, його фільтраційні й деформаційні властивості, а також величина, що ущільнює навантаження на ґрунт, і режим її застосування. Тому при індивідуальному проектуванні насипів на слабкій основі в кожному конкретному

випадку на розрахункових поперечниках повинні бути проаналізовані умови статичного ущільнення розрахункових шарів слабкої товщі і виділена активна зона.

– критерієм створення умов, за яких може розпочатися механічне відтискання порової води, для торф'яних і повністю водонасичених глинистих ґрунтів може стати початковий градієнт фільтраційної консолідації ($i_{н.ф.к}$). Цей комплексний параметр є функцією фізичних властивостей ґрунту, структурної щільності на стискання, початкового градієнта фільтрації та надлишкового порового тиску у воді.

– метод визначення навантаження (P_ϕ), при якому забезпечується виникнення $i_{н.ф.к}$, полягає в проведенні консолідаційних випробувань ідентичних зразків з різними умовами дронування під різними навантаженнями, що ущільнюються. Навантаження (P_ϕ), з яких криві консолідації зразків виду $\lambda = f(\lg t)$ з різними шляхами фільтрації розходяться, і буде величиною, яку шукали. Отримана величина (P_ϕ) порівнюється з навантаженням, що існує, від насипу (P_z) на розрахунках горизонтів в основі. Якщо $P_z > P_{сmp}$, але $P_z < P_\phi$, то осадка ґрунту буде відбуватися без витіснення води, тобто ґрунт буде ущільнюватися в умовах закритої системи. Якщо $P_z > P_{сmp}$ і $P_z > P_\phi$, то буде спостерігатися фільтраційна консолідація, тобто осадка відбудеться в умовах відкритої системи. При цьому виключається необхідність визначення початкового градієнта фільтрації, так як ця властивість ґрунту враховується автоматично в досліді на консолідацію.



А, Б, В – точки переходу з одного етапу консолідації в інший

Рисунок І.2 Визначення меж етапів консолідації

Умовний час початку деформації (t_0') і умовно миттєву відносну деформацію (λ_{t_0}') отримують інтерполяцією дослідної кривої консолідації до перетину з віссю I (вісь відносної деформації) (див. рисунок [1.2](#)).

Ступінь консолідації на етапах розраховують від початку етапу до його закінчення. За 100%-вий ступінь консолідації кожного етапу приймають закінчення етапу (точки А, Б, В, Г). За 100% -вий ступінь консолідації всього процесу консолідації (до моменту досягнення умовної стабілізації деформації) приймають точку Г.

У цілому консолідаційна крива виду $\lambda = f(\lg t)$ може складатися з 4-х ділянок після умовно-миттєвої осадки: перший відрізок відображає дофільтраційну консолідацію; другий відрізок (вигнутий) відображає первинну фільтраційну консолідацію; третій відрізок (вигнутий) відображає вторинну фільтраційну консолідацію; четвертий відрізок (прямий) відображає консолідацію об'ємної повзучості.

На першому етапі консолідації швидкість осідання слабкого ґрунту не пов'язана з виникненням надлишкового тиску в поровій воді і тільки при певному співвідношенні властивостей ґрунту та величини, що ущільнює навантаження, створюються умови для механічного витискання вільної порової води, у якій виникає поровий тиск.

На другому етапі консолідації на швидкість осідання слабкого ґрунту, головним чином, впливає швидкість фільтрації вільної води, що відтискається, рух якої пояснено законом Дарсі.

На третьому етапі консолідації на швидкість осадки слабкого ґрунту істотно впливає в'язкопластичне відтискання зв'язаної води, рух якої до поверхні, що дринується, не піддається закону Дарсі.

На четвертому етапі консолідації швидкість осадки слабкого ґрунту зумовлюється в'язкопластичним зрушенням частинок (або агрегатів), тобто в'язкою об'ємною повзучістю. При цьому може бути незначне місцеве

видавлювання дірчатозв'язаної води на поверхні ґрунту, що не суттєво впливає на інтенсивність ущільнення і яке не потрібно враховувати при прогнозі осадки.

– залежно від структури ґрунту, його початкової вологості та щільності, фізико-механічних властивостей, величини та режиму докладання навантаження, умов дренажу й градієнта напору процес консолідації його (ґрунту) може складатися з меншої кількості етапів (два або три) і в різному їх поєднанні.

– на першому етапі консолідації консолідаційним параметром є кутовий коефіцієнт першого прямого відрізка в логарифмічному циклі до осі часу (m_i). На другому етапі консолідації консолідаційними параметрами є коефіцієнт консолідації (C_{2u}) або консолідаційний параметр (b_λ), що визначає умови переходу від даних лабораторних випробувань до натури. На третьому етапі консолідації консолідаційним параметром є коефіцієнт консолідації (C_{3u}) або показник ступеня консолідації (n), який також визначає перехід до натури. На четвертому етапі консолідації консолідаційним параметром є кутовий коефіцієнт останнього прямого відрізка в логарифмічному циклі до осі часу (m_4).

В) Характеристики міцності слабких ґрунтів

– основною особливістю роботи слабого ґрунту на зрушення в основі насипу є їх робота протягом тривалого часу в умовах незавершеної консолідації.

Тестовані методи випробувань на зрушення передбачають, що для обліку неконсолідованого стану при розрахунках буде відома величина порового тиску. Наявність у слабких ґрунтів різних відрізків кривої консолідації і труднощі з визначенням і контролем порового тиску в натурі свідчать про те, що для проектування земляного полотна автомобільних доріг на слабких ґрунтах тестовані методи зсувних випробувань не дають можливості прогнозувати опірність зрушенню на всіх ділянках. Тому рекомендується використовувати метод «щільності-вологості». Метод дозволяє визначати рухливі характеристики як при висхідній (або заданій) структурі і висхідній (або заданій) щільності-вологості, так і на будь-якій стадії консолідації.

– основне рівняння опірності ґрунту зрушенню в цьому методі має вигляд тричлена:

$$S_{pw} = p \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + c_c + \Sigma_w, \quad (1.3)$$

де j_w – кут внутрішнього тертя ґрунту за вологості W на момент зрушення;

c_c – частина загального зчеплення, яка структурно не відновлюється;

Σ_w – частина загального зчеплення, яка відновлюється, зумовлена колоїдними зв'язками, при вологості W на момент зрушення;

p – нормальне напруження при зрушенні.

– з практичною метою при будь-яких значеннях c_c використовують рівняння у вигляді двочлена:

$$S_{pw} = p \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + c_w, \quad (1.4)$$

де c_w – загальна (повна) величина структурного зчеплення ґрунту при вологості ґрунту W .

Методика проведення випробувань зрушення слабких ґрунтів за методом «щільності-вологості» на приладах прямого зрушення викладається в лекційному курсі.

Г) Типи слабкої товщі за умовами залягання

– характер поведінки слабого ґрунту в основі насипу залежить не тільки від властивостей слабого ґрунту, але й від умов його залягання. Останні характеризуються особливостями будови слабкої товщі. При оцінюванні особливостей будови слабкої товщі слід враховувати:

- ✓ міцність слабкої товщі, від якої залежать характер напружень від споруди по глибині, кінцева осадка та її тривалість, а також ступінь стійкості основи;
- ✓ наявність і характер шаруватості слабкої товщі (різні за фізико-механічними властивостями слабкі ґрунти в межах товщі, перешарування з міцними ґрунтами, витриманість окремих шарів за міцністю тощо);
- ✓ умови витискання води з товщі при її ущільненні (умови дренажування), від яких залежить тривалість осадки;
- ✓ обрис покрівлі порід, що підстилають слабку товщу, від якого може залежати стійкість основи і рівномірність осадки;

- ✓ розташування слабкої товщі (наявність міцних ґрунтів, що перекривають), від якого залежить ступінь стійкості основи, величина осадки та її тривалість;
- ✓ рівень ґрунтових вод для обліку зважування ґрунту.

Д) Вибір варіантів конструктивних рішень

Залежно від типу умов порівнюються за техніко-економічними показниками різні варіанти конструктивних вирішень. При цьому розглядається питання про застосування типових конструкцій або про необхідність індивідуального рішення. Таким чином зіставляються такі варіанти:

Умови І типу:

Насипи, зведені безпосередньо на природній основі (слабкій товщі) без додаткових заходів.

Насипи, що зводяться на слабкій товщі з додатковими заходами щодо прискорення осадки:

- а) насипи з тимчасовим довантаженням;
- б) вбудовування вертикальних піщаних паль і дренажних прорізів;
- в) часткове видалення слабкого ґрунту.

Насипи з повним видаленням слабкого ґрунту (механічним, гідромеханічним або вибуховим способом).

Умови II типу:

Ті ж рішення, що й при умовах I типу. У тих випадках, коли слабкий ґрунт повністю або частково використовується як основа насипу, необхідно передбачати спеціальні технологічні або конструктивні заходи щодо забезпечення стійкості основи.

Таким технологічним заходом є зведення насипу з певною інтенсивністю, що забезпечує попередню консолідацію ґрунту основи.

Конструктивними заходами можуть бути:

- уположування укосів насипу;
- спорудження насипу з привантажувальними бермами;
- часткове видалення слабкого ґрунту;

спорудження легких насипів;
насипи на настилах;
насипи на палях.

Умови III типу:

Як варіанти вирішення повинні бути розглянуті:

- а) посадка насипу на міцний ґрунт або видалення найбільш слабого шару шляхом видавлювання вагою насипу слабого ґрунту вбік;
- б) посадка насипу на міцний ґрунт із застосуванням вибухів під насипом.

При використанні методу відтискання слабого ґрунту насипом товщина насипного шару, необхідного для відтискання слабого ґрунту з-під насипу, орієнтовно може бути визначена за формулою:

$$h_0 > \frac{c_W \cdot b_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{н}} \cdot H \left(1 - \frac{\text{tg} \varphi_W \cdot b_{\text{ф}}}{H} \right)}, \quad (I.5)$$

де c_W – розрахункова величина зчеплення ґрунту основи;

j_W – кут внутрішнього тертя ґрунту основи;

$g_{\text{н}}$ – об'ємна вага ґрунту насипу;

$b_{\text{ср}}$ – напівширина насипу за середньою лінією;

H – потужність (сила) слабого шару.

Товщина насипного шару у всіх випадках не повинна бути меншою:

$$h_{0\text{min}} > \frac{6 \cdot c_W}{\gamma_{\text{н}} (1 - 6 \text{tg} \varphi)}. \quad (I.6)$$

Якщо для розрахунку використовуються результати випробування ґрунту крильчаткою, необхідно замість формул (I.5) і (I.6) застосувати відповідно формули (I.7) і (I.8):

$$h_0 > \frac{c_{\text{усп}} \cdot b_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{н}} \cdot H}, \quad (I.7)$$

$$h_{0\text{min}} > \frac{6 \cdot c_{\text{усп}}}{\gamma_{\text{н}}}, \quad (I.8)$$

де $c_{\text{ум}}$ – величина опірності ґрунту зрушення (зсуву), визначена з допомогою крильчатки.

Враховуючи ущільнення слабого ґрунту й зниження його вологості в процесі зведення насипу, рекомендовано періодично контролювати величину $c_{\text{ум}}$ шляхом випробування крильчаткою та вносити відповідні поправки в розрахунок.

II. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ КОНСОЛІДАЦІЇ ҐРУНТІВ

II.1 Первинна і вторинна консолідація ґрунтів

Відомо, що стабілізація деформацій відбувається протягом певного періоду часу, тривалість якого залежить від типу ґрунту і в першу чергу від його фільтраційних властивостей. Тривалість періоду деформування ґрунтів може становити роки, десятиліття і навіть сотні років. Так, наприклад, деформування ґрунтів основи Пізанської вежі в Італії були зафіксовані і в наш час, тобто після більш ніж 400 років експлуатації.

Тривалість процесу деформування ґрунту обумовлюється:

1. часом, необхідним для фільтрації надлишкової порової води при ущільненні ґрунту,
2. в'язкопластичним характером водно-колоїдних зв'язків між частинками ґрунту.

Дійсно, у водонасичених ґрунтах, пори яких практично повністю заповнені водою, ущільнення (зменшення об'єму пор) може відбутися лише тоді, коли частина порової води буде видалена (відтиснута) за межі шару ґрунту, що стискається. В цьому випадку ущільнення ґрунтової основи буде прямо залежати від швидкості відтискання надлишкової порової води, тобто від швидкості фільтрації. Тому ґрунти з низькою фільтраційною здатністю (пилувато-глинисті ґрунти) деформуються дуже повільно. І навпаки, ґрунти (піски), що добре фільтрують, деформуються швидко і час настання стабілізованої осадки рідко перевищує час будівництва.

Процес ущільнення ґрунтового масиву з одночасним відтисканням надлишкової порової води називається фільтраційною (або первинною) консолідацією.

Але не тільки водонасичені глинисті ґрунти повільно деформуються в часі. Експерименти свідчать, що і в неводонасичених ґрунтах осадки можуть розвиватися тривалий період. Це пояснюється **повзучістю** скелета ґрунту, яка розвивається через реологічні властивості водно-колоїдних зв'язків між частинками дрібнодисперсних ґрунтів.

Структурні зв'язки між частинками ґрунту здатні повільно деформуватися в часі при незмінній величині зовнішнього навантаження. У науці такі деформації називаються в'язкопластичними. В цьому випадку процес деформування ґрунту в часі буде залежати від в'язкопластичних властивостей водно-колоїдних зв'язків, товщини плівки зв'язної води, розмірів частин ґрунту, температури.

Процес деформування ґрунту за рахунок повзучості скелета ґрунту називається вторинною консолідацією.

II.2 Основні положення і допущення фільтраційної консолідації

Загальна теорія фільтраційної консолідації є одним з найбільш складних розділів механіки ґрунтів. Їй присвячені численні теоретичні та експериментальні дослідження вчених усього світу.

