

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

03-03-160М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з навчальної дисципліни **«Проектування інженерних споруд
на автомобільних дорогах»**

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги та
аеродроми» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія» денної та заочної форми навчання

Рекомендовано

науково-методичною радою

з якості ННІБА

Протокол № 2 від 05.11.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Проектування інженерних споруд на автомобільних дорогах» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги та аеродроми» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Павлюк А. П. – Рівне : НУВГП, 2024. – 62 с.

Укладач: Павлюк А. П., канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів.

Відповідальний за випуск: Кузло М. Т., д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів.

Керівник групи забезпечення
спеціальності 192 «Будівництво
та цивільна інженерія»

Кузло М. Т.

© А. П. Павлюк, 2024
© НУВГП, 2024

Зміст

Передмова	4
1. Визначення постійних навантажень на міст	5
2. Визначення коефіцієнту поперечної установки для розрахунку тимчасових навантажень на міст від рухомого складу.....	8
3. Визначення згинаючого моменту в несучому елементі прогонової будови	24
4. Побудова епюр активного та пасивного тиску підпірної стінки.	28
5. Перевірка стійкості підпірної стінки	31
6. Визначення інтенсивності горизонтальних навантажень на стінки тунелю.....	34
7. Розрахунок залізобетонного резервуару на спливання.....	45
1.8 Визначення внутрішніх зусиль в поперечному перерізі водопропускної труби	48
Список використаної літератури.....	63

Передмова

Силабусом освітньої компоненти «Проектування інженерних споруд на автомобільних дорогах» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Автомобільні дороги та аеродроми» (АДіА), передбачено виконання практичної підготовки.

Метою виконання практичних занять є закріплення знань, отриманих при вивченні теоретичного курсу проектування (розрахунку й конструювання) окремих транспортних конструкцій та інженерних споруд на автомобільних дорогах (мостів, шляхопроводів, транспортних естакад, віадуків, труб під насипами доріг, тунелів, підпірних стін та ін.). Інакше кажучи, майбутні фахівці повинні **вміти** (навчитись): компонувати об'ємно-планувальні й конструктивні схеми інженерних споруд на автомобільних дорогах; складати розрахункові схеми споруд і їхніх окремих елементів; збирати навантаження, виконувати статичні розрахунки й визначати зусилля в перерізах конструкцій від їхньої власної ваги та додаткових зовнішніх навантажень; виконувати розрахунки окремих елементів споруд за першою й другою групами граничних станів.

В методичних вказівках розглянуті вісім типів задач із розрахунками для різних інженерних споруд, які найчастіше зустрічаються на автомобільних дорогах. Структура задач наведена наступним чином: дана умова задачі та розглянутий розв'язок задачі, після якого наведені вихідні дані для індивідуальної роботи студентів.

В результаті виконання практичних завдань відповідно до варіанту, наданого викладачем, здобувачі освіти виконуються і індивідуальну роботу у вигляді розв'язку окремих задач із проектування інженерних споруд.

1. Визначення постійних навантажень на міст

Задача 1. Визначити постійні навантаження, що діють на один метр погонний прольотної будови мосту за таких вихідних даних:
- конструкція покриття проїзної частини прольотної будови має наступний склад (див. рис. 1):

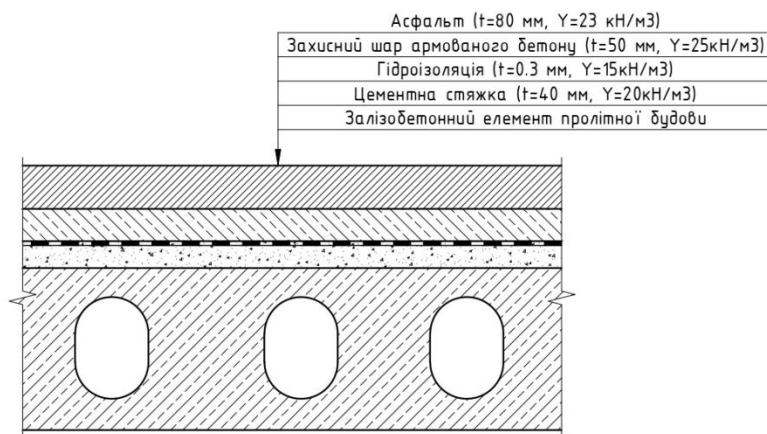


Рис. 1 - Конструкція покриття проїзної частини прольотної будови

- поперечний переріз прольотної будови мосту із шириною плити пролітної будови 1,5 м та наступними геометричними параметрами (див. рис .2):

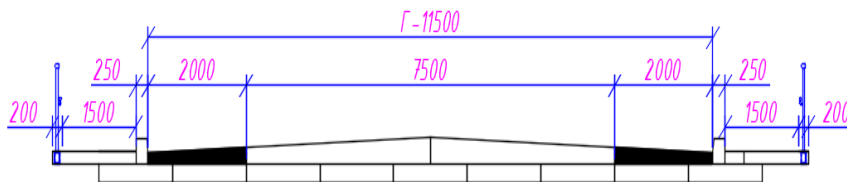


Рис. 2 - Поперечний переріз прольотної будови мосту
- конструкція покриття тротуару прольотної будови має наступний склад (див. рис. 3)

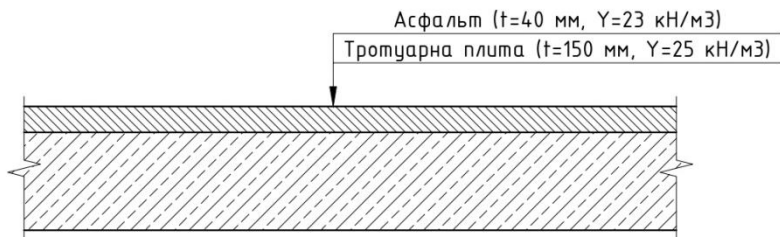


Рис. 3 - Конструкція покриття тротуару прольотної будови

Розв'язання

Збір навантажень здійснюємо на 1 метр погонний прольотної будови моста.

Нормативне навантаження від власної маси елементів прольотної будови обчислюємо за формулою:

$$q_{p,n} = t_{np} b_p \gamma = 0,229 \cdot 1,5 \cdot 25 = 8,6 \text{ кН/м},$$

де t_{np} – приведена товщина бетону елемента, м;

b_p – ширина вантажної площі, м;

γ – густина залізобетону (25 кН/м³);

Збір навантаження від власної маси дорожнього покриття зведемо до табл. 1. Конструкції дорожніх покриттів проїзної частини та тротуару приведені на рис. 1 і рис. 3.

Нормативне навантаження від кожного шару покриття обчислюємо за формулою

$$q_{i,n} = t_i b_{bn,i} \gamma_i = \dots \text{кН/м},$$

де t_i – товщина шару покриття, м;

$b_{bn,i}$ – ширина вантажної площі шару покриття, м;

γ_i – густина матеріалу шару покриття, кН/м³.

Таблиця 1 - Навантаження від власної маси дорожнього покриття

№ з/ п	Вид навантаження (шар покриття)	Нормативне навантаження $q_{i,n}, \text{кН/м}$	Коефіцієнт надійності за навантаже нням	Розрахунк ове навантаже ння $q_i, \text{кН/м}$
1	2	3	4	5
Пріїзна частина				
1.	Асфальтобетон	2,76	1,3	3,56
2.	Армований бетон	1,88	1,3	2,44
3.	Гідроізоляція	0,1	1,3	0,13
4.	Цементна стяжка	1,2	1,3	1,56
5.	Вага плити пролітної будови	8,6	1,2	10,32
	Разом	14,54		18,01
Тротуар				
6.	Асфальт	0,92	1,3	1,20
7.	Тротуарна плита	3,75	1,3	4,88
	Разом	4,67		6,08

Отже, розрахункові постійні навантаження, що діють на один метр погонний пролітної будови мосту в проїзній частині становлять $q_{p1}=18,01 \text{ кН/м}$, в частині з тротуаром – $q_{p1}=6,08+10,32=16,4 \text{ кН/м}$.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №1 наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для виконанні задачі 1

Номер варіанту	Ширина плити пролітної будови	Габарит мосту, м	Товщини конструктивних шарів проїзної частини, мм				Товщини конструктивних шарів тротуару, мм	
			Асфальтобетон	Армований бетон	Гідроізоляція	Цементна стяжка	Асфальт	Тротуарна плита
1	1	10	70	100	0,5	40	50	100
2	1,1	11	80	110	0,4	50	60	120
3	1,2	12	90	120	0,3	60	70	140
4	1,3	13	100	130	0,5	70	80	160
5	1,4	14	110	140	0,4	80	90	100
6	1,5	10	120	100	0,3	90	100	120
7	1,6	11	70	110	0,5	100	50	140
8	1,7	12	80	120	0,4	40	60	160
9	1,8	13	90	130	0,3	50	70	100
10	1,9	14	100	140	0,5	60	80	120
11	2,0	10	110	100	0,4	70	90	140
12	2,1	11	120	110	0,3	80	100	160
13	2,2	12	70	120	0,5	90	50	100
14	2,3	13	80	130	0,4	100	60	120
15	2,4	14	90	140	0,3	40	70	140

2. Визначення коефіцієнту поперечної установки для розрахунку тимчасових навантажень на міст від рухомого складу.

