Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

03-03-081М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Механіка сипучих матеріалів і грунтів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня усіх освітньо-професійних програм спеціальностей НУВГП всіх форм навчання

Схвалено науково-методичною радою НУВГП
Протокол № 7
від 22.12.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до практичних занять та виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Механіка сипучих матеріалів і грунтів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня усіх освітньо-професійних програм спеціальностей НУВГП всіх форм навчання [Електронне видання] / Кузло М. Т. – Рівне : НУВГП, 2021. – 23 с.

Укладач: Кузло М. Т., д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів.

Відповідальний за випуск: Кузло М. Т., д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів.

Вчений секретар науково-методичної ради Костюкова Т. А.

Зміст

Вступ…….……..3
1. Завдання до практичних задач…….…….3
2. Визначення розрахункових значень питомої ваги грунту…….5
3. Визначення розрахункових значень коефіцієнта внутрішнього тертя φ і питомого зчеплення С…….…12
4. Тиск сипучих матеріалів і грунтів на підпірні стіни і огороджуючи конструкції……..20

© Кузло М. Т., 2021
© НУВГП, 2021

Вступ

У даних методичних вказівках наведено приклади розв'язання задач з визначення розрахункових значень питомої ваги грунту, коефіцієнта внутрішнього тертя φ та питомого зчеплення C за першою і другою групою граничних станів.

Також наведено теоретичні основи та приклади з визначення активного і пасивного тиску сипучих матеріалів і грунтів на підпірні стіни і огороджуючи конструкції.

Завданням передбачається розв'язання практичних задач відповідно до діючих ДБН і ДСТУ під час проектуванні, будівництві і експлуатації будівель і споруд.

1. Завдання до практичних задач

Варіати нормативних значень питомої ваги грунту

Таблиця 1

Номер Варіанта (остання цифра номера залікової)	Значення γ					
0	18,4	18,6	17,8	17,5	18,2	17,0
1	17,7	18,8	17,9	19,2	18,4	17,7
2	18,5	18,7	18,8	17,1	18,9	18,0
3	17,7	18,2	17,9	19,1	18,4	16,9
4	19,1	18,6	19,3	18,5	18,8	19,6
5	18,7	18,6	18,2	17,5	18,5	18,0
6	19,6	19,6	18,9	18,7	18,6	17,0
7	18,7	18,7	19,0	17,1	18,8	18,0
8	17,9	18,2	17,9	19,1	18,8	16,9
9	19,5	18,6	19,1	18,5	19,3	19,6

Варіанти нормативних значень дотичних напружень τ при заданих нормальних σ

Таблиця 2

Номер варіанта (остання цифра номера залікової)	σ_i, кПа	τ_i					
0	100 кПа	70	72	74	68	66	75
	200 кПа	100	105	98	103	110	95
	300 кПа	130	125	134	128	136	127
1	100 кПа	65	67	69	63	61	70
	200 кПа	95	100	93	98	105	90
	300 кПа	125	120	129	123	131	122
2	100 кПа	75	77	79	73	71	80
	200 кПа	105	110	103	108	115	100
	300 кПа	135	130	139	133	141	132
3	100 кПа	72	79	81	75	73	83
	200 кПа	107	112	105	110	117	102
	300 кПа	137	132	141	135	143	135
4	100 кПа	74	76	78	72	70	79
	200 кПа	104	109	102	107	114	99
	300 кПа	134	129	138	132	140	131
5	100 кПа	76	78	80	74	72	81
	200 кПа	106	111	104	109	116	101
	300 кПа	136	131	140	134	140	133
6	100 кПа	78	80	82	76	74	83
	200 кПа	108	113	106	111	118	103
	300 кПа	138	133	142	136	144	135
7	100 кПа	68	70	72	66	64	73
	200 кПа	98	103	96	101	108	93
	300 кПа	128	123	132	126	134	125
8	100 кПа	66	68	70	64	62	71
	200 кПа	96	101	94	99	106	91
	300 кПа	126	121	130	124	132	123
9	100 кПа	64	66	68	60	58	67
	200 кПа	92	99	92	97	104	89
	300 кПа	124	119	128	122	130	121