Дані, отримані в ході досліджень, свідчать, що на процес фільтраційної консолідації впливають досить багато факторів, таких як:

1. фільтраційні властивості ґрунту;
2. в'язкість води;
3. наявність розчиненого газу у воді;
4. температура ґрунту;
5. деформаційні властивості ґрунту;
6. структурна міцність ґрунту;
7. початковий градієнт напору.

З урахуванням зазначених вище факторів розв'язання задачі фільтраційної консолідації можливе лише із застосуванням чисельних методів розрахунку, заснованих на методі кінцевих елементів або методі кінцевих різниць. Ці методи реалізовані в різних програмних комплексах для ЕОМ за розрахунком осадок ґрунтових основ (Plaxis, SoilWorks та ін).

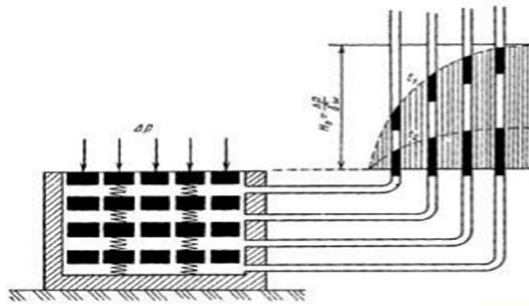


Рис. II.1 Ідеалізована модель водонасиченого ґрунту з урахуванням зроблених припущень

У цьому розділі обмежимося лише найпростішими випадками фільтраційної консолідації, ввівши такі припущення:

1. ґрунт вважаємо повністю водонасиченим ($S_r = 1$), вода в ґрунті вільна, гідравлічно безперервна й нестислива;
2. деформування скелета ґрунту відбувається відповідно до *закону ущільнення*. Цей процес при зміні у ньому ефективних напружень відбувається миттєво;
3. рух води в порах ґрунту повністю підкоряється закону *ламінарної фільтрації*;
4. ґрунт не має структурної міцності.

При додаванні зовнішнього навантаження ΔP на систему поршнів, з'єднаних пружинами, вода, що заповнює камери моделі, буде відтискатися через отвори в поршнях (штампах). Найшвидше вона буде відтискатися з-під верхнього поршня, так як відстань до денної поверхні (дренуючий шар), яку вона долає, значно менша, ніж для води в нижніх камерах.

Надмірний тиск у нижніх камерах буде падати з меншою швидкістю, а п'єзометричний рівень у трубках стане таким, як це показано на рис. II.1. Вся система буде деформуватися зі швидкістю, що прямо залежить від швидкості відтискання води. Аналогічні процеси відбуваються і при консолідації ґрунтового середовища. У різних шарах водонасиченого ґрунту деформування ґрунту буде відбуватися з різною інтенсивністю. Чим більшу відстань необхідно подолати поровій воді для виходу в дреноуючий шар, тим повільніше буде падати поровий тиск, тим довше буде тривати процес фільтраційної консолідації.

II.3 Одномірна задача фільтраційної консолідації

Розглянемо одну з найпростіших задач фільтраційної консолідації, коли на шар водонасиченого ґрунту обмеженої товщини діє суцільне, рівномірно розподілене навантаження, тому шар ґрунту буде перебувати в умовах одномірного стиснення. В цьому випадку, по всій висоті шару повне навантаження, що стискає, буде однаковим, рівним за величиною інтенсивності рівномірно розподіленому навантаженню P , рис. II. 2

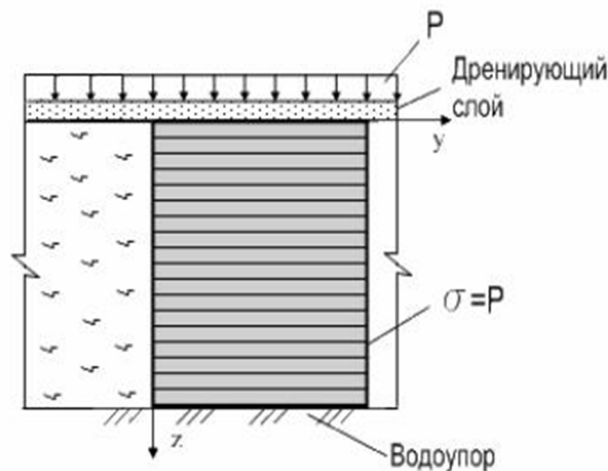
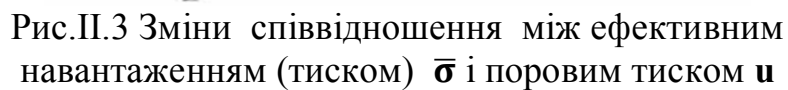


Рис. II.2 Схема розподілу навантаження при одномірній задачі

Як відомо, у водонасичених ґрунтах повне навантаження буде сприйматися частково скелетом, а частково тиском у поровій воді, тобто

$$\sigma = \bar{\sigma} - u \quad (\text{II.1})$$

У міру того, як надлишкова порова вода буде зникати за межі ґрунту, буде змінюватися співвідношення між ефективним тиском $\bar{\sigma}$ і поровим тиском u , рис. II.3:



Насипи на ділянці залягання слабких ґрунтів проектують у наступному порядку:

- Остаточно конструкція земляного полотна на ділянках поширення слабких ґрунтів повинна прийматися на основі техніко-економічних розрахунків альтернативних варіантів.

21

трапеції (рис. II.4). При цьому розподіл напружень у товщині приймається як в однорідному півпросторі.

Призначають спосіб визначення показників механічних властивостей слабких ґрунтів залежно від категорії дороги, термінів будівництва, стадії проектування. При цьому використовують:

1. табличні та довідкові дані на 1-му етапі досліджень;
2. дані польових випробувань на 2-му етапі досліджень;
3. дані лабораторних випробувань на 3-му етапі досліджень.

З урахуванням установлених однорідних шарів, аналізу складу, стану й властивостей слабких ґрунтів, висоти насипу виділяються найбільш характерні розрахункові ділянки на трасі дороги й розрахункові поперечники на них з найгіршими умовами роботи слабких ґрунтів (максимальна висота насипу, максимальна потужність слабкої основи, найбільш слабкі ґрунти, максимальне видалення від водопроникних шарів та ін.).

В неоднорідній товщі нормальне навантаження від власної ваги ґрунту визначають за формулою:

$$\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y = \sum(\gamma_{zp} \cdot h_i), \quad (\text{II.2})$$

де γ_{zp} , і h_i – питома вага й сила шару ґрунту i -го шару.

Для ґрунтів, що залягають нижче рівня ґрунтових вод, слід враховувати сили зважування, використовуючи формулу:

$$\gamma_{zp}^{e3e} = \gamma_{zp} - \gamma_e, \quad (\text{II.3})$$

де γ_{zp}^{e3e} – питома вага ґрунту з урахуванням зважування;

γ_e – питома вага води, що дорівнює 10 кН/м^3 .

Компоненти навантаження в точках основи від трапецеїдального навантаження насипу розраховуються відповідно до схеми (рис. II.4).

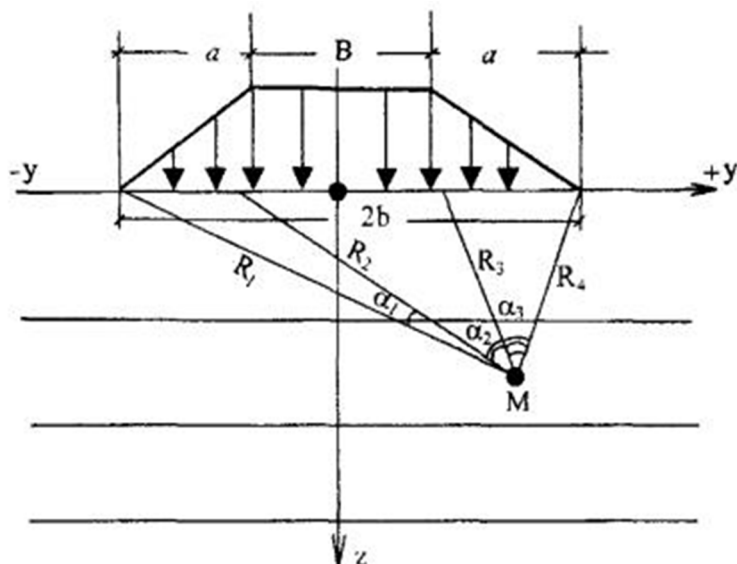


Рис. II.4 Схема для розрахунків компонентів навантажень в основі при трапецеїдальній епюрі навантаження

Для прогнозу кінцевої величини осадки розрахункова схема приймається у вигляді шаруватого масиву, обмеженого знизу межею активної зони стискання, завантаженого з поверхні навантаженням, розподіленим за законом рівнобічної трапеції. Розподіл напружень, що стискають по глибині основи, приймається як в однорідному півпросторі. При цьому розрахунок виконується для осьового створу поперечника насипу на основі схеми (одновимірною компресійного стискання) (рис. II.5)

Для практичних розрахунків компонент напружень у будь-якій точці ґрунтового масиву під навантаженням, розподіленим за тим чи іншим законом, можуть бути використані програми, таблиці та графіки,

Вплив на напружено-деформований стан ґрунтів в основі транспортного навантаження буде враховуватися в нашому випадку у вигляді додаткового статичного навантаження.

Таблиця II.1 Мінімальна висота насипу (м) на торф'яних ґрунтах

Міцність слабкої основи, м	Тип навантаження		
	капітальний	полегшений	перехідний
1	2,0	1,5	1,2
2	2,5	2,0	1,5
4	3,0	2,5	2,0
6	3,0	3,0	2,5

Примітки:

1. Для проміжних значень початкової міцності шару, що стискається, необхідна товщина встановлюється лінійною інтерполяцією.

2. Товщина насипу в цьому випадку визначається як різниця відміток поверхні проїзної частини і підшви насипу, що просіла, по осі земляного полотна. За наявності прихованого шару торфу (шару, який перекрито зверху шаром піщаного або глинистого ґрунту) товщина шару, що перекривається, включається в товщину насипу. Допускається для конструктивних шарів, що мають міцність на розтягнення, враховувати еквівалентну товщину.

III. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ І ПРОГНОЗ ОСАДКИ НАСИПУ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ

III.1 Загальні зауваження

При забезпеченій міцності слабких ґрунтів в основі насипу і стійкості самого насипу осадка обумовлюється їх стисканням (статичним ущільненням). Осадка слабкої товщини розтягнута в часі, тому при прогнозуванні осадки вирішуються два завдання:

1. визначення величини осадки на момент досягнення допустимої її інтенсивності (так званої кінцевої осадки);
2. визначення часу завершення її інтенсивної частини (або необхідного ступеня консолідації).

Кінцева осадка слабкої основи в межах активної зони стискання (встановленої при складанні розрахункової схеми насипу) визначається методом пошарового підсумовування з використанням залежностей для умов одномірної задачі:

$$S = 0,001 \cdot \sum_{i=1}^n e_{pi} \cdot H_i, \quad (\text{III.1})$$

де n – кількість шарів;

H – міцність i -го шару;

e_{pi} – модуль осадки ґрунту i -го шару, знайдений на компресійній кривій при навантаженні P_i , яке дорівнює вертикальному нормальному навантаженню для середини цього шару від ваги насипу (s_{zi}).

Для умов будівництва автомобільних доріг на слабких основах, що найчастіше зустрічаються, при співвідношенні розмірів насипу та міцності слабкого ґрунту, що дорівнює:

$$\frac{H}{b_{cp}/2} = 0,5 - 1,5$$

де b_{cp} – ширина насипу за середньою лінією, для прогнозу осадки справедлива схема одномірного стискання.

– коли відсутні дані компресійних випробувань ґрунтів, то для орієнтовних прогнозів їх кінцевої осадки можна використати табличні значення модуля деформації для того чи іншого різновиду слабого ґрунту. Осадка слабкої товщі в межах активної зони при використанні модуля деформації розраховується за формулою:

$$S = \frac{P \cdot H}{E_{cp}}, \quad (\text{III.2})$$

де H – міцність товщини, що стискається;

P – навантаження на поверхні товщі;

E_{cp} – середньозважений штамповий модуль деформації товщі, що стискається.

– якщо осадка слабкої основи перевищує 50 см, то в розрахунку навантаження від ваги насипу необхідно враховувати вагу частини, що просіла. Оскільки зміна навантаження викликатиме відповідну зміну величини осадки, то новий розрахунок повинен виконуватися методом підбору. Для спрощення такого перерахунку при прогнозі кінцевої осадки методом підсумовування доцільно використовувати графіко-аналітичний спосіб. Порядок операції наступний:

1. задаються двома значеннями навантаження від ваги насипу (більше і менше величини навантаження від насипу запроектованої висоти);
2. визначають компоненти нормальних напружень для середини розрахункових шарів;
3. знаходять за відповідними компресійними кривими модулі осадки для отриманих значень напружень;
4. за вказаною формулою розраховується осадка кожного шару і сумарна в межах активної зони;
5. будують графік осадки шарів і сумарної осадки у вигляді $S = f(P)$;
6. розраховують навантаження залежності від осадки слабкої товщі на її поверхні, задавшись декількома значеннями величини осадки (більше і менше, отриманої для насипу проектної висоти);
7. за результатами цього розрахунку на графік $S = f(P)$ наносять пряму виду $P = f(s)$;

8. за точкою перетину кривої загальної осадки і прямої визначають кінцеву осадку слабкої товщі в межах активної зони і розрахункове навантаження, а за точкою перетину прямої з кривими осадки окремих шарів визначають окремі осадки цих шарів.

За викладеною вище методикою визначається кінцева осадка слабкої основи в межах її активної зони для всіх характерних діаметрів на виділеній ділянці траси. Величина осадки додається до проектної позначки (висоти) насипу, отриманої виходячи з поздовжнього профілю місцевості і типових вимог. Із запасом на осадку розраховується обсяг ґрунту для можливості відсипання насипу до уточненої позначки, виходячи з обліку стисливості слабкої товщі.