Задача 2.1. Побудувати методом позacentрового стиску епіюру коефіцієнта поперечної установки (*КПУ*) тиску на

плити прольотної будови автодорожнього моста при ширині окремої плити $b=1.7$ м і кількості плит у поперечному перерізі моста $n=8$.

Розв'язання

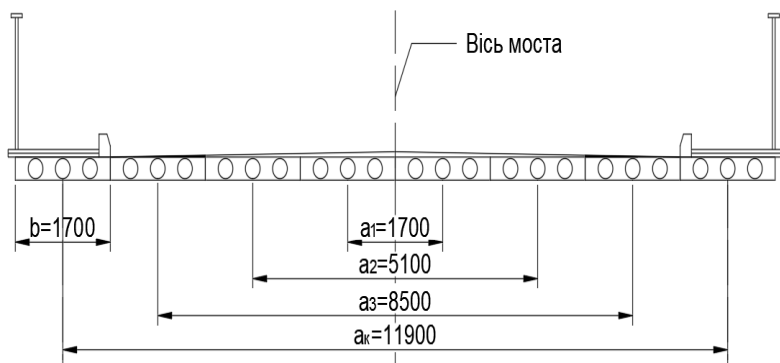


Рис.4 - Поперечний переріз мосту

Ординати лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови автодорожнього мосту обчислюємо з використанням рис.4 за формулами:

$$\eta_1 = \frac{1}{n} + \frac{a_k^2}{2 \sum_{i=1}^k a_i^2} = \frac{1}{8} + \frac{11,9^2}{2(1,7^2 + 5,1^2 + 8,5^2 + 11,9^2)}$$

$$= \frac{1}{8} + \frac{141,61}{485,52} = 0,416;$$

$$\eta_1 = \frac{1}{n} - \frac{a_k^2}{2 \sum_{i=1}^k a_i^2} = \frac{1}{8} - \frac{11,9^2}{2(1,7^2 + 5,1^2 + 8,5^2 + 11,9^2)}$$

$$= \frac{1}{8} - \frac{141,61}{485,52} = -0,166;$$

де $a_1 = (2 - 1) \cdot b = 1 \cdot 1,7 = 1,7$ м;

$a_2 = (4 - 1) \cdot b = 3 \cdot 1,7 = 5,1$ м;

$$a_3 = (6 - 1) \cdot b = 5 \cdot 1,7 = 8,5\text{м};$$

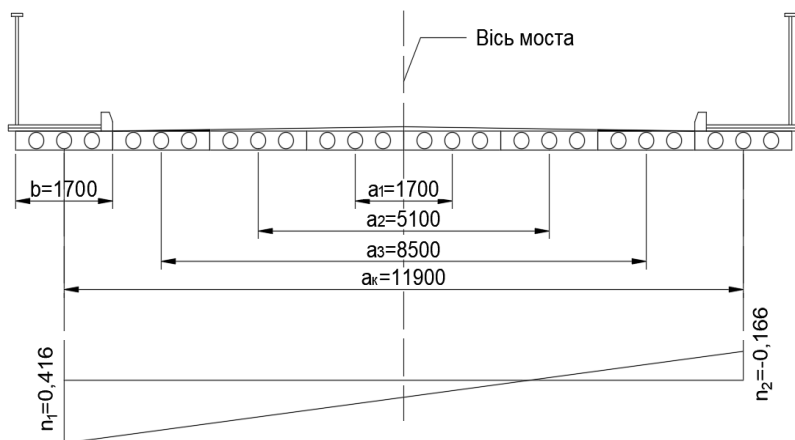


Рис.5 – Епюра коефіцієнтів поперечної установки

Ординати лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови автодорожнього мосту становлять: $\eta_1 = 0.416$, $\eta_2 = 0.166$.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.1 наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для виконанні задачі 2.1

Номер варіанту	Ширина плити пролітної будови, м	Кількість плит в поперечному перерізі мосту
1	1	10
2	1,1	9
3	1,2	8

4	1,3	7
5	1,4	10
6	1,5	9
7	1,6	8
8	1,7	7
9	1,8	10
10	1,9	9
11	2,0	8
12	2,1	7
13	2,2	10
14	2,3	9
15	2,4	8

Задача 2.2. Побудувати методом позacentрового стиску епіюру коефіцієнта поперечної установки (КПУ) тиску на плити прольотної будови автодорожнього моста з тротуарами шириною $b_T=1.5\text{ м}$ на дорозі III-ої категорії при ширині окремої плити $b=1.0\text{ м}$.

Розв'язання

Для автодорожнього моста на дорозі III-ої категорії відповідно до ДБН В.2.3-22:2009 [6] призначаємо такі геометричні параметри:

- габарит моста $\Gamma=9\text{ м}$;
- ширина смуг безпеки $\Delta_B=1,0\text{ м}$;
- кількість плит $n=12$.

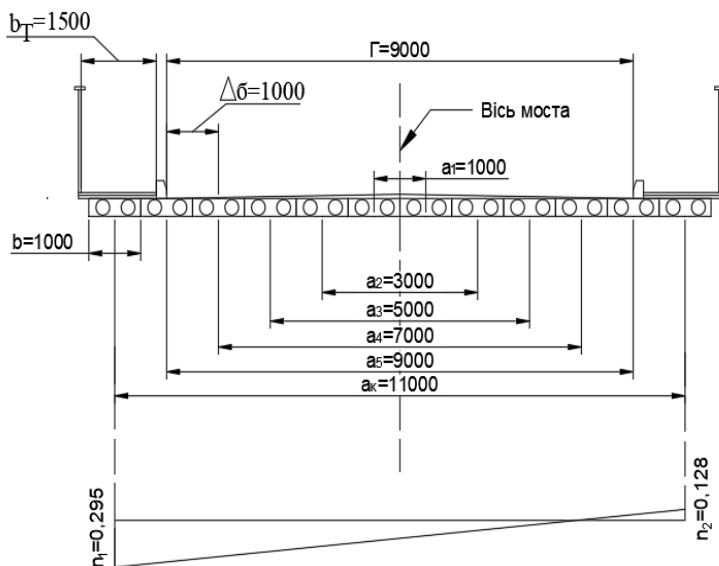


Рис.7 – Епюра коефіцієнтів поперечної установки

Ординати лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови автодорожнього мосту дороги III-ої категорії становлять: $\eta_1 = 0,295$, $\eta_2 = 0,128$.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.2 наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані для виконанні задачі 2.2

Номер варіанту	Ширина плити прольотної будови, м	Категорія дороги
1	1	I
2	1,1	II
3	1,2	III
4	1,3	IV
5	1,4	I
6	1,5	II

продовження табл. 4

7	1,6	III
8	1,7	IV
9	1,8	I
10	1,9	II
11	2,0	III
12	2,1	IV
13	2,2	I
14	2,3	II
15	2,4	III

Задача 2.3. Визначити коефіцієнт поперечної установки (КПУ) від натовпу на тротуарах за таких вихідних даних: габарит моста $\Gamma=8\text{м}$; ширина тротуарів $b_T=1,5\text{м}$; ширина окремих плит прольотної будови моста $b=1,2\text{м}$, а їхня кількість $n=9$; ординати (коефіцієнти) лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови моста $\eta_1 = 0,378$ і $\eta_2 = -0,156$.