Варіанти основних розрахункових параметрів засипки

Таблиця 3

Номер варіанта (остання цифра номера залікової)	Питома вага грунту засипки, γ, кН/м^3	Кут внутрішнього тертя грунту, φ, град.	Висота засипки, H, м	Заглиблення підпірної стінки, h, м
0	18,0	30	9,0	3,0
1	17,9	28	8,5	2,8
2	18,1	31	8,0	2,4
3	16,8	35	9,5	3,2
4	18,4	29	10,0	3,5
5	17,6	32	8,2	2,6
6	16,7	34	7,8	2,2
7	18,3	27	8,8	2,9
8	17,8	33	8,1	2,6
9	19,0	36	7,7	2,2

2. Визначення розрахункових значень питомої ваги грунту

Для визначення фізико-механічних характеристик конкретного матеріалу (бетон, грунт) необхідно провести експериментальні дослідження цього матеріалу за методикою, яка викладена у відповідному ДСТУ. Проте, результати повторних вимірів однієї й тієї ж величини можуть різнитися між собою, тобто включати систематичні та випадкові похибки. Тому, перед визначенням розрахункових характеристик матеріалів, перевіряють експериментальні дані на наявність грубих помилок. При незначній кількості повторних вимірів однієї й тієї ж величини ($n \leq 50$) використовують метод В.І. Романовського, критерієм виключення грубої помилки в якому

є:

$$\Delta Y_f = Y - Y_i \geq \Delta Y = \sigma \cdot q \qquad (2.1)$$

де ΔY_f - фактична помилка окремого вимірювання;

ΔY_t - теоретична помилка окремого вимірювання;

Y- середнє арифметичне значення досліджуваної характеристики

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n} \qquad (2.2)$$

де Y_i - окреме значення досліджуваної характеристики;

n - кількість повторних вимірів досліджуваної характеристики.

У виразі (2.1) σ - середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y} - Y_i)^2}{n-1}} \qquad (2.3)$$

q - статистичний критерій, який визначається за *табл. 2.1* залежно від кількості повторних вимірів досліджуваної характеристики *n*.

Розрахункові значення характеристик ґрунтів, які безпосередньо використовуються в розрахунках (γ , φ , *c*), визначають за формулою.

$$Y = \frac{Y_n}{\gamma_{(y)}} \qquad (2.4)$$

де Y_n - нормативне значення характеристики;

$\gamma_{(y)}$ - коефіцієнт надійності для характеристики *Y* .

Розрахункове значення характеристики *Y* визначають залежно від кількості повторних визначень та довірчої імовірності α. Для розрахунків за деформаціями (друга група

граничних станів) α = 0,85 , а для розрахунків за

несучою здатністю (перша група граничних станів) $\alpha \geq 0{,}95$.

За нормативне значення характеристики Y_n приймають середнє арифметичне значення результатів її окремих визначень після вилучення грубих помилок.

В загальному випадку можна записати

$$Y = \bar{Y} \pm t \cdot \sigma_0 \qquad (2.5)$$

де Y – розрахункова характеристика грунту;

t - коефіцієнт надійності, який визначається з *табл. 2.2* залежно від довірчої імовірності α і кількості ступенів вільності k

$$k = n - 1 \qquad (2.6)$$

σ_0 - середньоарифметичне середньоквадратичного відхилення

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (2.7)$$

Перетворимо вираз (2.5) до форми виразу (2.4) врахувавши, що вираз для коефіцієнта варіації має вигляд $k_v = \frac{\sigma}{\bar{Y}}$; звідки $\sigma = k\bar{Y}$

$$Y = \bar{Y} \pm t\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{Y} \pm t\frac{k_v}{\sqrt{n}} \cdot \bar{Y} = \bar{Y}(1 \pm \frac{tk_v}{\sqrt{n}}) \qquad (2.8)$$

Позначимо $\frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \delta$ (2.9)

Тоді вираз (2.8) набуде вигляду

$$Y = \bar{Y}(1 \pm \delta) \qquad (2.10)$$

Позначимо

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1 \pm \delta} \qquad (2.11)$$