III.2 Прогнозування ходу осадки основи насипу в часі

При співвідношенні розмірів насипу та міцності слабого ґрунту, що дорівнює $H/b_{cp}=0,5\div 1,5$, і за умови, коли водопроникненість та швидкість відтискування порової води в горизонтальному напрямку значно менші, ніж у вертикальному, застосовується схема одномірної консолідації.

Відповідно до розрахункової схеми насипу, встановлюється та частина в активній зоні, яка працює в умовах відкритої системи. Для кожного розрахункового шару саме для цієї його частини визначається максимальний шлях фільтрації порової води, що витискається. Прогноз осадки у часі проводиться для найбільш не вигідного шару з точки зору проходження осадки в часі (максимальна тривалість при найбільшій величині осадки). У випадку ускладнень виділення такого шару здійснюють прогноз ходу осадки у часі для декількох слабких шарів основи та орієнтуються на найтриваліший термін завершення осадки при значній її величині.

В результаті прогнозу осадки у часі слабкої основи треба розрахувати час завершення необхідного ступеня консолідації ґрунтів виділених шарів або час досягнення необхідної інтенсивності осадки залежно від типу дорожнього покриття.

Прогноз ходу осадки здійснюється за різними залежностями для відповідних ділянок консолідаційної кривої. Вибір розрахункових формул для прогнозу осадки насипу в часі зумовлюється відрізком консолідаційної кривої, для якого здійснюється прогноз, і залежить від різновиду, стану та властивостей слабких ґрунтів, а також умовами їх роботи в системі «ґрунт-споруда» (величина навантаження, режим її застосування, умови дренажу тощо). Для ділянки дофільтраційної консолідації прогноз осадки визначається, виходячи із залежності:

$$T_{\partial\phi i} = \frac{0,02 \cdot H_{\phi}^2}{C_{u-5\%}}, \quad (III.3)$$

де $T_{\partial\phi i}$ – час досягнення заданої відносної деформації λ_i реальним шаром при розрахунковому навантаженні.

Примітка. Під λ_i розуміється фактична відносна деформація з відніманням умовно миттєвої деформації: $\lambda_i = \lambda - \lambda_{мит}$, де λ – від початку відліку, $\lambda_{мит}$ – вираховується за відомою формулою П.11.

Прогнозування ходу осадки на ділянці первинної фільтраційної консолідації виконують за формулою:

$$T_{u_i} = \frac{N_{u_i} \cdot H_{\phi}^2}{C_{u_i}} + T_{\partial\phi} \quad (III.4)$$

або за формулою

$$T_{u_i} = b_{u_i} \cdot H_{\phi}^2 + T_{\partial\phi}, \quad (III.5)$$

де T_{u_i} – час досягнення заданого ступеня консолідації U_i реальним шаром (або λ_i);

N_{u_i} – коефіцієнт, який залежить від ступеня консолідації і встановлюється за таблицею III.1 для рівномірно розподіленої епюри навантаження;

H_{ϕ} – шлях фільтрації води із шару;

$T_{\partial\phi}$ – час завершення дофільтраційної консолідації;

C_{u_i} – коефіцієнт консолідації, що визначається безпосередньо за консолідаційними дослідженнями (у формулі 29 $U = 5\%$, у формулі 30, якщо не задано, то $U = 50\%$ від фільтраційної консолідації);

b_c – консолидаційний параметр, що визначається за результатами консолидаційних досліджень двох ідентичних зразків з різними умовами дренажування.

Таблиця III.1 Значення коефіцієнта N_u залежно від ступеня консолидації

$U, \%$	N_u	$U, \%$	N_u
20	0,03	70	0,40
30	0,07	80	0,57
40	0,12	85	0,69
50	0,20	90	0,85
60	0,29	95	1,13

Примітка. Ступінь консолидації на ділянці первинної фільтраційної консолидації слід визначати за формулою:

$$U_i = \frac{\lambda - (\lambda_{мгн} + \lambda_{\partial\phi})}{\lambda_{кон} - (\lambda_{мгн} - \lambda_{\partial\phi})}, \quad (III.6)$$

де $\lambda_{кон}$ – максимальна деформація фільтраційної консолидації;

$\lambda_{\partial\phi}$ – максимальна відносна деформація дофільтраційної консолидації.

На ділянці вторинної фільтраційної консолидації прогнозування осадки в часі здійснюють за формулою:

$$T_{u_2} = (t_{u_2} - t_{\partial\phi}) \left(\frac{H_{\phi}}{h_{\phi}} \right)^n, \quad (III.7)$$

де T_{u_2} , t_{u_2} – час завершення заданого ступеня консолидації відповідно до шару й зразка;

$t_{\partial\phi}$ – час завершення дофільтраційної консолидації зразком;

h_{ϕ} – шлях фільтрації води зі зразка;

n – показник ступеня консолидації, що змінюється від 2 до 0, визначається за графіком

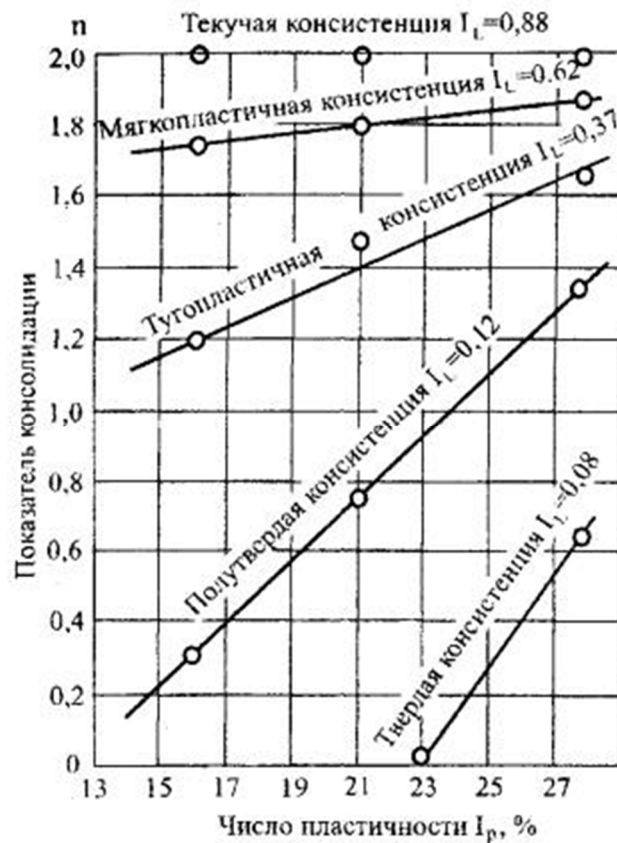


Рис. III.1 Графіки показника консолідації

Для прогнозу швидкості проходження осадки шарів слабких ґрунтів необхідно знання консолідаційних характеристик, які можуть бути визначені за результатами випробувань ґрунтів виділених шарів або за класифікаційними таблицями (для орієнтовних розрахунків).

На ділянці консолідації об'ємної повзучості прогноз досягнення заданого ступеня консолідації слабких ґрунтів може бути виконаний за формулою:

$$\lambda_{\overline{m}} = \lambda_{\phi} + m \cdot \lg \frac{T}{T_{\phi}}, \quad (\text{III.8})$$

де λ_{ϕ} , λ_{Pi} – відносна деформація відповідно на момент закінчення вторинної фільтраційної консолідації T_{ϕ} та на момент часу, який досліджується, на стадії консолідації повзучості T ;

m – консолідаційний параметр, що визначається як тангенс кута нахилу відрізка прямої, що описує етап консолідації повзучості, до осі часу в межах логарифмічного циклу кривої консолідації виду $\lambda = f(\lg t)$.

Прогноз осадки у часі слабких ґрунтів, для яких характерний процес консолідації, що складається з дофільтраційної консолідації і консолідації об'ємної повзучості, може бути здійснений на етапі дофільтраційної консолідації також і за формулою:

$$\lambda_{\partial\phi} = \lambda_{\text{мгн}} + m_1 \cdot \lg \frac{T_{\partial\phi}}{T_{\text{мгн}}}, \quad (\text{III.9})$$

де $\lambda_{\partial\phi}$, $T_{\partial\phi}$ – відносна деформація на етапі дофільтраційної консолідації та час її досягнення (для необхідного ступеня консолідації);

$\lambda_{\text{мит}}$, $T_{\text{мит}}$ – відносна умовно-миттєва осадка та умовно-миттєвий час, що приймається як рівне одиниці вимірювання часу проходження осадки;

m_1 – кутовий коефіцієнт першого прямолінійного відрізка кривої консолідації $\lambda = f(\lg t)$ до осі часу в півлогарифмічному масштабі.

Методика виокремлення етапів консолідації слабких ґрунтів різних різновидів, а також методики визначення консолідаційних параметрів викладені в додатку 2 (Б).

У цілому для встановлення часу досягнення допустимої інтенсивності осадки розрахункового шару (або шарів) основи необхідно побудувати криву консолідації у вигляді $S = f(T)$. Крива $S = f(T)$ будується за допомогою наведених вище формул (29 – 35) для слабких ґрунтів різних різновидів і їх станів. До отриманої кривої консолідації шару проводиться дотична, кут нахилу якої зумовлюється необхідною інтенсивністю осадки (2 см/г або 5 см/г.). Точка дотику прямої і кривої визначить (по осі часу) час досягнення необхідної інтенсивності загасання осадки.

Якщо максимальний час досягнення допустимої інтенсивності осадки для найбільш невідповідних шарів основи на розрахункових поперечниках перевищує заданий термін будівництва й можливу технологічну перерву між закінченням зведення насипу і початком зведення дорожнього покриття, то для ділянок траси з такими діаметрами слід запроектувати заходи для прискорення осадки насипу (тимчасове довантаження, вертикальні дрени, часткова заміна слабого ґрунту, палі-дрени тощо).

IV. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КІНЦЕВОЇ ОСАДКИ І СТІЙКОСТІ НАСИПУ (графоаналітичним методом)

IV.1 Вихідні дані

Вихідні дані, які будуть використовуватися в цьому прикладі для розрахунків осадки і стійкості насипу, наступні:

висота насипу $h = 4$ м;

ширина зверху $B = 12$ м;

закладення укосів $m = 1: 1,5$;

щільність ґрунту насипу $\rho = 2$ т/м³;

слабка мулиста основа, потужність відкладень мулу $H=4$ м. Горизонт ґрунтових вод збігається з поверхнею землі. Шар мулу підстеляє супісок напівтвердої консистенції. Розрахункова схема насипу представлена на рис. IV.1.

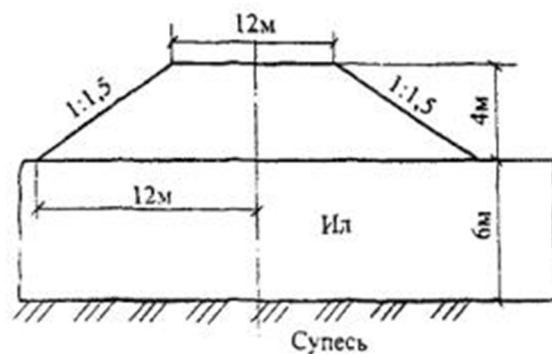


Рис. IV.1. Розрахункова схема насипу

IV.2 Розрахунок кінцевої осадки слабкої основи

Виходячи з умов одномірної задачі, кінцева осадка, що визначається з допомогою методу додавання, розраховується за формулою:

$$S = 0,001 \cdot \sum_{i=1}^n e_{pzi} \cdot H_i, \quad (IV.1)$$

де: S – осадка, м;

0,001 – переводний коефіцієнт;

e_{pzi} – модуль осадки за компресійною кривою зразка (з глибини z_i), що відповідає розрахунковому навантаженню P , мм/м;

H_i – міцність i -го шару, м;

n – кількість шарів, однорідних за навантажувально-деформованим станом.

Розрахункове навантаження від насипу на поверхні слабкої товщини визначається за формулою:

$$P = g_n \cdot h_n, \quad (IV.2)$$

де g_n – питома вага ґрунту насипу, що дорівнює $g_n = \rho \cdot g$, тс/м³;

ρ – щільність ґрунту насипу, т/м³;

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²);

h_n – висота насипу, м.

Графоаналітичний метод, як зрештою й інші близькі методи, базується на ряді припущень, зокрема, його застосування забезпечує результати, близькі до реальних величин, тільки для однорідних за напружено-деформованим станом ґрунтів. Шар ґрунту вважається однорідним, якщо різниця нормальних напружень, підрахованих для його верхньої і нижньої поверхонь, не перевищує 10%. Якщо ж ця різниця більше зазначеної величини, то в цьому випадку досліджуваний шар умовно розділяється на кілька його складових, для кожної із яких повторюється вищеописана процедура.

Перевіримо, чи є необхідність ділити шар мулу на кілька шарів, що відрізняються за величиною вертикальних нормальних напружень та деформативності. Для цього, як уже зазначалося вище, визначимо величини максимальних нормальних напружень на верхній і нижній поверхнях шару мулу.

Навантаження від насипу заданої на верхній поверхні шару мулу P_B складає:

$$P_B = P_0 = h_n \gamma_n g = 4 * 2 * 9,81 = 0,0785 \text{ МПа} \quad (0,785 \text{ кгс/см}^2)$$

Для визначення навантаження на нижній межі шару мулу P_n необхідно, враховуючи геометричні розміри насипу (ширина зверху 12м, висота 4м, і укосах 1: 1,5), визначити безрозмірні параметри, необхідні для користування графіками, наведеними в розділі VIII графіки №№ 1–15 Додатки. Для виразу $2a / B = 2 * 6/12 = 1$ (див. Рис. II.4) вибираємо графік (рис. VIII.4.) розрахункових значень наведених нормальних напружень. Для шару слабкої глини безрозмірні коефіцієнти будуть наступними: $z / (B / 2) = 4 / (12/2) = 4/6 = 0,67$.