Розв'язання

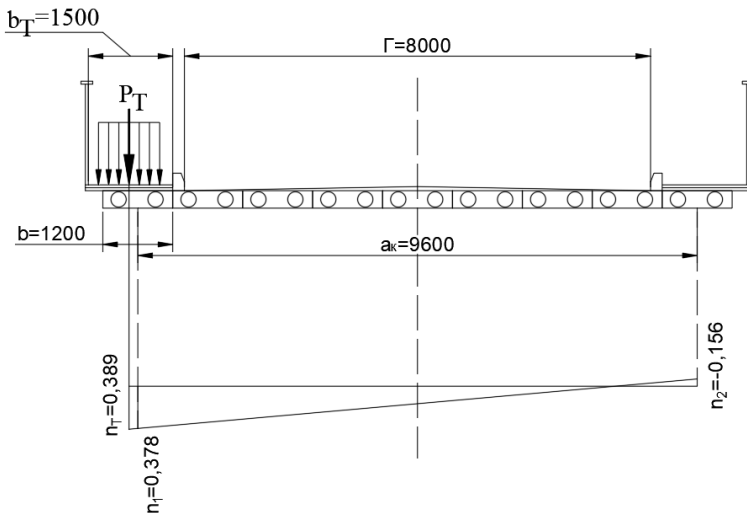


Рис.8 – Епюра коефіцієнтів поперечної установки

З подібності трикутників маємо:

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 + 0,25 + b_T/2}$$

звідки знаходимо ординату лінії впливу тиску під центром відповідної смуги руху (навантаження):

$$\eta_T = \frac{(\eta_1 - \eta_2)(a_k/2 + \Gamma/2 + 0,25 + b_T/2)}{a_k} + \eta_2 =$$

$$= \frac{(0,378 + 0,156)(9,6/2 + 8/2 + 0,25 + 1,5/2)}{9,6} - 0,156 = 0,389$$

Коефіцієнт поперечної установки від натовпу на тротуарах дорівнюватиме $KПУ_T = \eta_T = 0,389$.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.3 наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Вихідні дані для виконанні задачі 2.3

Номер варіант у	Коеф. поперечно ї установки		Габари т мосту, м	Ширина плити пролітно ї будови, м	К- сть пли т	Ширина тротуарів, м
	η_1	$i \eta_2$				
1	0,31	0,11	10	1	12	1,2
2	0,32	0,12	11	1,1	11	1,3
3	0,33	0,13	12	1,2	12	1,4
4	0,34	0,14	13	1,3	13	1,5
5	0,35	0,15	14	1,4	14	1,2
6	0,36	0,16	10	1,5	15	1,3
7	0,37	0,17	11	1,6	16	1,4
8	0,38	0,18	12	1,7	17	1,5
9	0,39	0,19	13	1,8	18	1,2

продовження табл. 5

10	0,4	0,20	14	1,1	11	1,3
11	0,41	0,21	10	1,2	12	1,4
12	0,42	0,22	11	1,3	13	1,5
13	0,43	0,23	12	1,4	14	1,2
14	0,44	0,24	13	1,5	15	1,3
15	0,45	0,25	14	1,6	16	1,4

Задача 2.4. Визначити коефіцієнт поперечної установки (КПУ) від автомобільного смугового навантаження АК без завантаження тротуарів за таких вихідних даних: габарит моста $\Gamma=11,5$ м; ширина тротуарів $b_T=1,5$ м; ширини смуг безпеки $\Delta_B=2,0$ м; ширина окремих плит прольотної будови моста $b=1,0$ м; а їхня кількість $n=14$; ординати (коефіцієнти) лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови моста $\eta_1=0,257$ і $\eta_2=-0,114$.

Розв'язання

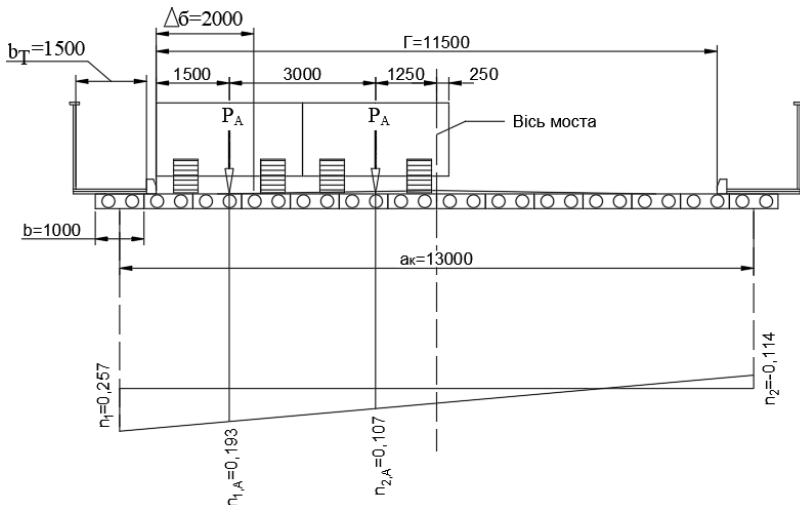


Рис.9 – Епюра коефіцієнтів поперечної установки

З подібності трикутників маємо:

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_{1,A} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - 1,5}$$

та

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_{1,A} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - 1,5 - 3}$$

Звідки знаходимо ординату лінії впливу тиску під центром відповідної смуги руху (навантаження):

$$\begin{aligned} \eta_{1,A} &= \frac{(\eta_1 - \eta_2)(a_k/2 + \Gamma/2 - 1,5)}{a_k} + \eta_2 = \\ &= \frac{(0,257 + 0,114)(13/2 + 11,5/2 - 1,5)}{13} - 0,114 = 0,193; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_{1,A} &= \frac{(\eta_1 - \eta_2)(a_k/2 + \Gamma/2 - 1,5 - 3)}{a_k} + \eta_2 = \\ &= \frac{(0,257 + 0,114)(13/2 + 11,5/2 - 1,5 - 3)}{13} - 0,114 = 0,107; \end{aligned}$$

Коефіцієнт поперечної установки від розподіленого по смугі навантаження АК дорівнюватиме:

$$КПУ_{A,C} = \eta_{1,A} \cdot S_1 + \eta_{2,A} \cdot S_2 = 0,193 \cdot 1,0 + 0,107 \cdot 0,6 = 0,257.$$

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.4 наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Вихідні дані для виконання задачі 2.4

Номер варіант у	Коеф. поперечно ї установки		Габари т мосту, м	Ширина плити пролітно ї будови, м	К- сть пли т	Ширина тротуарів, м
	η_1	$i \eta_2$				
1	0,41	0,13	10	1	12	1,2
2	0,42	0,15	11	1,1	11	1,3
3	0,43	0,16	12	1,2	12	1,4
4	0,35	0,13	13	1,3	13	1,5
5	0,36	0,11	14	1,4	14	1,2
6	0,38	0,14	10	1,5	15	1,3
7	0,39	0,19	11	1,6	16	1,4
8	0,35	0,11	12	1,7	17	1,5
9	0,40	0,12	13	1,8	18	1,2
10	0,42	0,21	14	1,1	11	1,3
11	0,43	0,17	10	1,2	12	1,4
12	0,38	0,18	11	1,3	13	1,5
13	0,41	0,13	12	1,4	14	1,2
14	0,42	0,15	13	1,5	15	1,3
15	0,45	0,16	14	1,6	16	1,4

Задача 2.5. Визначити коефіцієнт поперечної установки (КПУ) від автомобільного смугового навантаження АК при завантаження тротуарів за таких вихідних даних: габарит моста $\Gamma=8$ м; ширина тротуарів $b_T=1,5$ м; ширини смуг безпеки $\Delta_B=1,0$ м; ширина окремих плит прольотної будови моста $b=1,8$ м; а їхня кількість $n=6$ шт ; ординати (коефіцієнти) лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови моста $\eta_1=0,524$ і $\eta_2=-0,190$.