Тоді вираз (2.10) матиме вигляд

$$Y = \frac{\bar{Y}}{\gamma(y)} = \frac{Y_n}{\gamma(y)} \qquad (2.12)$$

Значення статистичного критерію ***q***

Таблиця 2.1

Число визначень n	Значення критерію q	Число визначень n	Значення критерію q	Число визначень n	Значення критерію q
	1,41	19	2,75	35	3,02
4	1,71	20	2,78	36	3,03
5	1,92	21	2,80	37	3,04
6	2,07	22	2,82	38	3,05
7	2,18	23	2,84	39	3,06
8	2,27	24	2,86	40	3,07
9	2,35	25	2,88	41	3,08
10	2,41	26	2,90	42	3,09
11	2,47	27	2,91	43	3,10
12	2,52	28	2,93	44	3,11
13	2,56	29	2,94	45	3,12
14	2,60	30	2,96	46	3,13
15	2,64	31	2,97	47	3,14
16	2,67	32	2,98	48	3,14
17	2,70	33	3,00	49	3,15
18	2,73	34	3,01	50	3,16

Значення коефіцієнта t при довірчій імовірності α

Таблиця 2.2

Число ступенів вільності k	Значення коефіцієнта t при довірчій імовірності α, що дорівнює					
	0,85	0,90	0,95	0,975	0,98	0,99
3	1,25	1,64	2,35	3,18	3,45	4,54
4	1,19	1,53	2,13	2,78	3,02	3,75
5	1,16	1,48	2,01	2,57	2,74	3,36
6	1,13	1,44	1,94	2,45	2,63	3,14
7	1,12	1,41	1,90	2,37	2,53	3,00
8	1,11	1,40	1,86	2,31	2,49	2,90
9	1,10	1,38	1,83	2,26	2,44	2,82
10	1,10	1,37	1,81	2,23	2,40	2,76
11	1,09	1,36	1,80	2,20	2,36	2,72
12	1,08	1,36	1,78	2,18	2,33	2,68
13	1,08	1,35	1,77	2,16	2,30	2,65
14	1,08	1,34	1,76	2,15	2,28	2,62
15	1,07	1,34	1,75	2,13	2,27	2,60
16	1,07	1,34	1,75	2,12	2,26	2,58
17	1,07	1,33	1,74	2,11	2,25	2,57
18	1,07	1,33	1,73	2,10	2,24	2,55
19	1,07	1,33	1,73	2,09	2,23	2,54
20	1,06	1,32	1,72	2,09	2,22	2,53
25	1,06	1,32	1,71	2,06	2,19	2,49
30	1,05	1,31	1,70	2,04	2,17	2,46
40	1,05	1,30	1,68	2,02	2,14	2,42
60	1,07	1,30	1,67	2,00	2,12	2,39

Приклад 2.1 За даними варіанта №1 (дивись табл.1), для інженерно-геологічного елемента встановлено 6 визначень питомої ваги. Необхідно визначити розрахункові значення γ для розрахунків за I-ю і II-ю групою граничних станів для

випадків, коли збільшення і зменшення характеристики погіршує умови роботи конструкції. Результати дослідів і частина розрахунків наведені в *табл.2.3*.

Результати дослідів.

Таблиця 2.3

№ досліду	γ_i	$\bar{\gamma} - \gamma_i$	$(\bar{\gamma} - \gamma_i)$
1	17,7	-0,58	0,3364
2	18,8	0,52	0,2704
3	17,9	-0,38	0,1444
4	19,2	0,92	0,8464
5	18,4	0,12	0,0144
6	17,7	-0,58	0,3364
∑	109,7		1,9484

Перевіряємо експериментальні дані на наявність грубих помилок. Визначаємо складові, що входять у вираз (2.1):

$$\Delta Y_f = \left|\bar{Y} - Y_i\right| \geq \Delta Y_t = \sigma \cdot q$$

Середнє значення питомої ваги знайдемо за формулою (2.2):

$$\gamma = \frac{109,7}{6} = 18,28\, кН/м^3$$

Визначимо середньоквадратичне відхилення за формулою (2.3)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,9484}{6-1}} = 0,624$$

За *табл. 2.1* знаходимо $q = 2,07$ при $n = 6$.