Для точки із заданими відносними координатами $u = 2z / B$ $w = 2x / B$ (де z і x – відповідно вертикальна та горизонтальна координати точки в абсолютних одиницях) – при заданій характеристиці обриси епюри навантаження $2a / B$, за обраним графіком, встановлюють значення головних навантажень S_1 і S_2 , що виникають на нижній межі шару мулу від його власної ваги. Слід зазначити, що ці навантаження, котрі подано в графіку рис.VIII.4, виражені в частках P_0 , а саме:

$$\alpha_1 = S_1/P_0 \quad \alpha_2 = S_2/P_0$$

Використовуючи безрозмірні коефіцієнти $U = 0,67$ и $W = 0$, знаходимо:

$$\alpha = P_z/P_0 = 0,95 \quad \text{откуда} \quad P_H = P_z = 0,95 \cdot 0,0785 = 0,0746 \text{ МПа } (0,746 \text{ Кгс/см}^2).$$

У нашому прикладі значення $W = 0$ через те, що найбільш напружена точка для цього конкретного випадку лежить на осі симетрії, де $x = 0$.

ЗАУВАГИ:

- дослідження стану ґрунту основи за запропонованим методом передбачає наявність лінійної залежності між нормальними напруженнями, що виникають на межах шару, і навантаженнями, що існують у цих шарах;
- у процесі обрахувань необхідно чітко контролювати однорідність розмірів складових, що входять у формулу;
- всі раніше виконані обрахування виконувалися для випадку постійної величини міцності ґрунту основи насипу $h_{\text{п}}$. Однак облік реальних геометричних розмірів, зокрема висоти насипу та товщини шару, що підстилає, є нелінійною задачею, яку можна вирішити або методом послідовних наближень, або графіко-аналітичним методом. Перед тим, як почати розбирати простий і надійний метод – графіко-аналітичний, необхідно визначити навантаження, залежно від яких будуть вестися подальші обрахування.

Отримані раніше результати показують, що на верхній межі шару слабкої глини навантаження дорівнює $P_0 = 0,0785$ МПа, у той час як на нижній його межі вона буде дорівнювати $P_z = 0,0746$ МПа. Очевидно, що за величиною це навантаження дорівнює реакції на верхній межі супіску (див. рис.ІІ.4).

Оскільки різниця у величинах модуля осадки і напружень на нижній і верхній межах шару слабкої глини становить менше 10% $(0,0785 - 0,0746) * 100 / 0,0746 = 5,2\%$, то цей шар є умовно однорідним за напружено-деформованим станом.

Відповідно до теорії застосовуваного тут графоаналітичного методу розрахунку величини кінцевої осадки насипу необхідно побудувати графіки $S = f(P)$ і $P = f(S)$, координати яких будуть обчислюватися в 4 етапи, що є умовними і служать, з методичною метою, тільки для наочності процесу обрахунку.

Етап 1. Для побудови графіка $S = f(P)$ необхідно мати як мінімум **3** довільні точки, для яких у цьому прикладі аргументами будуть наступні значення змінних $x_1 = 0,5 * P_{cp}$; $x_2 = 1 * P_{cp}$; $x_3 = 2 * P_{cp}$, де P_{cp} – середнє значення навантаження, спосіб визначення якого (для довільної точки) полягає в наступному: - кожна серединна точка характеризується двома раніше вирахованими значеннями навантаження – **1) P_B** - за верхньою межею підстеленого шару, **2) P_H** - за нижньою межею підстеленого шару і третім навантаженням як половини від перших двох **3) $P_{CP} = (P_B + P_H)/2$** .

Отримані значення зведено в таблицю № IV.1.

Таблиця № IV.1 – Визначення середніх значень навантаження

Навантаження	$0,5 * P_i$	$1 * P_i$	$2 * P_i$
Навантаження за верхньою межею шару P_v	0,03925	0,0785	0,157
Навантаження за нижньою межею шару P_n	0,0373	0,0746	0,1492
Середня величина навантаження P_{cp}	0,038275	0,07655	0,1531

Етап 2. Для ґрунту, що розглядається (у прикладі це ілюстровано), вибирається відповідна компресійна крива (див. Додаток рис. VIII.16), за якою для кожного значення P_{CP} визначаємо модуль осадки e_{pzi} [mm/m].

Заувага : Для іншого типу ґрунту необхідно знайти цю характеристику (компресійну криву) у будь-якому довіднику та узгодити її з керівником проекту.

Отримані з допомогою компресійної кривої результати зводимо в таблицю № IV.2.

**Таблиця № IV.2 Модулі осадки для ґрунту, заданого в прикладі (мул)
для різних за величиною навантажень**

Навантаження	$0,5 * P_z$	$1 * P_z$	$2 * P_z$
Середня величина напруження P_{cp} [МПа]	0,038275	0,07655	0,1531
Модуль осадки e_{pzi} [mm/m]	56	98	150

Етап 3. Маючи модуль осадки e_{pzi} за формулою (IV.1) визначають осадки S для отриманих 3-х значень навантаження за формулою:

$$S = 0,001 \sum_1^n e_{pzi} * H_i \quad [m] \quad (IV.3)$$

$$S_1 = 0,001 * 56[mm/m] * 4[m] = 0,224 [m]$$

$$S_2 = 0,001 * 98[mm/m] * 4[m] = 0,392 [m]$$

$$S_3 = 0,001 * 150[mm/m] * 4[m] = 0,600 [m]$$

Для більшої очевидності результати обрахувань зводимо в таблицю IV.3.

Таблиця № IV.3 Залежність осадок шару мулу від величини навантажень

Навантаження	$0,5 * P_z$	$1 * P_z$	$2 * P_z$
Середня величина напружень P_{cp} [МПа]	0,038275	0,07655	0,1531
Модуль осадки e_{pzi} [см]	22,4	39,2	60,0

За даними Таблиці № IV.3, у відповідній системі координат будуємо графік (Додаток рис. VIII.17) залежності $S_i = f_i(P_i)$.

Етап 4. Графік (рис. VIII.17) отримано в лабораторних умовах шляхом дослідження зразків суворой геометричної форми, у свою чергу формула (IV.2) також виведена, виходячи з припущення суворой геометричної незмінюваності насипу і шару, що підстиляє. Однак в реаліях осадка шару, що підстиляє, під вагою насипу може досягати значних величин, сильно спотворивши геометрію як самого шару, так і насипу. Облік цих змін обов'язковий і виконується наступним чином: за формулою (IV.2) для ряду довільних значень будується графік $P = f(S)$. Так як цей графік лінійний (пряма лінія), для його побудови досить мати 2 точки, причому координати однієї з них були отримані раніше: $S_0 = 0$, $P_0 = P_{00} = 0,0785$ МПа. Вибравши довільну величину осадки (в прикладі $S_1 = 1$ метр) і підставивши її в формулу навантаження, отримаємо другу координату. Тут необхідно врахувати, що відповідно до завдання, рівень ґрунтових вод збігається з донною поверхнею мулу, тому нижні шари ґрунту будуть перебувати в зваженому стані, об'ємна вага яких обраховується за формулою:

$$\gamma_{гр}^{B3B} = \gamma_{гр} - \gamma_v \quad (IV.4)$$

Цей параметр, зрештою, і визначить величину навантаження, що існує P_i

$$P_i = \gamma_{нас} * h_{нас} + \gamma_{гр}^{B3B} * S_i, \quad (IV.5)$$

де: $\gamma_{нас}^{636}$ [тс/м³] - питома вага ґрунту насипу в умовах зваженої дії води, $\gamma_{гр}$ - об'ємна вага ґрунту насипу,

γ_v - об'ємна вага води ($\gamma_v = 1$ т/м³)

Таким чином, координати іншої точки при заданих значеннях $S_1 = 1$ м, $\gamma_{гр} = 2$ тс/м³), визначаються за формулою (IV.5):

$$P_1 = 2 * 4 * 9,81 + (2 - 1) * 1 * 9,81 = 0,0785 + 0,00981 = 0,0883 \text{ МПа}$$

Таблиця № IV.4 Координати точок прямої залежності $P = f(S)$

Точки	Координата S_i	Координата P_i
Точка №1	0	0,0785
Точка №2	1	0,0883

За даними Таблиці № IV.4 у відповідній системі координат (у якій вже нанесено графік $S_i = f_1(P_i)$) будують графік залежності $S_i = f_1(P_i)$, який, як уже зазначалось вище, становить собою пряму лінію. Пересікання цих двох графіків дає відповідь на питання: яка буде прогнозована осадка шару ґрунту під насипом у результаті дії розрахункового навантаження; у цьому прикладі відповідь буде наступною: $P_{розр} = 0,08 \text{ МПа}$ та $S_{кон} = 0,435\text{м}$. Графічну інтерпретацію цієї задачі представлено на рис. VIII.17.

IV.3 Перевірка стійкості слабких ґрунтів в основі насипу

Оцінка стійкості основи насипу основи виконується з метою визначення можливості бокового випирання слабого ґрунту основи під впливом навантаження від ваги насипу. Залежно від результатів оцінки, стійкість основи в її природному стані відносять до одного з трьох типів:

I. – основи, які не потребують спеціальних заходів щодо забезпечення стійкості;

II. – основи, для забезпечення стійкості яких досить обмежити режим відсипання насипу;

III. – основи, що вимагають вживання спеціальних заходів для забезпечення їх стійкості та виключення бічного випирання слабких ґрунтів.

Первісна оцінка стійкості основи передбачає перевірку умови міцності в найбільш небезпечній за напруженими станами точці основи. Умова достатньої стійкості визначається виразом:

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}} \geq 1, \quad (\text{IV.6})$$

де: $K_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки;

$P_{\text{без}}$ – безпечне навантаження, що відповідає граничній величині зовнішнього навантаження на основі, що викликає виникнення граничного стану зі зсувом у найбільш небезпечній точці основи;

$P_{\text{розр}}$ – розрахункова величина зовнішнього навантаження, що визначається для насипу трапецеїдальної форми за формулою.

Визначення величини розрахункового навантаження для всіх 3 типів основи відбувається за формулою:

$$P_{\text{розр}} = \gamma_n * (h_{\text{розр}} + S_{\text{кін}}), \quad (\text{IV.7})$$

γ_n – питома вага ґрунту насипу;

$S_{\text{кін}}$ – кінцева осадка насипу (визначена раніше);

$h_{\text{розр}}$ – розрахункова висота насипу.

Величина безпечного навантаження залежить від інтенсивності передачі зовнішніх зусиль на основу, у зв'язку з чим у цілому необхідно визначити коефіцієнт безпеки для 2 випадків – швидкого і повільного відсипання насипу.

Безпечне навантаження для цих умов визначається за формулою:

$$P_{\text{без}} = (c_{\text{поч}} + \gamma_{\text{сер}} * Z * \text{tg}(\varphi_{\text{поч}})) / \beta \quad \text{або} \quad P_{\text{без}} = c_{\text{поч}} / \beta \quad (\text{IV.8})$$

$c_{\text{поч}}$, $\varphi_{\text{поч}}$ – зчеплення і кут внутрішнього тертя ґрунту слабкої товщі за його природної щільності та вологості;

$\gamma_{\text{сер}}$ – середньозважена питома вага ґрунту слабкої товщини (у необхідних випадках з урахуванням зважування), розташована вище горизонту Z ;

Z – глибина горизонту, що розглядається, від поверхні землі;

β – коефіцієнт, що застосовується лише для трапецеїдальної форми навантаження та залежить від співвідношення геометричних величин навантаження $2*a/B$, відносної глибини z/B та кута внутрішнього тертя $\varphi_{\text{поч}}$.

Числові значення цього коефіцієнта визначаються за графіками Рис. IX.19.

Всі елементи, що входять у формулу (IV.6), визначені залежно від величини $K_{без}$, з допомогою таблиці № IV.5 визначається тип основи за ступенем стійкості, а також необхідність додаткових заходів для забезпечення стійкості основи.

Таблиця № IV.5 Типи основи за коефіцієнтом безпеки

Тип основи	Визначальна ознака	Характеристика ступеня стійкості	Деформації ґрунту найбільш небезпечного шару, що переважають	Можливість використання слабкої товщі як основи
I	$K_{без}^{нач} \geq 1$	Стійкість забезпечена за будь-якої швидкості відсипання насипу	Стискання	Можна використовувати як основу
II	$K_{без}^{нач} \leq 1$ $K_{без}^{нач} \geq 1$	Стійкість за швидкого відсипання не забезпечена, забезпечується за повільного відсипання	За швидкого відсипання – зрушення (витискання), за повільного відсипання – стискання	Можна використовувати як основу при повільному відсипанні насипу
III	$K_{без}^{нач} \leq 1$	Стійкість не забезпечена ні за яких режимів відсипання	Зрушення (витискання)	Без конструктивних заходів, як основу використовувати не можна. Потрібно видалити слабкий шар або змінити конструкцію насипу.