Розв'язання

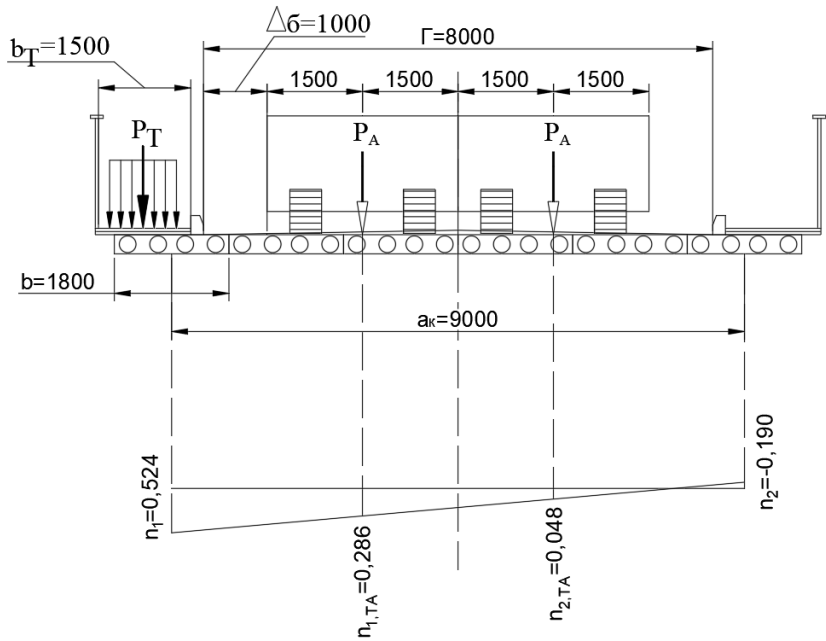


Рис.10 – Схема мосту та епюра коефіцієнтів поперечної установки

З подібності трикутників маємо:

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_{1,TA} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta_{\delta} - 1,5}$$

та

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_{1,TA} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta_{\delta} - 1,5 - 3}$$

Звідки знаходимо ординату лінії впливу тиску під центром відповідної смуги руху (навантаження):

$$\eta_{1,TA} = \frac{(\eta_1 - \eta_2)(a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta_{\delta} - 1,5)}{a_k} + \eta_2 =$$

$$= \frac{(0,524 + 0,190)(9/2 + 8/2 - 1 - 1,5)}{9} - 0,190 = 0,286;$$

$$\eta_{1,TA} = \frac{(\eta_1 - \eta_2)(a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta_{\delta} - 1,5 - 3)}{a_k} + \eta_2 =$$

$$= \frac{(0,524 + 0,190)(9/2 + 8/2 - 1 - 1,5 - 3)}{9} - 0,190 = 0,048;$$

Коефіцієнт поперечної установки від розподіленого по смугі навантаження АК дорівнюватиме:

$$\text{КПУ}_{\text{ТА,С}} = \eta_{1,TA} \cdot S_1 + \eta_{2,TA} \cdot S_2 = 0,286 \cdot 1,0 + 0,048 \cdot 0,6 = 0,315.$$

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.5 наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 – Вихідні дані для виконанні задачі 2.5

Номер варіант у	Коеф. поперечно ї установки		Габари т мосту, м	Ширина плити пролітно ї будови, м	К- сть пли т	Ширина тротуарів, м
	η_1	η_2				
1	0,32	0,10	10	1	12	1,2
2	0,33	0,11	11	1,1	11	1,3
3	0,34	0,12	12	1,2	12	1,4

4	0,35	0,13	13	1,3	13	1,5
5	0,36	0,14	14	1,4	14	1,2
6	0,37	0,15	10	1,5	15	1,3
7	0,38	0,16	11	1,6	16	1,4

продовження табл. 7

8	0,39	0,17	12	1,7	17	1,5
9	0,40	0,18	13	1,8	18	1,2
10	0,41	0,19	14	1,1	11	1,3
11	0,42	0,20	10	1,2	12	1,4
12	0,43	0,21	11	1,3	13	1,5
13	0,44	0,22	12	1,4	14	1,2
14	0,45	0,23	13	1,5	15	1,3
15	0,46	0,24	14	1,6	16	1,4

Задача 2.6. Визначити коефіцієнт поперечної установки (РПУ) від особливо важкого одиночного колісного навантаження НК за таких вихідних даних: габарит моста $\Gamma=11,5$ м; ширина тротуарів $b_T=1,5$ м; ширини смуг безпеки $\Delta_B= 2,0$ м; ширина окремих плит прольотної будови моста $b=1,2$ м; а їхня кількість $n=12$ шт ; ординати (коефіцієнти) лінії впливу тиску під центрами ваги крайніх плит прольотної будови моста $\eta_1=0,295$ і $\eta_2=-0,128$.

Розв'язання

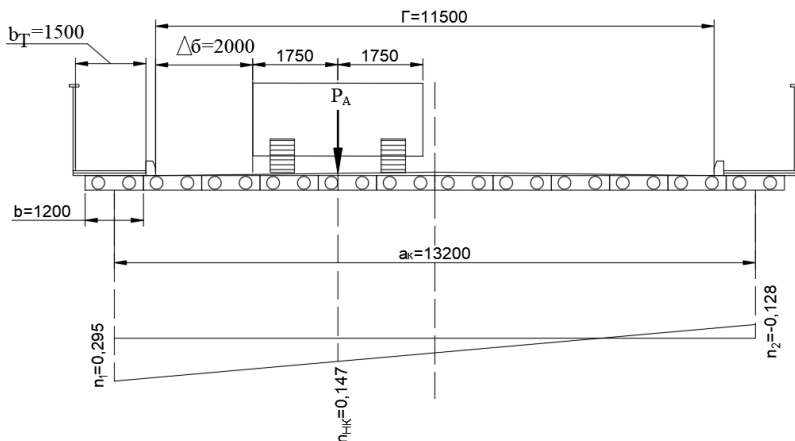


Рис.11 – Схема мосту та еюра коефіцієнтів поперечної установки

З подібності трикутників маємо:

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{a_k} = \frac{\eta_{HK} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta\delta - 1,75}$$

Звідки знаходимо ординату лінії впливу тиску під центром відповідного навантаження:

$$\begin{aligned} \eta_{HK} &= \frac{\eta_{HK} - \eta_2}{a_k/2 + \Gamma/2 - \Delta\delta - 1,75} + \eta_2 = \\ &= \frac{(0,295 + 0,128)(13,2/2 + 11,5/2 - 2 - 1,75)}{13,2} - 0,128 \\ &= 0,147; \end{aligned}$$

Коефіцієнт поперечної установки від особливо важкого одиночного колісного навантаження НК-80 дорівнюватиме:

$$\text{КПУ}_{\text{НЛ}} = \eta_{HK} = 0,147.$$

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №2.6 наведено в таблиці 8.

Таблиця 8 – Вихідні дані для виконанні задачі 2.6

Номер варіант у	Коеф. поперечно ї установки		Габари т мосту, м	Ширина плити пролітно ї будови, м	К- сть пли т	Ширина тротуарів, м
	η_1	$i \eta_2$				
1	0,41	0,15	10	1	12	1,2
2	0,42	0,16	11	1,1	11	1,3
3	0,43	0,17	12	1,2	12	1,4
4	0,44	0,18	13	1,3	13	1,5
5	0,45	0,19	14	1,4	14	1,2
6	0,46	0,20	10	1,5	15	1,3
7	0,47	0,21	11	1,6	16	1,4

продовження табл. 8

8	0,48	0,22	12	1,7	17	1,5
9	0,49	0,23	13	1,8	18	1,2
10	0,50	0,24	14	1,1	11	1,3
11	0,51	0,25	10	1,2	12	1,4
12	0,52	0,26	11	1,3	13	1,5
13	0,53	0,27	12	1,4	14	1,2
14	0,54	0,28	13	1,5	15	1,3
15	0,55	0,29	14	1,6	16	1,4

3. Визначення згинаючого моменту в несучому елементі прогонової будови

Визначити згинаючий момент від тимчасових розрахункових навантажень і натовпу на тротуарах в пролітній конструкції мосту за таких вихідних даних: розрахунковий проліт $l_p = 19,6$ м; коефіцієнт поперечної установки для смугового

навантаження КПУ_{ТАС} = 0,27; коефіцієнт поперечної установки для возика КПУ_{ТАВ} = 0,3;– коефіцієнт поперечної установки від натовпу на тротуарах КПУ_Т = 0,41; модель навантаження від рухомого складу типу АК (клас навантаження К=11); погонне навантаження від власної ваги конструкцій пролітної будови q_к = 12,91 кН/м; погонне навантаження від конструкцій дорожнього одягу (вище пролітної будови) пролітної будови q_г = 5,04 кН/м; ширина тротуарів b_{тр}=1,5 м.

Розв'язання.