Отже, гранично допустима помилка окремого вимірювання становить:

$$\Delta\gamma_t = q \cdot \sigma = 2,07 \cdot 0,624 = 1,29168$$

Найбільша фактична помилка становить $\Delta\gamma_t = \left|\bar{\gamma} - \gamma_i\right| = 0,58$, тому результати всіх дослідів включаються в статистичну обробку.

Визначаємо розрахункові значення питомої ваги грунту *для розрахунків за ІІ-ю групою граничних* станів за формулою (2.4).

Знаходимо складові, що входять в формулу (2.4):

$$\gamma_{(y)} = \bar{\gamma} = 18,28 \ кН/м^3$$

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1 \pm \delta},$$

де $\delta = \frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \frac{1,16 \cdot 0,034}{\sqrt{6}} = 0,016$,

де $t = 1,16$ – визначене з *табл. 2.2* при довірчій імовірності α= 0,85 і числі ступенів вільності

$$k = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$k_v = \frac{\sigma}{\bar{\gamma}} = \frac{0,624}{18,28} = 0,034$$

Для випадку, коли збільшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1+\delta} = \frac{1}{1+0,016} = 0,984, \gamma_{II} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{(y)}} = \frac{18,28}{0,984} = 18,58 \ кН/м^3$$

Для випадку, коли зменшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1-\delta} = \frac{1}{1-0,016} = 1,016, \quad \gamma_{II} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{(y)}} = \frac{18,28}{1,016} = 17,99 \ кН/м^3$$

Визначаємо розрахункові значення питомої ваги грунту *для розрахунків за І-ю групою граничних станів*.

Для розрахунків за І-ю групою граничних станів α = 0,95. *З табл.2.2 t = 2,01*.

$$\delta = \frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,034}{\sqrt{6}} = 0,028$$

Для випадку, коли збільшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1+\delta} = \frac{1}{1+0,028} = 0,973 \quad \gamma_{II} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{(y)}} = \frac{18,28}{0,973} = 18,79 \ кН/м^3$$

Для випадку, коли зменшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(y)} = \frac{1}{1-\delta} = \frac{1}{1-0,028} = 1,029 \quad \gamma_{II} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{(y)}} = \frac{18,28}{1,029} = 17,76 \ кН/м^3$$

3. Визначення розрахункових значень коефіцієнта внутрішнього тертя *φ* і питомого зчеплення *C*

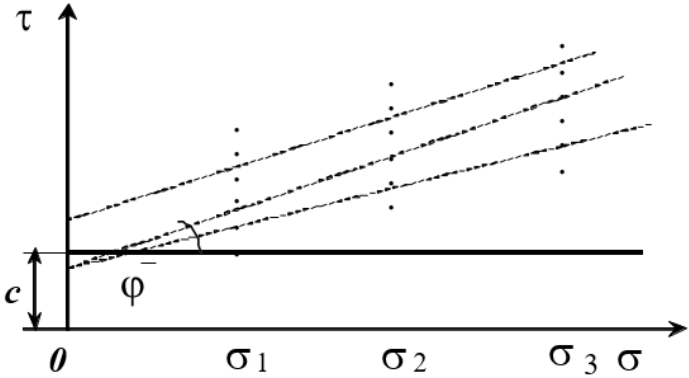

Рис. 3.1.Результати випробувань грунту на зсув

Кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення визначають за графіком $\tau_{гр} = \xi(\sigma)$ (*рис. 3.1*). Для кожного з трьох значень *σ* виконують не менше шести повторних дослідів, тобто в сумі не менше 18 дослідів для кожного **ІГЕ**.

Крапками на *рис.3.1* нанесено експериментальні значення опорів грунту зсуву при певному значенні *σ*. Ці точки утворюють кореляційне поле. На кореляційному полі можна побудувати необмежену кількість ліній $\tau = \sigma \cdot g\varphi + c$, які певним чином будуть описувати залежність між експериментальними *tgφ*, *c* і *τ*. Оптимальною буде така пряма, в якій дотримується умова найменших квадратів, тобто

сума квадратів відхилень окремих експериментальних значень від теоретичних (прямої) повинна бути мінімальною

$$\gamma_{i=1}^{n}(\tau_i - \overline{\tau}) = \min , \qquad (3.1)$$

де τ_i- експериментальні значення опорів грунту зсуву; $\overline{\tau}$ - теоретичне (середнє) значення опорів грунту зсуву.