Як зазначалося вище, коефіцієнт безпеки визначається за формулою (IV.6). Визначимо величини, що входять у цю формулу:

- $P_{розр}$ - числове значення розрахункової величини зовнішнього навантаження дорівнює:

$$P_{розр} = \gamma_n * (h_{розр} + S_{кін}) = 2 * (4 + 0,435) * 9,81 = 0,087 \text{ МПа}$$

- $P_{без}$ – числове значення безпечного навантаження стане відомим після попереднього визначення величин, що входять до формули (IV.8):

а) зчеплення і кут внутрішнього тертя $c_{поч}$ и $\varphi_{поч}$ визначаються з допомогою графіка Рис.IX.18 для природної вологості ґрунту, що дорівнює $W = 68\%$. Нижче наводяться отримані значення:

$$c_{\text{поч}} = 0,13 \text{ кгс/см}^2, \quad \varphi_{\text{поч}} = 7^\circ.$$

в) функція β визначається за графіками Рис. IX.19 залежно від коефіцієнта форми епюри навантаження $2 \cdot a/B$, що дорівнює $2 \cdot a/B = 2 \cdot 6/12 = 1$; відносної глибини $Z/b = 4/12 = 0,33$ та кута внутрішнього тертя $\varphi_{\text{поч}} = 7^\circ$. Коефіцієнт $2 \cdot a/B$ указує на номер кривої, на всіх графіках це №3; кут внутрішнього вказує на номери графіків – для 5° (графік, буквенний номер якого «б») функція $\beta = 0,235$, для 10° (графік, буквенний номер якого «в») функція $\beta = 0,185$. Ці значення отримано для $Z/b = 0,33$ і $\text{tg}(7^\circ) = 0,122$, а інтерполяція дозволяє визначити значення β для, $\varphi_{\text{поч}} = 7^\circ$, яке дорівнює $\beta = 0,215$. Підставивши отримані значення у формулу (IV.8) отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{\text{без}} &= (0,13 \cdot 0,098067 \text{ МПа} + (2-1) \text{ т/м}^3 \cdot 4 \text{ м} \cdot 0,122 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2) / 0,215 = \\ &= (0,13 \cdot 0,098067 + 0,004787) / 0,215 = 0,082 \end{aligned}$$

Звідси:

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{розр}}} = 0,082 / 0,087 = 0,94 \leq 1$$

Так як коефіцієнт безпеки виявився менше одиниці, то відповідно до таблиці № IV.5 ґрунт, що розглядається в прикладі, відноситься до другої групи, для якої його можна використовувати в якості основи при повільному засипанні, в іншому випадку необхідно передбачити конструктивні заходи. Повільне засипання як спосіб виробництва робіт економічно вигідний у разі протяжних споруд, наприклад, автомобільних і залізних доріг зі значними термінами реалізації проектів.

Щодо проектів житлових, промислових і цивільних будівель і споруд, терміни реалізації яких дуже обмежені (а повільне засипання котловану значно збільшить ці терміни), необхідно або видалити слабкий ґрунт, або передбачити спеціальні конструктивні заходи. Деякі конструктивні заходи, що часто зустрічаються в практиці, будуть розглянуті нижче.

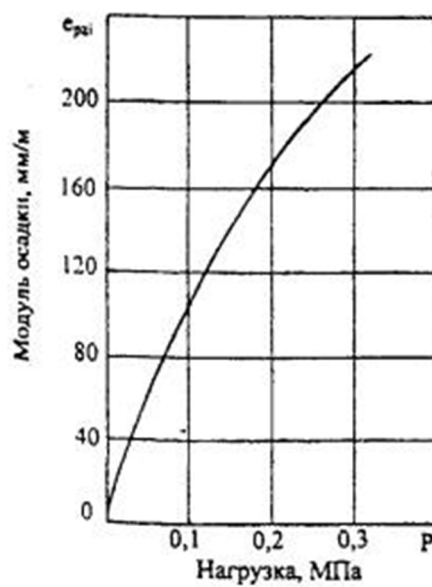


Рис. IV.1. Компресійна крива мулу

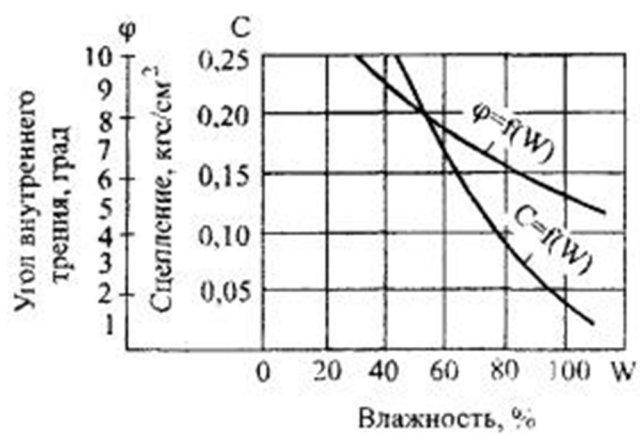
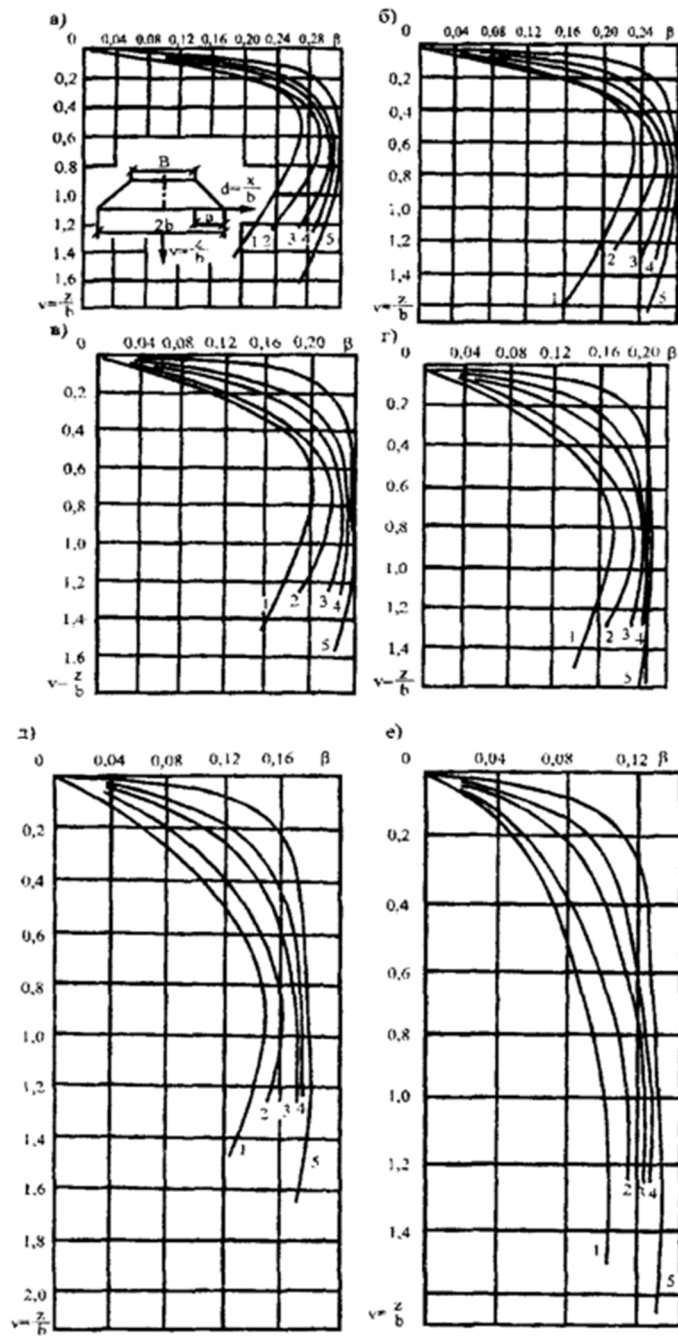


Рис. IV.2. Результаты сдвиговых испытаний мулу



Графики для определения функции β :
 а – при $\varphi=0^\circ$; б – при $\varphi=5^\circ$; в – при $\varphi=10^\circ$; г – при $\varphi=15^\circ$;
 д – при $\varphi=20^\circ$; е – при $\varphi=30^\circ$;
 1 – при $2a/B=10$; 2 – при $2a/B=3,0$; 3 – при $2a/B=1,0$;
 4 – при $2a/B=0,6$; 5 – при $2a/B=0,2$

Рис. IV.3.

V. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ПІЩАНИХ ПАЛІ

Піщані палі – вертикальні піщані стовпи, що вбудовуються в товщу слабого ґрунту для поліпшення умов його роботи, зменшення нормальних напружень в основі або скорочення й прискорення осадки насипу. Конструкція з піщаними палями застосовується незалежно від потужності слабкої товщі. Розрахунок піщаних палей передбачає спирання палей на міцні породи, що підстиляють (рис.V.1). Довжина палей визначається потужністю слабого шару або технічними можливостями і машин, що застосовуються для їх облаштування. Діаметр палей призначається відповідно до діаметра застосованої обсадної труби і дорівнює 0,3-0,6 м. Палі розташовують за квадратною або ромбічною сіткою з кроком, до 2 м. Палі влаштовують із піщаних ґрунтів, придатних для відсипання в насип, без будь-яких додаткових обмежень. У разі, якщо піщані палі передбачається використовувати і як дрени, матеріали для їх заповнення мають відповідати вимогам, що висуваються до дренажів.

При облаштуванні палей з метою зниження осадки торф'яних ґрунтів товщина насипного шару повинна бути не менше значень, поданих у табл. II.1.

Зниження товщини проти значень табл. II.1 необхідно обґрунтовувати розрахунком на динамічну стійкість відповідно, наприклад, до " Методичних рекомендацій з обліку впливу транспортного навантаження при проектуванні автомобільних доріг на болотах». Розрахунок основи з піщаними палями за умовою стійкості полягає у визначенні кроку палей, при якому забезпечується стійкість основи. Крок палей встановлюють підбором, причому в якості розрахункового параметра використовується зближення палей

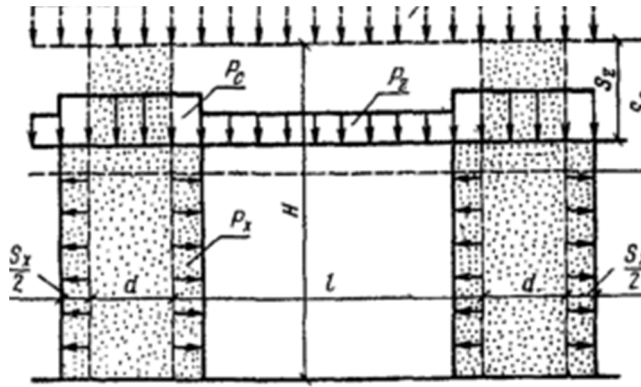


Рис.V.1. Схема для розрахунку основ з піщаними палями: H – міцність слабкої товщі; L – відстань між піщаними палями в світлі; d – діаметр піщаної палі; S – осадка основи без палей; $K_{\text{щ}}$ – осадка основи з палями; $-y^*$ – бокова деформація палей; P – навантаження від ваги насипу; P_c – навантаження на палю; P_z – навантаження на простір між палями.

Стійкість основи з піщаними палями оцінюються коефіцієнтом стабільності K_{ct} , визначеним для осьового усічення відповідно до розрахункової схеми (див. рис. II.4) за формулою:

$$K_{ct} = \frac{2 \cdot C_w \cdot \cos \varphi_w}{(P_z - P_x - P') - (P_z + P_x + P') \sin \varphi_w} \quad (V.1)$$

де:

C_w – зчеплення слабкого ґрунту при розрахунковій щільності-вологості;

φ_w – кут внутрішнього тертя слабкого ґрунту при розрахунковій щільності-вологості;

P_z – вертикальні напруження ґрунту в просторі між палями;

P_x – горизонтальні напруження від бокового обтискання слабкого ґрунту палями під час осадки основи;

P' – попереднє обтискання слабкого ґрунту, що виникає під час вбудовування палей.

Стійкість можна вважати забезпеченою, якщо $K_{ct} \geq 1$.

Величини попереднього обтискання P' визначають за компресійною кривою як напруження, необхідне для зменшення коефіцієнта пористості ґрунту в природному заляганні ϵ_0 до величини ϵ_1 , що відповідає пористості ґрунту, ущільненого в результаті вбудовування палей, і визначеній за виразом:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - \frac{(1+\varepsilon_0)*m^2}{(1+m)^2}, \quad (V.2)$$

де $m = \frac{d}{l}$ – зближення паль.

Вертикальні P_z та горизонтальні P_x напруження в основі з палями визначають за таблицями (додаток 2). Значення змінних P_z та P_x подані в таблицях у частках від тиску на основу без паль $P_0 = P_{розр}$ залежно від величини коефіцієнта бокового тиску.

Коефіцієнт бокового тиску матеріалу паль може бути прийнятним, незалежно від вологості, рівним в ущільненому стані (за М. Н. Голубцовою): – для пісків крупних – 0,33; середньої крупності – 0,34; мілких і пилюватих – 0,36.

Якщо відомий кут внутрішнього тертя піску в palі φ_c , то коефіцієнт бокового стискання піску можна визначити за формулою:

$$\xi_c = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2}) \quad (V.3)$$

Коефіцієнт поперечної деформації слабкого ґрунту μ встановлюють за результатами випробувань у приладах трьохосовного стискання. Для наближених розрахунків значення коефіцієнта поперечної деформації приймають:

1. для торфів – залежно від початкового коефіцієнта пористості ε_0 за формулою А. С. Корольова для визначення коефіцієнта бокового стискання $\xi = 0,76 - 0,03 * \varepsilon_0$ з наступним перерахунком за формулою:

$$\mu = \frac{\xi}{1+\xi}, \quad (V.4)$$

2. для глинистих ґрунтів твердої консистенції 0,1 – 0,2;

3. для глин пластичної консистенції 0,3 – 0,4;

4. для глин текучої консистенції 0,40 – 0,48.

У випадку можливого порушення стійкості основи у формі зрушення по фіксованій поверхні ковзання опору зрушення при вбудовуванні піщаних паль розраховуються за формулою:

$$S = \frac{L}{1+m} (m * P_c * \operatorname{tg} \varphi_c + P_r * \operatorname{tg} \varphi_w + m * C_c + C_w) \quad (V.5)$$

L – довжина кривої ковзання;

S – опір зрушення основи з палями по заданій поверхні ковзання;

P_c, P_r – тиск від насипу на палю і слабкий ґрунт відповідно;

φ_c, φ_w – кути внутрішнього тертя піску паль і слабого ґрунту відповідно;

C_c, C_w – зчеплення матеріалу паль і слабого ґрунту відповідно;

У розрахунках стійкості основ, сформованих зі слабких ґрунтів, характеристики міцності ґрунту – зчеплення і кут внутрішнього тертя мають прийматися з урахуванням ущільнення ґрунту палями, тобто при відповідних значеннях щільності-вологості. Величину зчеплення та кута внутрішнього тертя отримують у цьому випадку за даними випробувань на зрушення за методикою щільності-вологості відповідно до залежностей:

$$\varphi_w = f_1(w) \quad \text{і} \quad C_w = f_2(w). \quad (\text{V.6})$$

Ущільнення слабого ґрунту при вбудовуванні піщаних паль з урахуванням попереднього обтискання ґрунту внаслідок заглиблення обсадної труби й бокової деформації паль у процесі осідання основи визначають за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{(1+\varepsilon_0)*m^2}{(1+m)^2} - \lambda_z, \quad (\text{V.7})$$

де :

ε_0 і ε – коефіцієнти пористості ґрунту в природному стані і в основі з палями;

λ_z - відносна осадка основи з палями, що визначається за таблицею (додаток 2) у частках від відносної осадки основи без паль λ_0 .