Нормативні значення тимчасових навантажень становлять:

1) для автомобільного транспорту:

- на вісь возика $P_A=9,81 \cdot K=9,81 \times 11=107,91$ кН;

- від смугового навантаження $v=0,981 \times K=0,981 \times 11=8,82$ кН;

2) від натовпу на тротуарах:

$$P_T=4,0-0,02 \cdot \lambda=4,0-0,02 \cdot 19,6=3,61 \text{ кПа} \geq 2,0 \text{ кПа};$$

де λ – довжина завантаження тротуару, рівна довжині прольоту ($\lambda=l_p$).

Коефіцієнт динамічності автомобільного навантаження A11 для возика і смугового навантаження знаходять за формулою:

$$(1 + \mu)_A = 1 + \frac{45-\lambda}{135} = 1 + \frac{45-19,6}{135} = 1,188 \geq 1,0.$$

Коефіцієнти надійності за навантаженням для навантаження від натовпу на тротуарах приймаємо $\gamma_{f,T}=1,2$.

Для автомобільного навантаження A11 коефіцієнт надійності за навантаженням приймають такими:

- для смугового навантаження $\gamma_{f,AC}=1,2$;
- для возика – за формулою

$$\gamma_{f,AB} = 1,5 - 0,01 \cdot \lambda = 1,5 - 0,01 \cdot 19,6 = 1,304 \geq 1,2.$$

Для визначення згинаючих моментів у прольоті несучого елемента побудуємо епюру лінії впливу моменту на прольотну будову моста (рис. 12) та знайдемо площу цієї епюри за формулою:

$$\omega_M = \frac{1}{2} l_p \frac{l_p}{4} = \frac{l_p^2}{8} = \frac{19,6^2}{8} = 48,02 \text{ м}^2.$$

Згинаючі моменти в плитах (елементах) прольотної будови визначаємо від комбінації постійних та тимчасових навантажень шляхом завантаження вище зазначеної лінії впливу.

Згинаючий момент від постійних розрахункових навантажень обчислюємо за формулою:

$$M_{l,n} = (q_{k,n} + q_{g,n}) \gamma_f \omega_M = (12,91 + 5,04) \cdot 48,02 = 862,10 \text{ кМ}.$$

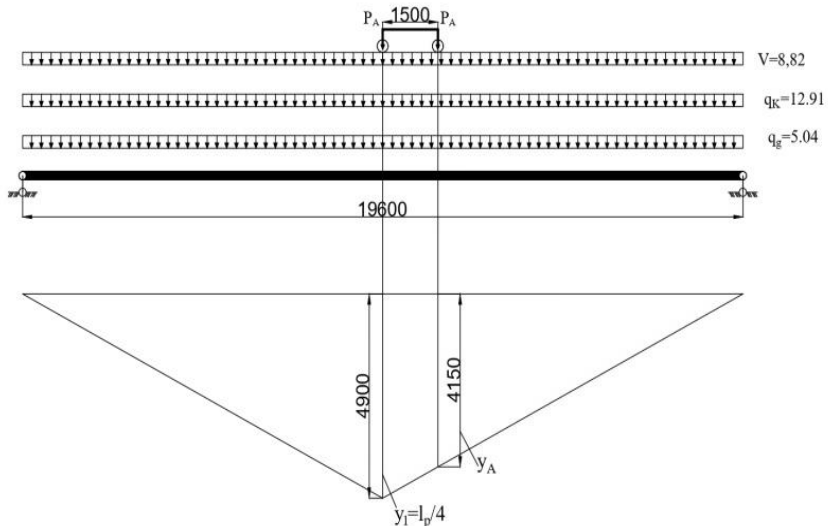


Рис. 12 – Епюра лінії впливу моменту на прольотну будову моста

Моменти від відповідно тимчасових розрахункових навантажень визначаємо для автомобільного А11 і натовпу на тротуарах:

$$M_{TA} = (1 + \mu)_{AYf,AC} v \omega_M K_{PY_{TA,C}} + (1 + \mu)_{AYf,AB} P_A \cdot (y_1 + y_A) K_{PY_{TA,B}} + \gamma_{f,T} P_T b_{TP} \omega_M K_{PY_T} = 1,188 \cdot 1,2 \cdot 8,82 \cdot 48,02 \cdot 0,27 + 1,188 \cdot 1,304 \cdot 88,29 \cdot (4,9 + 4,15) \cdot 0,30 + 1,2 \cdot 3,61 \cdot 1,5 \cdot 48,02 \cdot 0,413 = 641,35 \text{ кНм.}$$

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №3 наведено в таблиці 9.

Таблиця 9 – Вихідні дані для виконанні задачі 3

Номер варіанту	Коеф. поперечної установки			Клас навантаження для моделі АК, К	Проліт мосту, l _p , м	Ширина тротуарів, b _{тр} , м	Погонне навантаження q _к , кН/м	Погонне навантаження q _в , кН/м
	K _{PU_{TA,C}}	K _{PU_T}	K _{PU_{TA,B}}					
1	0,27	0,41	0,30	15	18	1,2	12	5
2	0,28	0,42	0,31	11	19	1,3	13	6
3	0,29	0,43	0,32	15	20	1,4	14	7
4	0,30	0,44	0,33	11	21	1,5	15	8
5	0,31	0,45	0,34	15	22	1,2	16	9
6	0,32	0,46	0,35	11	18	1,3	17	10
7	0,33	0,47	0,36	15	19	1,4	18	11
8	0,34	0,48	0,37	11	20	1,5	19	12
9	0,35	0,49	0,38	15	21	1,2	20	13
10	0,36	0,50	0,39	11	22	1,3	21	14

11	0,37	0,51	0,40	15	18	1,4	22	15
12	0,38	0,52	0,41	11	19	1,5	23	16
13	0,39	0,53	0,42	15	20	1,2	24	17
14	0,40	0,54	0,43	11	21	1,3	25	18
15	0,41	0,55	0,44	15	22	1,4	26	19

4. Побудова епюр активного та пасивного тиску підпірної стінки.

Задача 4. Побудувати епюри горизонтальних (бокових) активного й пасивного тисків сипкого ґрунту на підпірну стінку за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту $\gamma_{gp} = 18,0 \text{ кН/м}^3$; питома вага ґрунту $\gamma_s = 26,6 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,79$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 26^\circ$; геометричні параметри $h = 8,0 \text{ м}$; $h_1 = 1,5 \text{ м}$; $h_2 = 5,0 \text{ м}$; по горизонтальній поверхні ґрунту засипання додатково діє тимчасове суцільне рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю $q_n = 25 \text{ кН/м}^2$; (характеристичне значення).

Розв'язання.

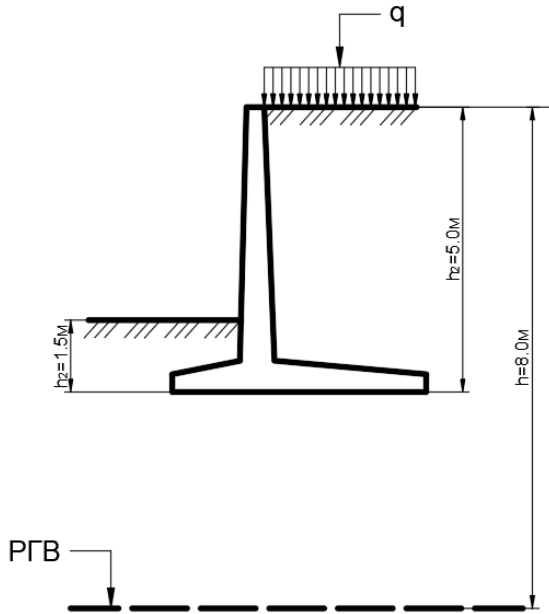


Рис.13 – Підпірна стінка

На підпірну стінку діють такі горизонтальні (бокові) тиски (характеристичні значення)

- активний тиск від власної ваги ґрунту:

$$\sigma_{a,n} = \gamma_{cp} h_2 \lambda_a = 18 \cdot 5 \cdot 0,390 = 35,1 \text{ кН/м}^2;$$

- активний тиск від додаткового тимчасового навантаження q:

$$\sigma_{q,n} = q_n \lambda_a = 25 \cdot 0,390 = 9,75 \text{ кН/м}^2;$$

- пасивний тиск (відпір) від власної ваги ґрунту:

$$\sigma_{p,n} = \gamma_{cp} h_1 \lambda_p = 18 \cdot 1,5 \cdot 2,561 = 69,15 \text{ кН/м}^2;$$