Коефіцієнт внутрішнього тертя грунту tgφ за методом найменших квадратів визначають за виразом:

$$tg\varphi = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\tau_i - \sum_{i=1}\sigma_i\sum_{i=1}\tau_i}{n\sum_{i=1}^{n}\sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\right)^2} . \qquad (3.2)$$

Питоме зчеплення грунту *C* визначають за виразом:

$$c = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}\tau_i - tg\varphi\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\right) \qquad (3.3)$$

За виразами (3.2), (3.3) визначають середні значення коефіцієнта внутрішнього тертя *tg*φ і питомого зчеплення *c* грунту. Розрахункові значення цих характеристик обчислюють за виразом (2.12) (аналогічно як для питомої ваги грунту γ).

Приклад 3.1 Для інженерно-геологічного елемента при трьох різних значеннях вертикального напруження σ проведено по 6 визначень опору ґрунту одноплощинного зсуву. Необхідно визначити розрахункові значення кута внутрішнього тертя φ і питомого зчеплення *c* для розрахунків за І-ю і ІІ-ю групою граничних станів для випадків, коли збільшення характеристики погіршує умови роботи конструкції і коли зменшення характеристики погіршує умови роботи конструкції. Результати дослідів наведені в *табл.3.1*.

Таблиця. 3.1 .

σ_i, *кПа*	τ_i , *кПа*					
100	76	78	80	75	73	83
200	106	111	104	110	117	102
300	136	131	140	135	143	135

Знаходимо значення *tgφ* і *c* за виразами (3.2) і (3.3) відповідно. Допоміжні розрахунки будемо виконувати в *табл. 3.2.*

Таблиця 3 .2

№ точок	τ_i	σ_i	$\tau_i\sigma_i$	σ_i^2
1	76	100	7600	10000
	106	200	21200	40000
	136	300	40800	90000
∑	**318**	**600**	**69600**	**140000**
2	78	100	7800	10000
	111	200	22200	40000
	131	300	39300	90000
∑	**320**	**600**	**69300**	**140000**
3	80	100	8000	10000
	104	200	20800	40000
	140	300	42000	90000
∑	**324**	**600**	**70800**	**140000**
4	75	100	7500	10000
	110	200	22000	40000
	135	300	405007	90000
∑	**320**	**600**	**70000**	**140000**
5	73	100	7300	10000
	117	200	23400	40000
	143	300	42900	90000
∑	**333**	**600**	**73600**	**140000**

6	83	100	8300	10000
	102	200	20400	40000
	135	300	40500	90000
∑	**320**	**600**	**69200**	**140000**

Знаходимо значення виразу (3.2)

$$n\sum_{i=1}^{n}\sigma_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\right)^2=3\cdot 14000-600^2=60000\,.$$

Отже, значення ***tgφ*** становлять:

$$tg\varphi_{n,1}=\frac{3\cdot 69600-600\cdot 318}{60000}=0,3;$$

$$tg\varphi_{n,2}=\frac{3\cdot 69300-600\cdot 320}{60000}=0,265;$$

$$tg\varphi_{n,3}=\frac{3\cdot 70800-600\cdot 324}{60000}=0,3;$$

$$tg\varphi_{n,4}=\frac{3\cdot 70000-600\cdot 320}{60000}=0,3;$$

$$tg\varphi_{n,5}=\frac{3\cdot 73600-600\cdot 333}{60000}=0,35;$$

$$tg\varphi_{n,6}=\frac{3\cdot 69200-600\cdot 320}{60000}=0,26\,.$$

Значення ***c*** становлять:

$$c_{n,1}=\frac{318-0,3\cdot 600}{3}=46,00\ \ кПа;$$

$$c_{n,2}=\frac{320-0,265\cdot 600}{3}=53,67\ \ кПа;$$

$$c_{n,3}=\frac{324-0,3\cdot 600}{3}=48,00\ \ кПа;$$

$$c_{n,4}=\frac{320-0,3\cdot 600}{3}=46,67\ \ кПа;$$

$$c_{n,5} = \frac{333 - 0,35 \cdot 600}{3} = 41,00 \ кПа;$$

$$c_{n,6} = \frac{320 - 0,26 \cdot 600}{3} = 54,67 \ кПа.$$

Виконуємо статистичну перевірку на наявність грубих помилок (*табл. 3.3*)