Відповідна до цієї щільності вологості слабого ґрунту W (при ступені водонасичення $G = 1$) може бути виражена через природну вологість w_0 як:

$$w = w_0 - \left(\frac{100}{\gamma} + w_0\right)\left(\frac{m}{1+m}\right)^2 - \lambda_z \frac{\frac{100}{\gamma} + w_0}{1+m}, \quad (\text{V.8})$$

де: γ - питома вага слабого ґрунту.

При вбудовуванні піщаних паль для зниження осадки слабого шару розрахунком підбирають крок паль або їх зближення, що забезпечує задану величину кінцевої осадки. Величину відносної осадки основи з палями визначають за таблицями Додатку VIII.20 при заданих значеннях коефіцієнта поперечної деформації слабого ґрунту і коефіцієнта бокового тиску піску. Підбір

кроку паль повторюють до тих пір, поки не отримають необхідну величини осадки.

Піщані палі можуть бути застосовані для обмеження нормальних напружень, що стискають і діють в основі, наприклад, у ґрунтах, у яких структурна міцність при стисканні трохи менше розрахункового навантаження на основу (іюльдієві глини). Розрахунок полягає в підборі величини зближення, що відповідає заданому зниженню нормальних напружень.

Відношення величини нормального напруження, що діє в основі, до розрахункового навантаження отримують з таблиць Додатку VIII.20.

VI. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАСИПУ НА ШАРІ ІОЛЬДІЄВИХ ГЛИН

Вихідні дані.

Насип:

робоча позначка – 3,

ширина зверху – 2 м,

закладання укосів – 3/2,

об'ємна вага ґрунту – 2 т/м³.

Основа насипу :

іольдієві глини прихованоплинної консистенції міцністю $H = 7$ м.

Характеристики міцності глин в умовах природного залягання:

повне зчеплення $C_w = 0,15$ кгс/см²; структурне зчеплення $C_c = 0,10$ кгс/см²; кут внутрішнього тертя $\varphi_w = 0$.

Поріг структурної міцності при компресійному стисканні $P_{стр} = 0,4$ кгс/см².

Відносна осадка під навантаженням $0,6$ кгс/см², $\lambda_0 = 0,10$. Коефіцієнт поперечної деформації $\mu_r = 0,45$.

Палі :

діаметр $d = 0,30$ м;

коефіцієнт бокового стискання піску $\xi = 0,3$.

Згідно з «Методичними рекомендаціями з конструкцій і технології спорудження земляного полотна автомобільних доріг на ділянках залягання іольдієвих глин» (М., Союздорнии, 1973), стійкість іольдієвих глин в основі насипу необхідно перевіряти, виходячи з двох умов:

$$P_{розр} \leq P_{без}$$

$$P_{розр} \leq P_{стр} \cdot$$

Розрахункове навантаження на основу:

$$P_{розр} = \gamma_n \cdot h = 2 \cdot 3 = 0,6 \text{ кгс/см}^2.$$

Безпечне навантаження при $\varphi_w = 0$, згідно з графіком «а» на рис.VIII.19 і "Методичними вказівками з проектування земляного полотна на слабких ґрунтах" (М., Оргтрансстрой, 1988), визначається наступним чином:

$$P_{без} = \frac{C_c}{\beta} = \frac{0,1}{0,31} = 0,32 \text{ кгс/см}^2.$$

Так як $P_{розр} \geq P_{без}$; $(0,6 > 0,32)$, то стійкість за першою умовою не забезпечена. Аналогічно $P_{розр} \geq P_{стр}$ $(0,6 > 0,4)$, як і в першому випадку стійкість основи за другою умовою також не забезпечена.

Для забезпечення стійкості основи пропонується вбудовувати піщані палі з наступними характеристиками:

- діаметр $d = 0,30$ м,
- коефіцієнт бокового стискання піску $\xi = 0,3$.

Умова забезпечення стійкості при $\varphi_w = 0$ має вигляд:

$$P_z - P_x = 2 * C_c = 2 * 0,1 = 0,2 \text{ кгс/см}^2.$$

У частках від розрахункового навантаження допустима різниця головних напружень складатиме:

$$\frac{P_z - P_x}{P_0} = \frac{0,2}{0,6} = 0,33.$$

За таблицею Додаток VIII.20 при $\lambda_0 = 0,10$ цій величині відповідає наближення:

$$m = \frac{d}{l} = 0,2, \text{ звідки для першого випадку } l = 1,5 \text{ м.}$$

Для забезпечення іншої умови тиску на слабкий шар має бути обмежено $0,4 \text{ кгс/см}^2$. У частках від P_0 це складатиме становитиме

$$0,4/0,6 = 0,66.$$

Знов скористаємося таблицею Додаток VIII.20, відповідно до якого величині цього співвідношення $0,66$ також відповідає наближення $0,2$.

Із розрахунку за обома умовами приймаємо $m = 0,2$ м і крок паль $d + l = 1,8$ м.

VII. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАСИПУ НА ШАРІ ТОРФУ

На відміну від попереднього прикладу, у якому визначаються геометричні параметри пальового поля, рішення наведеної нижче задачі виконується методом проб і помилок.

Вихідні дані.

Насип:

робоча позначка – 4м

ширина зверху – 12м

закладання укосів нахилів – 3/2

об'ємна вага ґрунту – 2 т/м³;

Основа насипу:

Торф міцністю – 6 м.

Горизонт ґрунтових вод співпадає з поверхнею.

Природна вологість – 600%.

Об'ємна вага – 1,01 г/см³.

Питома вага – 1,50 г/см³.

Коефіцієнт поперечної деформації – $\mu_r = 0,30$.

Компресійні властивості: подані на рисунку VIII.21 Додаток.

Характеристики міцності торфу в природному заляганні:

$$C = 0,10 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\varphi = 7^\circ.$$

Характеристики міцності торфу змінюються при ущільненні відповідно до залежностей:

$$C_w = \frac{w_0 - w}{3000} + 0,10 ,$$

$$\varphi = \frac{w_0 - w}{50} + 7,0 .$$

Піщані палі:

Коефіцієнт бокового тиску піску – $\xi = 0,3$.

Діаметр паль – $d=0,30$ м.

Довжина паль – $l=6,0$ м.

Розрахунок стійкості основи без паль проводиться відповідно до "Методичних вказівок з проектування земляного полотна на слабких ґрунтах".

Розрахункові параметри:

$$\frac{2 \cdot a}{B} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 1.5}{12} = 1,$$

$$v = \frac{z}{B} = \frac{6}{12} = 0.5$$

Так як графіки (VIII.19) для визначення коефіцієнта β складені для $\varphi = 5^\circ$ $\varphi = 10^\circ$, то визначаємо β_5 і β_{10} , а потім інтерполяцією для $\varphi = 7^\circ$ отримуємо $\beta_7 = 0,22$.

Оскільки питома вага торфу з урахуванням зважування близька до нуля, $P_{без}$ слід визначати за формулою:

$$P_{без} = \frac{C_c}{\beta} = \frac{0,1}{0,22} = 0,45 \text{ кгс/см}^2.$$

Розрахункове навантаження на основі з урахуванням зважування:

$$P_{розр} = \gamma_n \cdot h_{розр} + (\gamma_n - \gamma_v) \cdot S_{розр}$$

За графіком, поданим на рисунку VIII.21, визначаємо величину λ_0 :

$$P_{розр} = 0,98 \text{ кгс/см}^2, \quad S_{розр} = 1,8 \text{ м}, \quad \text{звідки} \quad \lambda_0 = \frac{S_{розр}}{h_{торфу}} = \frac{1,8}{6,0} = 0,3.$$

Очевидно, при швидкому відсипанні стійкість насипу не буде забезпечена, так як

$$P_{розр} = 0,98 \text{ кгс/см}^2 \text{ значно більше ніж } P_{без} = \frac{C_c}{\beta} = \frac{0,1}{0,22} = 0,45 \text{ кгс/см}^2,$$

розрахованого для цього випадку.

За графіком VIII.22, наведеним у Додатку, при аргументі $P_{розр} = 0,98 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,098 \text{ МПа}$ отримаємо приблизне значення вологості $W \approx 400\%$.

Цій вологості відповідає:

$$C_w = \frac{W_0 - W}{3000} + 0,10 = (600 - 400)/3000 + 0,10 = 0,167$$

$$\varphi = \frac{W_0 - W}{50} + 7,0 = (600 - 400)/50 + 7 = 11^\circ.$$

Раніше вже було показано, як, маючи графіки для визначення β (VIII.19) і кут внутрішнього кута ґрунту $\varphi = 11^\circ$, визначити $\beta_{11} = 0,2$, а потім і $P_{без}$

$$P_{без} = \frac{C_c}{\beta} = \frac{0,167}{0,20} = 0,83 \text{ кгс/см}^2$$

$$K_{ст} = \frac{P_{без}}{P_{расч}} = \frac{0,83}{0,98} = 0,85 \text{ кгс/см}^2,$$

тобто стійкість основи також не забезпечена.

Для підвищення стійкості основи вбудовуємо піщані палі діаметром 0,3 м з кроком 1,8 м. Відстань між палями в світлі 1,5 м, наближення палей

$$m = \frac{d}{l} = \frac{0,3}{1,5} = 0,2$$

За таблицями VIII.20 Додаток для значень при наближенні $m = 0,2$ $\xi_1 = 0,3$ $\mu_2 = 0,3$ $\lambda = 0,3$ і при $P_{розр} = P_0$ отримаємо:

$$\begin{aligned}\lambda_z &= 0,22 * \lambda_0 = 0,066 \\ P_x &= 0,408 * P_0 = 0,400 \text{ кгс/см}^2 \\ P_z &= 0,791 * P_0 = 0,775 \text{ кгс/см}^2.\end{aligned}$$

Коефіцієнт стабільності K_{cm} без врахування обтискання слабого ґрунту палями ($P' = 0$) і його зміцнення буде в цьому випадку дорівнювати:

$$K_{ст} = \frac{2 * C_w * \cos \varphi_w}{(P_z - P_x - P') - (P_z + P_x + P') * \sin \varphi_w} = \frac{2 * 0,1 * 0,99}{(0,775 - 0,400) - (0,775 + 0,400) * 0,122} = \frac{0,2}{0,232} = 0,86$$

Тобто стійкість при цьому кроці палей без урахування обтискання ґрунту і його ущільнення при ущільненні не забезпечена. Для врахування обтискання визначаємо коефіцієнт пористості ґрунту після вбудовування палей (з урахуванням того, що коефіцієнт пористості ґрунту в природному стані дорівнює $\varepsilon_0 = 9$ відповідно до графіка, наведеного на рис. VIII.23 Додатка) :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - (1 + \varepsilon_0) \left(\frac{m}{1 + m} \right)^2 = 9 - (1 + 9) \left(\frac{0,2}{1 + 0,2} \right)^2 = 8,7$$

Тій пористості відповідає відносна осадка:

$$\lambda = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + \varepsilon_0} = \frac{9 - 8,7}{1 + 9} = 0,03.$$

Відповідно абсолютна осадка буде дорівнювати:

$$S = \lambda * H = 0,03 * 6 = 0,18.$$

За компресійною кривою, наведеною на рисунку III.21 Додаток, осадці 0,18 метра відповідає навантаження:

$$P = P' = 0,05 \text{ кгс/см}^2$$

Коефіцієнт стабільності з урахуванням обтискання торфу при швидкому відсипанні насипу:

$$K_{\text{ст}} = \frac{2 \cdot 0.1 \cdot 0.99}{(0.775 - 0.400 - 0.05) - (0.775 + 0.400 + 0.05) \cdot 0.122} = 0,91.$$

Тобто при наближенні паль $m = 0,2$ стійкість основи при швидкому відсипанні не забезпечується.

Для перевірки стійкості основи при повільному відсипанні визначаємо вологість торфу з урахуванням цього обтискання та ущільнення:

$$W_1 = W_0 - \left(\frac{100}{\gamma_0} + W_0\right) \left(\frac{m}{1+m}\right)^2 - \lambda_z \frac{\frac{100}{\gamma_0} + W_0}{1+m}, \text{ де}$$

γ_0 і W_0 – питома вага і вологість торфу в природному стані.

$$W_1 = 600 - \left(\frac{100}{1,5} + 600\right) \left(\frac{0,2}{1+0,2}\right)^2 - 0,066 \frac{\frac{100}{1,5} + 600}{1+0,2} = 545\%$$

Характеристики міцності торфу при $W = 545\%$.

$$C_w = \frac{W_0 - W}{3000} + 0,10 = (600 - 545)/3000 + 0,10 = 0,12 \text{ кгс/см}^2$$

$$\varphi_w = \frac{W_0 - W}{50} + 7,0 = (600 - 545)/50 + 7 = 8,1^\circ.$$

Коефіцієнт стабільності з урахуванням обтискання та ущільнення торфу ($P' = 0.05 \text{ кгс/см}^2$, $\sin \varphi_w = 0.139$. $\cos \varphi_w = 0.99$).

$$K_{\text{ст}} = \frac{2 \cdot 0.12 \cdot 0.99}{(0.775 - 0.400 - 0.05) - (0.775 + 0.400 + 0.05) \cdot 0.139} = 1.53,$$

тобто стійкість основи забезпечена при повільному відсипанні насипу.