де λ_a і λ_p :

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 26^\circ/2) = 0.390$$

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ + 26^\circ/2) = 2.561$$

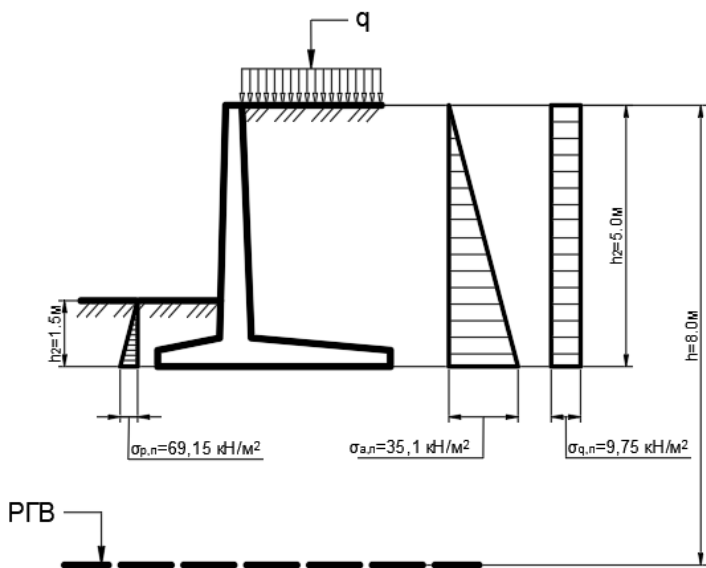


Рис.14 – Епюри горизонтальних (бокових) активного й пасивного тисків підпірної стінки

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №4 наведено в таблиці 10.

Таблица 10 – Вихідні дані для виконанні задачі 4

Но мс		Кут внутрішнь	Геометричні параметри	Рівномірно розподілене
----------	--	------------------	--------------------------	---------------------------

	Об'ємна вага грунту, γ_{cp} кН/м ³	ого тертя грунту φ , град.	h, м	h ₁ , м	h ₂ , м	навантаженн я q_n , кН/м ²
1	17,1	19	10	5	1,1	15
2	17,2	20	11	6	1,2	20
3	17,3	21	12	7	1,3	25
4	17,4	22	13	8	1,4	30
5	17,5	23	14	9	1,5	15
6	17,6	24	15	10	1,6	20
7	17,7	25	10	5	1,7	25
8	17,8	26	11	6	1,8	30
9	17,9	27	12	7	1,9	15
10	18,0	28	13	8	1,1	20
11	18,1	29	14	9	1,2	25
12	18,2	30	15	10	1,3	30
13	18,3	31	10	5	1,4	15
14	18,4	32	11	6	1,5	20
15	18,5	33	12	7	1,6	25

5. Перевірка стійкості підпірної стінки

Задача 5. Перевірити стійкість підпірної стінки проти плоского зсуву за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту(піску середньої крупності) $\gamma_{cp} = 21,8 \text{ кН/м}^3$; питома вага ґрунту $\gamma_s = 28,6 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,69$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 34^\circ$; геометричні параметри $h = 10,0 \text{ м}$; $h_1 = 3,0 \text{ м}$; $h_2 = 7,0 \text{ м}$; ординати епюр активного й пасивного тисків ґрунту на стінку $\sigma_{a,n} = 24,39 \text{ кН/м}^2$, $\sigma_{p,n} = 7,65 \text{ кН/м}^2$ і $\sigma_{p,n} = 72,04 \text{ кН/м}^2$ (характеристичні значення); сумарне навантаження від ваги стінки (лицевої плити та задній частині фундаментної плити) з урахуванням ґрунту засипання на задній частині фундаментної плити та додаткового тимчасового суцільного рівномірного розподіленого навантаження q , що діє

по горизонтальній поверхні ґрунту засипання, $\Sigma V = 509,60 \text{ кН/м}$ (граничне розрахункове значення).

Розв'язання.

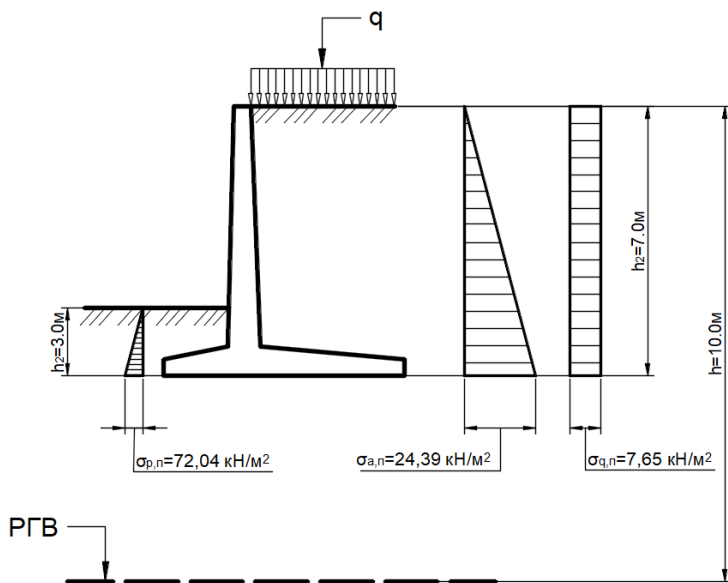


Рис.15 – Епюри горизонтальних (бокових) активного й пасивного тисків підпірної стінки

Розрахунок ведемо за першою групою граничних станів на 1 пог. м довжини стінки, тобто приймаємо розрахункову вантажну ділянку підпірної стінки шириною $l_{fa} = 1.0 \text{ м}$ і висотою h_2 .

У межах зазначеної вантажної ділянки підпірної стінки діють горизонтальні (бокові) навантаження із такими граничними розрахунковими значеннями:

- рівнодіюча сил активного тиску від власної ваги ґрунту

$$E_a = \gamma_{fm,Ea} \frac{1}{2} \sigma_{a,n} h_2 l_{fa} = 1.15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 24,39 \cdot 7,0 \cdot 1,0 = 98,17 \text{ кН}$$

- рівнодіюча сил активного тиску ґрунту від додаткового тимчасового навантаження q

$$E_q = \gamma_{fm,Eq} \sigma_{a,q} h_2 l_{fa} = 1,2 \cdot 7,65 \cdot 7,0 \cdot 1,0 = 64,26 \text{ кН}$$

- рівнодіюча сил пасивного тиску від власної ваги ґрунту

$$E_p = \gamma_{fm,Ep} \frac{1}{2} \sigma_{a,p} h_1 l_{fa} = 0,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 72,04 \cdot 3,0 \cdot 1,0 = 97,25 \text{ кН}$$

де $\gamma_{fm,Ea}$, $\gamma_{fm,Eq}$ і $\gamma_{fm,Ep}$ - коефіцієнти надійності за навантаженням, які прийняті з табл.5.1 і п 6.7 ДБН В.1.2:2006

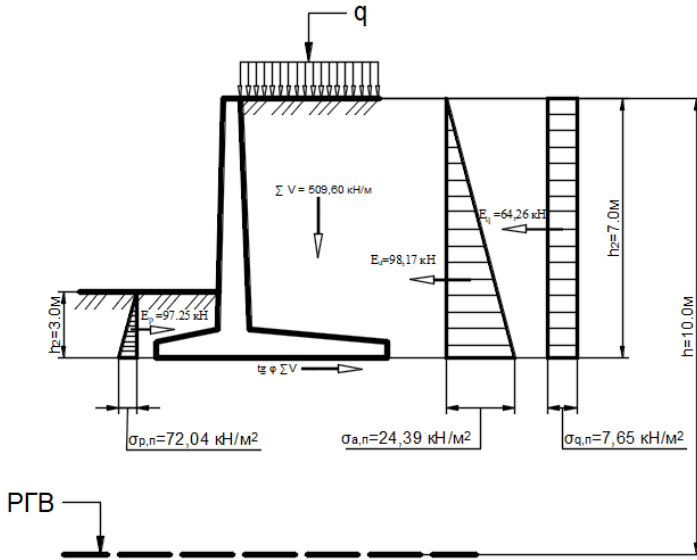


Рис.16 – Рівнодіючі сил активного та пасивного тиску

Умова стійкості підпірної стінки проти плоского зсуву має загальний вигляд:

$$\gamma_{lc} \sum F_{sa} \leq (\gamma_c \sum F_{sr}) / \gamma_n$$

Для нашого випадку маємо:

$$\gamma_{lc} \sum F_{sa} = \gamma_{lc} (E_a + E_q) = 1,0(98,17 + 64,26) = 162,43 \text{ кН} <$$

$$\begin{aligned} < \gamma_c \sum F_{sr} / \gamma_n = \gamma_c (E_p + tg \varphi \cdot \sum V) / \gamma_n \\ = 1,0(97,25 + tg 34 \cdot 509,60) / 1,2 = 367,48 \text{ кН} \end{aligned}$$

Умова виконується, отже стійкість підпірної стінки проти плаского зсуву забезпечена.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №5 наведено в таблиці 11.