Таблиця 3.3

№ точок	$tg\varphi_i$	$tg\overline{\varphi} - tg\varphi_i$	$(tg\overline{\varphi} - tg\varphi_i)^2$	c_i	$\overline{c} - c_i$	$(\overline{c} - c_i)^2$
1	0,3	-0,004	0,000016	46,00	2,335	5,452
2	0,265	0,031	0,000961	53,67	-5,335	28,462
3	0,3	-0,004	0,000016	48,00	0,335	0,112
4	0,3	-0,004	0,000016	46,67	1,665	2,772
5	0,35	-0,054	0,002916	41,00	7,335	53,802
6	0,26	0,036	0,001296	54,67	-6,335	40,132
$\sum$	1,775		0,005266	290,00		130,732

Середні значення $tg\varphi$ і c становлять

$$tg\overline{\varphi}_n = \frac{1,775}{6} = 0,296, \ \overline{c} = \frac{290,01}{6} = 48,335 кПа$$

Знаходимо середньоквадратичні відхилення по $tg\varphi$ і c:

$$\sigma_{tg\varphi} = \sqrt{\frac{\sum (tg\overline{\varphi} - tg\varphi_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,005221}{6-1}} = 0,032;$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (\overline{c} - c_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{130,73335}{6-1}} = 5,113.$$

За *табл. 2.1* знаходимо *q=2,07* при *n=6*. Отже гранично допустима помилка окремого вимірювання становить:

для коефіцієнта внутрішнього тертя:

$$\Delta tg\varphi_t = q \cdot \sigma = 2,07 \cdot 0,032 = 0,066;$$

для питомого зчеплення:

$\Delta c_t = q \cdot \sigma = 2,07 \cdot 5,113 = 10,584$.

Найбільша фактична помилка становить:

- для коефіцієнта внутрішнього тертя:

$\Delta tg\varphi_f = \left| tg\overline{\varphi} - tg\varphi_i \right| = 0,054$;

- для питомого зчеплення:

$\Delta c_f = \left| \overline{c} - c_i \right| = 7,335$.

Отже, результати всіх дослідів включаються в статистичну обробку.

Визначаємо розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення грунту *для розрахунків за II-ю групою граничних станів* за формулою.

Кут внутрішнього тертя $\varphi = arctg \dfrac{tg\varphi_n}{\gamma_{(tg\varphi)}}$.

Знаходимо складові, які входять в цю формулу: $tg\varphi_n = tg\overline{\varphi} = 0,296$.

$$\gamma_{(tg\varphi)} = \frac{1}{1 \pm \delta},$$

де $\delta = \dfrac{tk_v}{\sqrt{n}} = \dfrac{1,16 \cdot 0,108}{\sqrt{6}} = 0,051$, де $t = 1,16$ -визначене з *табл. 2.2* при довірчій імовірності $\alpha = 0,85$ і числі ступенів вільності $k = n - 1 = 6 - 1 = 5$; $k_v = \dfrac{\sigma}{tg\overline{\varphi}} = \dfrac{0,032}{0,296} = 0,108$.

Для випадку, коли збільшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(tg\varphi)} = \frac{1}{1 + \delta} = \frac{1}{1 + 0,051} = 0,951;$$

$$\varphi_{II} = arctg \frac{tg\varphi_n}{\gamma_{(tg\varphi)}} = arctg \frac{0,296}{0,95} = 17,29^\circ.$$

Для випадку, коли зменшення кута внутрішнього тертя

погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(tg\varphi)} = \frac{1}{1-\delta} = \frac{1}{1-0,051} = 1,054;$$

$$\varphi_{II} = arctg\frac{tg\varphi_n}{\gamma_{(tg\varphi)}} = arctg\frac{0,296}{1,054} = 15,69^\circ.$$