ДОДАТОК

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних навантажень
в основі з піщаними палями $\mu = 0,2$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,3850	0,0409	0,0429	0,0445	0,0613	0,0658	0,0696	0,0729	0,0862	0,0936	0,1000	0,1050	0,1130	0,1240	0,1330	0,1430
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,1610	0,1700	0,0445	0,1820	0,2340	0,2470	0,2580	0,2570	0,3010	0,3180	0,3330	0,3450	0,3610	0,3820	0,4010	0,4160
	P_x / P_0	0,3540	0,3740	0,0613	0,4050	0,3540	0,3840	0,4040	0,4210	0,3660	0,3930	0,4170	0,4370	0,3700	0,4010	0,4280	0,4520
	P_z / P_0	0,8460	0,8910	0,0658	0,9560	0,8220	0,8690	0,9070	0,9390	0,7960	0,8440	0,8830	0,9170	0,7670	0,8560	0,8560	0,8918
0,30	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,048	0,0527	0,0588	0,0594	0,0750	0,0823	0,0886	0,0943	0,1020	0,1130	0,1230	0,1320	0,1320	0,1460	0,1590	0,1720
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,1390	0,1490	0,1580	0,1650	0,2000	0,2150	0,2280	0,2390	0,2550	0,2740	0,2910	0,3060	0,3060	0,3270	0,3470	0,3550
	P_x / P_0	0,3810	0,4130	0,4390	0,4520	0,3890	0,4170	0,4470	0,4730	0,3840	0,4210	0,4540	0,4890	0,3830	0,4230	0,4580	0,4910
	P_z / P_0	0,7440	0,8000	0,8460	0,8800	0,7160	0,7720	0,8190	0,8600	0,6880	0,7430	0,7900	0,8310	0,6600	0,7130	0,7590	0,7994
0,40	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0545	0,0602	0,0653	0,0697	0,0830	0,0924	0,1000	0,1080	0,1110	0,1250	0,1370	0,1480	0,1400	0,1580	0,1750	0,1980
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,1190	0,1300	0,1400	0,1480	0,1710	0,1870	0,2010	0,2130	0,2180	0,2380	0,2550	0,2710	0,2600	0,2840	0,3040	0,3220
	P_x / P_0	0,3920	0,3920	0,4670	0,4970	0,3910	0,4330	0,4700	0,5030	0,3890	0,4320	0,4710	0,5070	0,3860	0,4300	0,4710	0,5100
	P_z / P_0	0,6540	0,7150	0,7670	0,8120	0,6280	0,6870	0,7380	0,7830	0,6020	0,6590	0,7080	0,7520	0,6270	0,6340	0,6780	0,7210
0,50	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0581	0,0651	0,0713	0,0769	0,0875	0,0986	0,1080	0,1170	0,1170	0,1320	0,1460	0,1590	0,1460	0,1560	0,1840	0,2010
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,1040	0,1150	0,1240	0,1330	0,1490	0,1640	0,1780	0,1900	0,1890	0,2090	0,2260	0,2400	0,2260	0,2430	0,2690	0,2870
	P_x / P_0	0,3950	0,4400	0,4810	0,5180	0,3910	0,4380	0,4810	0,5200	0,3870	0,4350	0,4790	0,5200	0,3830	0,4320	0,4760	0,5180
	P_z / P_0	0,5790	0,6410	0,6950	0,7430	0,5530	0,6150	0,6670	0,7140	0,5390	0,5890	0,6390	0,6840	0,5110	0,5650	0,6120	0,6950
0,75	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0620	0,0709	0,0791	0,0867	0,0925	0,1050	0,1180	0,1300	0,1220	0,1400	0,1570	0,1730	0,1510	0,1740	0,1950	0,2160
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,0764	0,0864	0,0954	0,1030	0,1090	0,1230	0,1360	0,1470	0,1400	0,1570	0,1730	0,1870	0,1680	0,1880	0,2070	0,2230
	P_x / P_0	0,3860	0,4410	0,4900	0,5370	0,3810	0,4350	0,4850	0,5320	0,3760	0,4300	0,4800	0,5270	0,3710	0,4240	0,4740	0,5210
	P_z / P_0	0,4440	0,5030	0,5560	0,6040	0,4270	0,4830	0,5330	0,5800	0,4120	0,4640	0,5120	0,5380	0,3970	0,4470	0,4920	0,5330
1,00	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0628	0,0726	0,0819	0,0906	0,0933	0,1080	0,1210	0,1350	0,1230	0,1420	0,1610	0,1730	0,1520	0,1760	0,1990	0,2240
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,5010	0,0577	0,0757	0,0831	0,0853	0,0974	0,1080	0,1190	0,1090	0,1240	0,1380	0,1510	0,1320	0,1500	0,1660	0,1810
	P_x / P_0	0,3730	0,4510	0,4850	0,5350	0,3670	0,4250	0,4780	0,5290	0,3620	0,4190	0,4720	0,5220	0,3570	0,4130	0,4650	0,5150
	P_z / P_0	0,3580	0,4110	0,4500	0,5060	0,3460	0,3960	0,4430	0,4860	0,3350	0,3830	0,4270	0,4680	0,3250	0,3700	0,4120	0,4510

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних навантажень
в основі з палями $\mu = 0,2$

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,20	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0043	0,0045	0,0047	0,0048	0,0088	0,0092	0,0095	0,0098	0,0181	0,0190	0,0198	0,0204
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,0211	0,0221	0,0228	0,0230	0,0420	0,0440	0,0455	0,0467	0,0831	0,0871	0,0902	0,0928
	P_x / P_0	0,3420	0,3570	0,3700	0,3790	0,3400	0,3600	0,3730	0,3830	0,3470	0,3650	0,3790	0,3900
	P_z / P_0	0,880	0,9200	0,9510	0,9760	0,8760	0,9170	0,9490	0,9750	0,8670	0,9090	0,9420	0,9690
0,30	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0057	0,0061	0,0064	0,0067	0,0114	0,0125	0,0129	0,0135	0,0233	0,0252	0,0266	0,0279
	$\lambda_{\text{в}} / \lambda_0$	0,0185	0,0195	0,0208	0,0217	0,0368	0,0393	0,0414	0,0431	0,0723	0,0740	0,0817	0,0852

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	P_x / P_0	0,3750	0,4010	0,4220	0,4400	0,3760	0,4030	0,4250	0,4430	0,3780	0,4060	0,4300	0,4400
	P_z / P_0	0,7880	0,8420	0,8860	0,9220	0,7820	0,8370	0,8810	0,9170	0,7700	0,8850	0,8700	0,9070
0,40	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0066	0,0072	0,0077	0,0081	0,0132	0,0144	0,0154	0,0165	0,0267	0,0295	0,0315	0,0334
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0161	0,0176	0,0188	0,0198	0,0320	0,0349	0,0378	0,0393	0,0627	0,0683	0,0731	0,0772
	P_x / P_0	0,3920	0,4280	0,4570	0,4820	0,3920	0,4280	0,4590	0,4840	0,3950	0,4300	0,4620	0,4890
	P_z / P_0	0,7000	0,7620	0,8140	0,8500	0,6930	0,7550	0,8070	0,8520	0,6800	0,7420	0,7940	0,8390
0,50	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0072	0,0079	0,0086	0,0092	0,0143	0,0159	0,0172	0,0194	0,0288	0,0321	0,0349	0,0374
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0147	0,0156	0,0163	0,0179	0,0279	0,0388	0,0394	0,0356	0,0546	0,0603	0,0653	0,0697
	P_x / P_0	0,3990	0,4420	0,4780	0,5100	0,3990	0,4420	0,4790	0,5120	0,3970	0,4420	0,4860	0,5140
	P_z / P_0	0,6220	0,6880	0,7440	0,7950	0,6160	0,6810	0,7370	0,7860	0,6030	0,6640	0,7230	0,7720
0,75	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0078	0,0089	0,0099	0,0107	0,0156	0,0177	0,0197	0,0215	0,0312	0,0355	0,0395	0,0431
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0103	0,0117	0,0129	0,0141	0,0204	0,0231	0,0256	0,0278	0,0399	0,0452	0,0500	0,0544
	P_x / P_0	0,3250	0,4490	0,4980	0,5420	0,3940	0,4480	0,4970	0,5472	0,3920	0,4460	0,4950	0,5400
	P_z / P_0	0,4750	0,5400	0,5980	0,6500	0,4710	0,5340	0,5910	0,6430	0,4610	0,5230	0,5790	0,6300
1,00	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0080	0,0092	0,0103	0,0114	0,0159	0,0183	0,0205	0,0228	0,0317	0,0366	0,0412	0,0455
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0079	0,0091	0,0102	0,0112	0,0156	0,0180	0,0202	0,0223	0,0307	0,0355	0,0396	0,0435
	P_x / P_0	0,3820	0,4410	0,4960	0,5470	0,3810	0,4400	0,4940	0,5450	0,3780	0,4370	0,4910	0,5420
	P_z / P_0	0,3800	0,4350	0,4920	0,5430	0,3770	0,4340	0,4880	0,5970	0,3700	0,4260	0,4780	0,5260

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних навантажень
в основі з піщаними палями $\mu = 0,3$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0330	0,0357	0,0377	0,0395	0,0522	0,0565	0,0601	0,0632	0,0726	0,0793	0,0851	0,0901	0,0943	0,103	0,1120	0,1200
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,1420	0,1510	0,1580	0,1640	0,2070	0,2200	0,2310	0,2400	0,2650	0,2840	0,2980	0,3100	0,3200	0,3410	0,3590	0,3750
	P_x / P_0	0,3800	0,4050	0,4260	0,4430	0,3810	0,4080	0,4310	0,4510	0,3810	0,4110	0,4360	0,4580	0,3810	0,4120	0,4400	0,4650
	P_z / P_0	0,7630	0,8110	0,849	0,8810	0,7430	0,7910	0,8310	0,8640	0,7200	0,7690	0,8100	0,8440	0,6970	0,7460	0,7860	0,8220
0,30	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0412	0,0451	0,0485	0,0514	0,0634	0,0699	0,0756	0,0807	0,0864	0,0953	0,1040	0,1120	0,1100	0,1220	0,1340	0,1450
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,1200	0,1300	0,1360	0,1460	0,1740	0,1890	0,2010	0,2120	0,2230	0,2420	0,2580	0,2720	0,2680	0,2900	0,3090	0,3260
	P_x / P_0	0,3870	0,4220	0,4510	0,4760	0,3860	0,4220	0,4538	0,4810	0,3850	0,4210	0,4550	0,4840	0,3210	0,4200	0,4590	0,4850
	P_z / P_0	0,6660	0,7220	0,7680	0,8080	0,6788	0,7000	0,7470	0,7870	0,6240	0,6470	0,7240	0,7640	0,6020	0,6550	0,7000	0,7400
0,40	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,463	0,0514	0,0559	0,0599	0,0703	0,0785	0,0859	0,0926	0,0947	0,1060	0,1160	0,1260	0,1190	0,1340	0,1480	0,1610
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,1030	0,1130	0,1220	0,1300	0,1490	0,1640	0,1760	0,1880	0,1910	0,2100	0,2260	0,2400	0,2290	0,2510	0,2700	0,2870
	P_x / P_0	0,3870	0,4280	0,4540	0,4950	0,3840	0,4260	0,4630	0,4960	0,3800	0,4230	0,4620	0,4970	0,3760	0,4200	0,4590	0,4960
	P_z / P_0	0,5880	0,6470	0,6970	0,7420	0,5680	0,6250	0,6750	0,7100	0,5490	0,6040	0,6530	0,6960	0,5310	0,5840	0,6310	0,6720
0,50	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0495	0,0557	0,0611	0,0661	0,0747	0,0843	0,0930	0,1010	0,1000	0,1130	0,1250	0,1360	0,1250	0,1420	0,1580	0,1720
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0902	0,1000	0,1090	0,1160	0,1300	0,1440	0,1560	0,1630	0,1660	0,1840	0,2000	0,2140	0,2000	0,2210	0,2400	0,2560
	P_x / P_0	0,3830	0,4280	0,4690	0,5050	0,3790	0,4250	0,4660	0,5040	0,3750	0,4210	0,4630	0,5020	0,3700	0,4170	0,4600	0,5000
	P_z / P_0	0,5250	0,5840	0,6360	0,6830	0,5080	0,5650	0,6150	0,6610	0,4910	0,5460	0,5950	0,6390	0,4750	0,5280	0,5750	0,6170

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,75	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0557	0,0614	0,0686	0,0752	0,0803	0,0920	0,1020	0,1130	0,1060	0,1220	0,1370	0,1510	0,1320	0,1520	0,1710	0,1880
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0668	0,0757	0,0838	0,0911	0,0967	0,1090	0,1200	0,1310	0,1240	0,1400	0,1540	0,1670	0,1500	0,1680	0,1850	0,2010
	P_x / P_0	0,3690	0,4210	0,4680	0,5120	0,3640	0,4160	0,4640	0,5080	0,590	0,4110	0,4590	0,5030	0,3550	0,4080	0,4530	0,4980
	P_z / P_0	0,4140	0,4710	0,5220	0,5680	0,4020	0,4560	0,5050	0,5500	0,3910	0,4400	0,4890	0,5320	0,3800	0,4290	0,4740	0,5150
1,00	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0552	0,0639	0,0720	0,0791	0,0823	0,0953	0,1070	0,1190	0,1090	0,1260	0,1420	0,1580	0,1350	0,1560	0,1770	0,1960
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0523	0,0600	0,0672	0,0738	0,0760	0,0870	0,0971	0,1060	0,0983	0,1120	0,1240	0,1360	0,1190	0,1350	0,1500	0,1640
	P_x / P_0	0,3540	0,4090	0,4610	0,5090	0,3500	0,4040	0,4550	0,5030	0,3460	0,3990	0,4560	0,4980	0,3420	0,3950	0,4450	0,4480
	P_z / P_0	0,3440	0,3690	0,4440	0,4880	0,3360	0,3850	0,4310	0,4740	0,3270	0,3750	0,4190	0,4600	0,3190	0,3650	0,4070	0,4470

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних навантажень
в основі з палями $\mu = 0,3$