Таблиця 11 – Вихідні дані для виконанні задачі 5

Номер варіанту	Об'ємна вага ґрунту, γ_{ep} кН/м ³	Кут внутрішнього тертя ґрунту φ , град.	Геометричні параметри			Сумарне навантаження $\sum V$,	Ординати епюр активного і пасивного тисків ґрунту, кН/м ²		
			h, м	h ₁ , м	h ₂ , м		$\sigma_{a,n}$	$\sigma_{q,n}$	$\sigma_{p,n}$
1	17,1	19	10	5	1,1	450	20	5	60
2	17,2	20	11	6	1,2	460	21	6	61
3	17,3	21	12	7	1,3	470	22	7	62
4	17,4	22	13	8	1,4	480	23	8	63
5	17,5	23	14	9	1,5	490	24	9	64
6	17,6	24	15	10	1,6	500	25	10	65
7	17,7	25	10	5	1,7	510	26	11	66
8	17,8	26	11	6	1,8	520	27	12	67
9	17,9	27	12	7	1,9	530	28	13	68
10	18,0	28	13	8	1,1	540	29	14	69
11	18,1	29	14	9	1,2	550	30	15	70
12	18,2	30	15	10	1,3	560	31	16	71
13	18,3	31	10	5	1,4	570	32	17	72
14	18,4	32	11	6	1,5	580	33	18	73
15	18,5	33	12	7	1,6	590	25	19	74

6. Визначення інтенсивності горизонтальних навантажень на стінки тунелю.

Задача 6.1. Визначити інтенсивність горизонтальних (бокових) навантажень (сил тиску) ґрунту на стінки тунелю для їхнього застосування у подальших розрахунках елементів тунелю за першою групою граничних станів за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту $\gamma_{sp} = 18,0 \text{ кН/м}^3$; питома вага ґрунту $\gamma_s = 26,6 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,79$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 26^\circ$; геометричні параметри $h = 2,7 \text{ м}$; $h_1 = 1,2 \text{ м}$; $h_2 = 3,4 \text{ м}$; інтенсивність прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільно рівномірно розподіленого навантаження $q_n = 25 \text{ кН/м}^2$ (характеристичне значення).

Розв'язання.

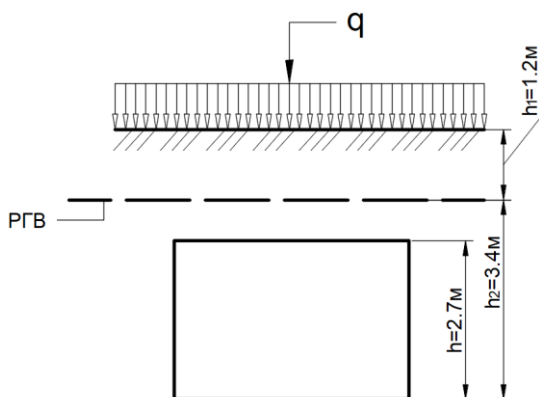


Рис.17 – Схема для розрахунку навантажень на стінки тунелю

Розрахунок ведемо за першою групою граничних станів на 1 пог. м довжини тунелю, тобто приймаємо розрахункову вантажну ділянку тунелю шириною $l_{fa} = 1,0 \text{ м}$

Розрахунковий (прогнозований) рівень ґрунтових вод (ПРГВ) розташовуємо вище заданого рівня ґрунтових вод (РГВ) на 0,5 м передбачаючи тим самим можливе підняття РГВ під час експлуатації тунелю.

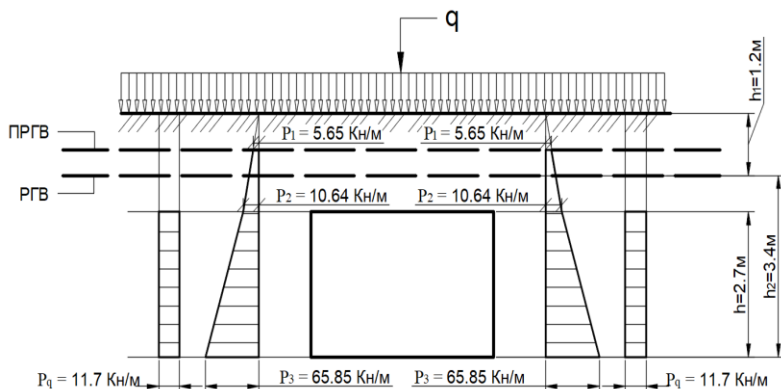


Рис.18 – Епюри розподілу бокових навантажень на стінки тунелю

Отже, у межах габаритів заглибленого тунелю діють розподілені горизонтальні (бокові) навантаження (сили тиску) із такими граничними розрахунковими значеннями:

а) від власної ваги ґрунту й ґрунтових вод:

- на розрахунковому (прогнозованому) рівні ґрунтових вод (ПРГВ):

$$p_1 = \gamma_{f, ep} \cdot \sigma_{a, (ep), n} \cdot l_{fa} = \gamma_{f, ep} \cdot (\gamma_{ep} \cdot (h_1 - 0,5) \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} =$$

$$= 1,15 \cdot (18,0 \cdot (1,2 - 0,5) \cdot 0,390) \cdot 1,0 = 5,65 \text{ кН/м}$$

- на рівні верху переkritтя тунелю:

$$p_2 = p_1 + \gamma_{f, ep} \cdot \sigma_{a, (ep), n} \cdot l_{fa} + p_w \cdot l_{fa}$$

$$= p_1 + \gamma_{f, ep} \cdot (\gamma_{sb} \cdot (h_2 + 0,5 - h) \cdot \lambda_a) \cdot$$

$$\cdot l_{fa} + (\gamma_w \cdot (h_2 + 0,5 - h)) \cdot l_{fa} =$$

$$= 5,65 + 1,15 \cdot (9,27 \cdot (3,4 + 0,5 - 2,7) \cdot 0,390)$$

$$\cdot 1,0 + (10,0 \cdot (3,4 + 0,5 - 2,7)) \cdot 1,0 = 10,64 \text{ кН/м}$$

- на рівні низу днища тунелю:

$$\begin{aligned}
 p_3 &= p_2 + \gamma_{f,ep} \cdot \sigma_{a,(ep),n} \cdot l_{fa} + p_w \cdot l_{fa} \\
 &= p_2 + \gamma_{f,ep} \cdot (\gamma_{sb} \cdot (h_2 + 0.5) \cdot \lambda_a) \cdot \\
 &\quad \cdot l_{fa} + (\gamma_w \cdot (h_2 + 0.5)) \cdot l_{fa} = \\
 &= 10,64 + 1,15 \cdot (9,27 \cdot (3,4 + 0,5) \cdot 0,390) \\
 &\quad \cdot 1,0 + (10,0 \cdot (3,4 + 0,5)) \cdot 1,0 = 65,85 \text{ кН/м}
 \end{aligned}$$

б) від прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільного рівномірно розподіленого навантаження q_n :

$$\begin{aligned}
 p_q &= \gamma_f \cdot \sigma_{q,n} \cdot l_{fa} = \gamma_f \cdot (q_n \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} = 1,2 \cdot (25 \cdot 0,390) \cdot 1,0 \\
 &= 11,70 \text{ кН/м}
 \end{aligned}$$

де

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 26/2) = 0,390$$

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w)/(1 + e) = (26,6 - 10,0)/(1 + 0,79) = 9,27 \text{ кН/м}^3$$

$\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ – питома вага води;

$\gamma_{f,ep} = 1,15$ коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для ваги насипного ґрунту ;

$\gamma_f = 1,2$ -коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для рівномірно розподіленого тимчасового навантаження інтенсивністю $\geq 2,0 \text{ кПа}$;

P_w – гідростатичний тиск.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №6.1 наведено в таблиці 12.