Питоме зчеплення $c = \frac{c_n}{\gamma_{(c)}}$. Знаходимо складові, які входять в цю формулу: $c_n = \overline{c} = 48,335\,кПа.$

$$\gamma_{(c)} = \frac{1}{1\pm\delta}, \text{ де}$$

$\delta = \frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \frac{1,16\cdot 0,106}{\sqrt{6}} = 0,050$, де $t = 1,16$ - визначене з *табл. 2.2* при довірчій імовірності α = 0,85 і числі ступенів вільності $k = n-1 = 6-1 = 5$; $k_v = \frac{\sigma}{\overline{c}} = \frac{5,113}{48,335} = 0,106$

Для випадку, коли збільшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(c)} = \frac{1}{1+\delta} = \frac{1}{1+0,050} = 0,952$$

$$c_{II} = \frac{c_n}{\gamma_{(c)}} = \frac{48,335}{0,952} = 50,772\ кПа.$$

Для випадку, коли зменшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(c)} = \frac{1}{1-\delta} = \frac{1}{1-0,050} = 1,053;\ c_{II} = \frac{c_n}{\gamma_{(c)}} = \frac{48,335}{1,053} = 45,902\,кПа.$$

Визначаємо розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення грунту *для розрахунків за І-ю групою граничних станів* за формулою. З *табл. 2.2* при α = 0,95, $t = 2,01$.

<u>*Кут внутрішнього тертя*</u>

$$\delta = \frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,108}{\sqrt{6}} = 0,089$$

Для випадку, коли збільшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(tg\varphi)} = \frac{1}{1+0,089} = 0,918; \ \varphi_I = arctg\frac{0,296}{0,918} = 17,87^\circ$$

Для випадку, коли зменшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(tg\varphi)} = \frac{1}{1-0,089} = 1,098; \ \varphi_I = arctg\frac{0,296}{1,098} = 15,09^\circ$$

Питоме зчеплення

$$\delta = \frac{tk_v}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,106}{\sqrt{6}} = 0,087$$

Для випадку, коли збільшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(c)} = \frac{1}{1+0,087} = 0,92; \ c_{II} = \frac{48,335}{0,92} = 52,538 \ кПа.$$

Для випадку, коли зменшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{(c)} = \frac{1}{1-0,087} = 1,095; \ c_{II} = \frac{48,335}{1,095} = 44,142 \ кПа.$$

Отже, розрахунковими є такі пари кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення:

для розрахунків за II-ю групою граничних станів

для випадку, коли збільшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_{II} = 17,87^o$, $c_{II} = 50,772$ *кПа.*

для випадку, коли зменшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_{II} = 15,69^o$, $c_{II} = 45,902$ *кПа.*

для розрахунків за I-ю групою граничних станів

для випадку, коли збільшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_I = 17,87^o$, $c_I = 52,538$ *кПа.*

для випадку, коли зменшення характеристик погіршує

умови роботи конструкцій: $\varphi_I = 15{,}09^o$, $c_I = 44{,}142$ *кПа*.

4. Тиск сипучих матеріалів і грунтів на підпірні стіни і огороджуючи конструкції.

Теоретичні основи з визначення тиску сипучих матеріалів і грунтів:

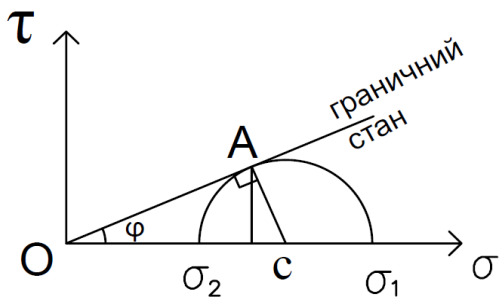

Рис. 4.1. Значення граничних напружень на діаграми зсуву.

$$\sin\varphi = \frac{AC}{CO};$$

$$AC = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2};$$

$$OC = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \sigma_2;$$

$$\sin\varphi = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \frac{2\sigma_2}{2}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2};$$

$\sin\varphi = \dfrac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$ - рівняння граничного стану;