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,20	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0038	0,0040	0,0042	0,0044	0,0077	0,0082	0,0086	0,0089	0,0158	0,0168	0,0177	0,0183
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0187	0,0198	0,0206	0,0213	0,0372	0,0394	0,0411	0,0424	0,0735	0,0778	0,0813	0,0841
	P_x / P_0	0,3780	0,3990	0,4160	0,4300	0,3780	0,4000	0,4180	0,4320	0,3790	0,4020	0,4200	0,4360
	P_z / P_0	0,7960	0,8410	0,8760	0,9060	0,7920	0,8370	0,8750	0,9020	0,7830	0,8290	0,8660	0,8960
0,30	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0049	0,0055	0,0056	0,0059	0,0099	0,0107	0,0113	0,0119	0,0200	0,0218	0,0232	0,0244
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0160	0,0173	0,0184	0,0192	0,0319	0,0344	0,0365	0,0382	0,0627	0,0677	0,0719	0,0754
	P_x / P_0	0,3890	0,4200	0,4450	0,4670	0,3890	0,4200	0,4460	0,4580	0,3880	0,4210	0,4480	0,4710
	P_z / P_0	0,7020	0,7580	0,8030	0,8410	0,6970	0,7530	0,7990	0,8370	0,6870	0,7430	0,7890	0,8280
0,40	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0056	0,0062	0,0067	0,0070	0,0113	0,0124	0,0134	0,0142	0,0228	0,0251	0,0272	0,0290
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0138	0,0152	0,0163	0,0173	0,0275	0,0301	0,0324	0,0344	0,0539	0,0592	0,0637	0,0676
	P_x / P_0	0,3910	0,4300	0,4620	0,4910	0,3910	0,4300	0,4630	0,4910	0,3900	0,4290	0,4630	0,4930
	P_z / P_0	0,6220	0,6830	0,7350	0,7790	0,6180	0,6780	0,7290	0,7730	0,6080	0,6680	0,7190	0,7630
0,50	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0061	0,0068	0,0074	0,0079	0,0122	0,0136	0,0149	0,0159	0,0246	0,0275	0,0300	0,0323
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0120	0,0134	0,0146	0,0156	0,0232	0,0266	0,0289	0,0309	0,0469	0,0521	0,0567	0,0607
	P_x / P_0	0,3890	0,4330	0,4720	0,5050	0,3880	0,4330	0,4710	0,5050	0,3870	0,4310	0,4710	0,5060
	P_z / P_0	0,5570	0,6190	0,6730	0,7210	0,5520	0,6140	0,6680	0,7150	0,5430	0,6040	0,6570	0,7050
0,75	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0067	0,0077	0,0085	0,0093	0,0134	0,0153	0,0170	0,0186	0,0269	0,0307	0,0342	0,0374
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0089	0,0101	0,0112	0,0122	0,0176	0,0200	0,0222	0,0242	0,0346	0,0394	0,0436	0,0475
	P_x / P_0	0,3770	0,4290	0,4760	0,5190	0,3750	0,4280	0,4750	0,5180	0,3730	0,4250	0,4730	0,5160
	P_z / P_0	0,4370	0,4980	0,5520	0,6020	0,4340	0,4940	0,5480	0,5970	0,4270	0,4860	0,5390	0,5870
1,00	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0070	0,0081	0,0091	0,0099	0,0139	0,0161	0,0181	0,0199	0,0278	0,0321	0,0361	0,0399
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0069	0,0080	0,0090	0,0099	0,0137	0,0158	0,0177	0,0195	0,0270	0,0311	0,0349	0,0384
	P_x / P_0	0,3620	0,4180	0,4700	0,5190	0,3610	0,4170	0,4690	0,5170	0,3590	0,4140	0,4660	0,5140
	P_z / P_0	0,3610	0,4160	0,4680	0,5150	0,3590	0,4130	0,4640	0,5110	0,3540	0,4070	0,4570	0,5040

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних напружень
в основі з піщаними палями $\mu = 0,45$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	λ_r / λ_0	0,0258	0,0280	0,0299	0,0315	0,0399	0,0468	0,0468	0,0496	0,0546	0,0601	0,0640	0,0691	0,0701	0,0776	0,2900	0,0902
	λ_b / λ_0	0,1140	0,1230	0,1300	0,1360	0,1660	0,1790	0,1890	0,1980	0,2140	0,2310	0,0245	0,2570	0,2590	0,2790	0,4350	0,3100
	P_x / P_0	0,3860	0,4170	0,4430	0,4640	0,3820	0,4140	0,4400	0,4650	0,3780	0,4100	0,4380	0,4620	0,3730	0,4060	0,0842	0,4600
	P_z / P_0	0,6300	0,6780	0,7190	0,7520	0,6140	0,6620	0,7020	0,7370	0,5980	0,6450	0,6860	0,7200	0,5820	0,6290	0,6680	0,7020
0,30	λ_r / λ_0	0,0312	0,0345	0,0374	0,3990	0,0476	0,0529	0,0576	0,0617	0,0644	0,0720	0,0787	0,0847	0,0816	0,0916	0,2510	0,1080
	λ_b / λ_0	0,0943	0,1030	0,1100	0,1170	0,1370	0,1500	0,1610	0,1700	0,1760	0,1930	0,2070	0,2200	0,2140	0,2330	0,4270	0,2660
	P_x / P_0	0,3680	0,4050	0,4370	0,4640	0,3640	0,4010	0,4330	0,4620	0,3600	0,3970	0,4300	0,4590	0,3560	0,3930	0,1000	0,4560
	P_z / P_0	0,5420	0,5940	0,6590	0,6770	0,5280	0,5790	0,6250	0,6620	0,5140	0,5640	0,6080	0,6460	0,5010	0,5500	0,5920	0,6290
0,40	λ_r / λ_0	0,0349	0,0390	0,0427	0,0460	0,0528	0,0593	0,0652	0,0704	0,0709	0,0800	0,0882	0,0957	0,0885	0,1010	0,1110	0,1210
	λ_b / λ_0	0,0802	0,0889	0,0965	0,1030	0,1160	0,1290	0,1400	0,1490	0,1500	0,1660	0,1800	0,1930	0,1820	0,2010	0,2180	0,2330
	P_x / P_0	0,3500	0,3950	0,4310	0,4620	0,3570	0,3910	0,4270	0,4590	0,3460	0,3870	0,4230	0,4560	0,3420	0,3830	0,4200	0,4530
	P_z / P_0	0,4790	0,5520	0,5790	0,6190	0,4680	0,5190	0,5650	0,6050	0,4500	0,5060	0,5570	0,5900	0,4450	0,4940	0,5370	0,5760
0,50	λ_r / λ_0	0,0374	0,0423	0,0467	0,0506	0,0564	0,0639	0,0707	0,0770	0,0755	0,0858	0,0952	0,1030	0,0947	0,1070	0,1930	0,1310
	λ_b / λ_0	0,0697	0,0780	0,0854	0,0919	0,1010	0,1130	0,1240	0,1330	0,1310	0,1460	0,1600	0,1720	0,1590	0,1770	0,4140	0,2080
	P_x / P_0	0,3440	0,3870	0,4250	0,4600	0,3400	0,3830	0,4210	0,4560	0,3360	0,3790	0,4180	0,4530	0,3320	0,3750	0,1200	0,4490
	P_z / P_0	0,4330	0,4850	0,5320	0,5730	0,4230	0,4740	0,5190	0,5600	0,4130	0,4620	0,5070	0,5470	0,4030	0,4520	0,4950	0,5340
0,75	λ_r / λ_0	0,0414	0,0475	0,0531	0,0583	0,0621	0,0713	0,0799	0,0878	0,0887	0,0951	0,1060	0,1170	0,1030	0,1180	0,1330	0,1470
	λ_b / λ_0	0,0524	0,0596	0,0661	0,0721	0,0765	0,0868	0,0962	0,1040	0,0994	0,1120	0,1240	0,1350	0,1210	0,1360	0,1510	0,1640
	P_x / P_0	0,3250	0,3710	0,4140	0,4530	0,3220	0,3680	0,4100	0,4500	0,3180	0,3540	0,4060	0,4460	0,3150	0,3600	0,4030	0,4420
	P_z / P_0	0,3550	0,4050	0,4500	0,4910	0,3480	0,3960	0,4400	0,4810	0,3410	0,3880	0,4310	0,4710	0,3350	0,3840	0,4220	0,4610
1,00	λ_r / λ_0	0,0437	0,0500	0,0569	0,0629	0,0653	0,0756	0,0853	0,0944	0,0858	0,1000	0,1130	0,1250	0,1080	0,1250	0,1410	0,1570
	λ_b / λ_0	0,0419	0,0481	0,0538	0,0592	0,0613	0,0703	0,0780	0,0863	0,0799	0,0914	0,1020	0,1110	0,0976	0,1110	0,1240	0,1350
	P_x / P_0	0,3120	0,3610	0,4060	0,4480	0,3100	0,3570	0,4020	0,4440	0,3070	0,3540	0,3980	0,4400	0,3040	0,3510	0,3950	0,4360
	P_z / P_0	0,3070	0,3540	0,3970	0,4370	0,3020	0,3580	0,3900	0,4290	0,2970	0,3410	0,3820	0,4210	0,2920	0,3350	0,3750	0,4150

Таблиці для визначення вертикальних та горизонтальних навантажень
в основі з палями $\mu = 0,45$

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,20	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0030	0,0033	0,0035	0,0036	0,0062	0,0066	0,0070	0,0073	0,0125	0,0135	0,0143	0,0150
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0150	0,0161	0,0170	0,0178	0,0299	0,0321	0,0339	0,0354	0,0589	0,0633	0,0670	0,0700
	P_x / P_0	0,3930	0,4220	0,4460	0,4660	0,3920	0,4220	0,4460	0,4650	0,3900	0,4200	0,4450	0,4650
	P_z / P_0	0,6570	0,7060	0,7450	0,7780	0,6530	0,7020	0,7420	0,7750	0,6450	0,6940	0,7340	0,7670
0,30	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0038	0,0042	0,0044	0,0047	0,0076	0,0084	0,0090	0,0095	0,0153	0,0169	0,0182	0,0193
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0124	0,0136	0,0146	0,0154	0,0240	0,0270	0,0290	0,0307	0,0487	0,0593	0,0572	0,0600
	P_x / P_0	0,3750	0,4110	0,4410	0,4670	0,3740	0,4100	0,4410	0,4670	0,3720	0,4090	0,4390	0,4660
	P_z / P_0	0,5660	0,6200	0,6650	0,7040	0,5630	0,6160	0,6020	0,7000	0,5560	0,6090	0,6540	0,6930
0,40	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0043	0,0048	0,0052	0,0055	0,0086	0,0096	0,0103	0,0111	0,0172	0,0192	0,0209	0,0225
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0105	0,0117	0,0127	0,0136	0,0210	0,0233	0,0253	0,0270	0,0414	0,0459	0,0498	0,0533
	P_x / P_0	0,3620	0,4020	0,4360	0,4660	0,3610	0,4010	0,4360	0,4650	0,3590	0,3990	0,4340	0,4650
	P_z / P_0	0,5010	0,5560	0,6030	0,6450	0,4950	0,5520	0,6000	0,6410	0,4910	0,5460	0,5930	0,6340
0,50	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0046	0,0052	0,0057	0,0062	0,0093	0,0104	0,0114	0,0123	0,0186	0,0209	0,0230	0,0249
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0092	0,0103	0,0112	0,0121	0,0182	0,0204	0,0224	0,0241	0,0359	0,0403	0,0441	0,0475
	P_x / P_0	0,3510	0,3940	0,4310	0,4650	0,3500	0,3930	0,4310	0,4640	0,3480	0,3910	0,4290	0,4630
	P_z / P_0	0,4510	0,5060	0,5540	0,5970	0,4450	0,5030	0,5510	0,5940	0,4430	0,4970	0,5450	0,5870
0,75	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0052	0,0059	0,0066	0,0072	0,0103	0,0118	0,0132	0,0144	0,0207	0,0237	0,0264	0,0290
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0069	0,0078	0,0087	0,0095	0,0130	0,0155	0,0173	0,0189	0,0259	0,0307	0,0341	0,0372
	P_x / P_0	0,3310	0,3780	0,4210	0,4600	0,3300	0,3770	0,4200	0,4530	0,3280	0,3750	0,4180	0,4570
	P_z / P_0	0,3680	0,4200	0,4670	0,5110	0,3660	0,4180	0,4650	0,5080	0,3620	0,4150	0,4600	0,5020
1,00	$\lambda_{\tau} / \lambda_0$	0,0055	0,0063	0,0071	0,0079	0,0109	0,0126	0,0142	0,0157	0,0219	0,0253	0,0285	0,0314
	$\lambda_{\sigma} / \lambda_0$	0,0055	0,0063	0,0071	0,0079	0,0108	0,0125	0,0140	0,0154	0,0214	0,0247	0,0277	0,0305
	P_x / P_0	0,3180	0,3670	0,4120	0,4540	0,3170	0,3660	0,4110	0,4530	0,3150	0,3640	0,4090	0,4510
	P_z / P_0	0,3170	0,3660	0,4110	0,4530	0,3160	0,3640	0,4050	0,4570	0,3130	0,3610	0,4050	0,4460

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН А.2.1-1-2008. Инженерные изыскания для строительства. Государственные строительные нормы Украины. – К., 2008 [Электронный ресурс]. – [Режим доступа]: https://dnaop.com/html/29830/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%90.2.1-1-2008.
2. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_1_45/1-1-0-1778.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016. Руководство по проектированию зданий и сооружений на слабых грунтах [Электронный ресурс]. – [Режим доступа]: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65077.
4. Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве. – М., : Стандартинформ, 2012 [Электронный ресурс]. – [Режим доступа] : <https://meganorm.ru/Data2/1/4293798/4293798775.htm>.
5. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. – М., 2004 [Электронный ресурс]. – [Режим доступа] : http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/545103/posobie_po_proektirovaniyu_zemlyanogo_p_olotna_avtomobilnykh_dorog_na_slabyk.pdf.