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sin\varphi \cdot \sigma_1 + \sin\varphi \cdot \sigma_2;$$

$$\sigma_1 - \sin\varphi \cdot \sigma_1 = \sigma_2 + \sin\varphi \cdot \sigma_2;$$

$$\sigma_1(1-\sin\varphi)=\sigma_2(1+\sin\varphi);$$

$$\sigma_1=\sigma_2\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi};$$

$$\sin\varphi=\cos(\frac{\pi}{2}-4);$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}=\frac{1+\cos(\frac{\pi}{2}-\varphi)}{1-\cos(\frac{\pi}{2}-\varphi)}=ctg^2(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2})=tg^2(\frac{\pi}{2}-(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}))=$$

$$=tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2});$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}=\frac{1-\cos(\frac{\pi}{2}-\varphi)}{1+\cos(\frac{\pi}{2}-\varphi)}=tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2});$$

$\sigma_1=\sigma_2\cdot tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$ - для пасивного тиску;

$\sigma_2=\sigma_1\cdot tg^2(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2})$ - для активного тиску.

Введем позначення:

$tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})=\lambda_n$ - коефіцієнт пасивного тиску;

$tg^2(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2})=\lambda_a$ - коефіцієнт активного тиску;

Значення $\sigma_2=\gamma\cdot h$, $\sigma_1=\gamma\cdot H$.

$$P_n=\gamma\cdot h\cdot tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}) \tag{4.1}$$

$$P_a=\gamma\cdot H\ tg^2(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}) \tag{4.2}$$

Рівняння (4.1) застосовуємо для визначення пасивного тиску, а (4.2) – активного тиску.

Рівнодіюча активного тиску:

$$E_a = \frac{1}{2}\gamma \cdot H^2 \cdot tg^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}). \qquad (4.3)$$

Рівнодіюча пасивного тиску:

$$E_n = \frac{1}{2}\gamma \cdot h^2 \cdot tg^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}). \qquad (4.4)$$

Приклад 4.1 За даними варіанта №0 (дивись табл.3) визначити інтенсивність і рівнодіючу активного та пасивного тиску на підпірну стінку.

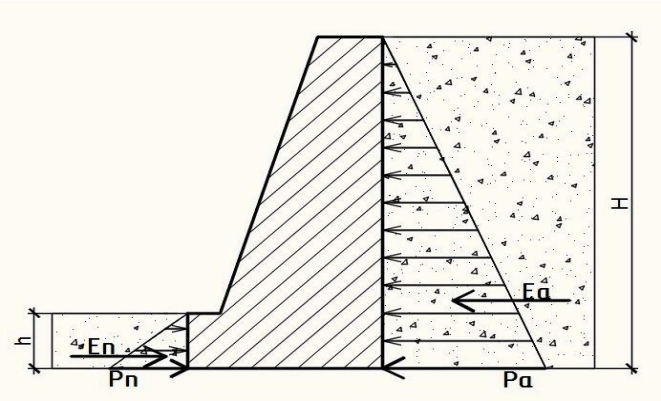

Рис.4.2. Епюра розподілу активного і пасивного тиску на підпірну стінку.

Розв'язок. 1. За формулою (4.2) визначаєм інтенсивність активного тиску на підпірну стінку:

$$P_a = \gamma \cdot H\ tg^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) = 18,0 \cdot tg^2(45^0 - \frac{30}{2}) = 54,0\, {}^{kH}\!/_{м^3}.$$

2.Рівнодіюча активного тиску на 1п. м підпірної стінки (формула 4.3):

$$E_a = \frac{1}{2}\gamma \cdot H^2 \cdot tg^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) = \frac{1}{2} \cdot 18,0 \cdot 9^2 \cdot tg^2(45^0 - \frac{30^0}{2}) = 243\, {}^{kH}\!/_{м}.$$

3. Інтенсивність пасивного тиску на підпірну стінку

(формула 4.1):

$$P_n = \gamma \cdot h \cdot tg^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}) = 18,0 \cdot 3 \cdot tg^2(45^2 + \frac{30^0}{2}) = 162\, {}^{kH}\!/_{м^3}.$$

4. Рівнодіюча пасивного тиску на 1п. м підпірної стінки (формула 4.4):

$$E_n = \frac{1}{2}\gamma \cdot h^2 \cdot tg^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}) = \frac{1}{2} \cdot 18,0 \cdot 3^2 tg^2(45^0 + \frac{30^0}{2}) = 243\, {}^{kH}\!/_{м}.$$