Таблиця 12 – Вихідні дані для виконання задачі 6.1

Но ме		Кут внутрішнь	Геометричні параметри	Рівномірно розподілене
----------	--	------------------	--------------------------	---------------------------

	Об'ємна вага грунту, γ_{sp} кН/м ³	ого тертя грунту φ , град.	h, м	h ₁ , м	h ₂ , м	навантаженн я q_n , кН/м ²
1	17,1	19	2	1,0	3,0	20
2	17,2	20	2,1	1,1	3,1	21
3	17,3	21	2,2	1,2	3,2	22
4	17,4	22	2,3	1,3	3,3	23
5	17,5	23	2,4	1,4	3,4	24
6	17,6	24	2,5	1,5	3,5	25
7	17,7	25	2,6	1,6	3,6	26
8	17,8	26	2,7	1,7	3,7	27
9	17,9	27	2,8	1,8	3,8	28
10	18,0	28	2,9	1,9	3,9	29
11	18,1	29	3,0	2,0	4,0	30
12	18,2	30	3,1	2,1	4,1	31
13	18,3	31	3,2	2,2	4,2	32
14	18,4	32	3,3	2,3	4,3	33
15	18,5	33	3,4	2,4	4,4	34

Задача 6.2. Визначити інтенсивність горизонтальних (бокових) навантажень (сил тиску) ґрунту на стінки тунелю для їхнього застосування у подальших розрахунках елементів тунелю за першою групою граничних станів за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту (піску пилюватого) $\gamma_{sp} = 19,7$ кН/м³; питома вага ґрунту $\gamma_s = 26,5$ кН/м³; коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,69$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 26^\circ$; геометричні параметри $h = 2,8$ м; $h_1 = 1,1$ м; $h_2 = 4,9$ м; інтенсивність прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільно рівномірно розподіленого навантаження $q_n = 15$ кН/м²; (характеристичне значення)

Розв'язання.

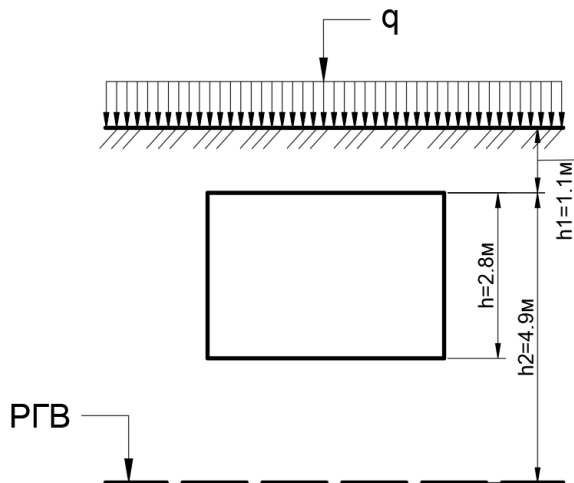


Рис.19 – Схема для розрахунку навантажень на стінки тунелю

Розрахунок ведемо за першою групою граничних станів на 1 пог. м довжини тунелю, тобто приймаємо розрахункову вантажну ділянку тунелю шириною $l_{fa} = 1,0 \text{ м}$.

Розрахунковий (прогнозований) рівень ґрунтових вод (ПРГВ) розташовуємо вище заданого рівня ґрунтових вод (РГВ) на 0,5 м передбачаючи тим самим можливе підняття РГВ під час експлуатації тунелю. Оскільки $h_1 + h_2 - 0.5 = 1,1 + 4,9 - 0,5 = 5,5 \text{ м} > h_1 + h = 1,1 + 2,8 = 3,9 \text{ м}$ то зазначений рівень ПРГВ знаходиться нижче низу днища тунелю.

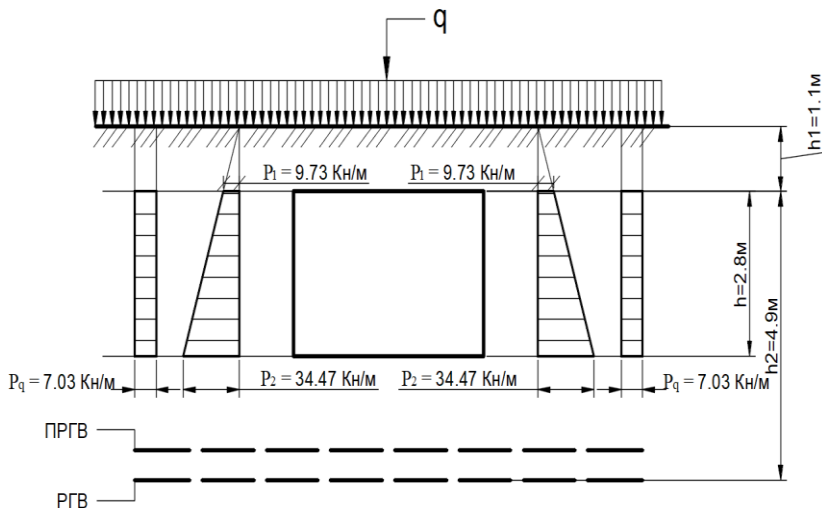


Рис.20 – Епюри розподілу бокових навантажень на стінки тунелю

Отже, у межах габаритів заглибленого тунелю діють розподілені горизонтальні (бокові) навантаження (сили тиску) із такими граничними розрахунковими значеннями:

- а) від власної ваги ґрунту
- на рівні верху перекриття тунелю

$$p_1 = \gamma_{f,zp} \cdot \sigma_{a,(zp),n} \cdot l_{fa} = \gamma_{f,zp} \cdot (\gamma_{zp} \cdot h_1 \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} =$$

$$= 1,15 \cdot (19,7 \cdot 1,1 \cdot 0,390) \cdot 1,0 = 9,73 \text{ кН/м}$$

- на рівні низу днища тунелю

$$p_2 = p_1 + \gamma_{f,zp} \cdot \sigma_{a,(zp),n} \cdot l_{fa} = p_1 + \gamma_{f,zp} \cdot (\gamma_{zp} \cdot h \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} =$$

$$= 9,72 + 1,15 \cdot (19,7 \cdot 2,8 \cdot 0,390) \cdot 1,0 = 34,47 \text{ кН/м}$$

- б) від прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільного рівномірно розподіленого навантаження q_n

$$p_q = \gamma_f \cdot \sigma_{q,n} \cdot l_{fa} = \gamma_f \cdot (q_n \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} = 1,2 \cdot (15 \cdot 0,390) \cdot 1,0 \\ = 7,03 \text{ кН/м}$$

$$\text{де } \lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 26/2) = 0,390$$

$\gamma_{f,sp} = 1,15$ коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для гаги насипного ґрунту

$\gamma_f = 1,2$ коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для рівномірно розподіленого тимчасового навантаження інтенсивністю $\geq 2,0$ кПа

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №6.2 наведено в таблиці 13.

Таблиця 13 – Вихідні дані для виконанні задачі 6.2.

Номер варіанту	Об'ємна вага ґрунту, γ_{sp} кН/м ³	Кут внутрішнь ого тертя ґрунту φ , град.	Геометричні параметри			Рівномірно розподілене навантаженн я q_n , кН/м ²
			h, м	h ₁ , м	h ₂ , м	
1	17,1	19	2	1,0	3,0	30
2	17,2	20	2,1	1,1	3,1	31
3	17,3	21	2,2	1,2	3,2	32
4	17,4	22	2,3	1,3	3,3	33
5	17,5	23	2,4	1,4	3,4	34
6	17,6	24	2,5	1,5	3,5	35
7	17,7	25	2,6	1,6	3,6	36
8	17,8	26	2,7	1,7	3,7	37
9	17,9	27	2,8	1,8	3,8	38
10	18,0	28	2,9	1,9	3,9	39
11	18,1	29	3,0	2,0	4,0	40
12	18,2	30	3,1	2,1	4,1	41
13	18,3	31	3,2	2,2	4,2	42
14	18,4	32	3,3	2,3	4,3	43
15	18,5	33	3,4	2,4	4,4	44

Задача 6.3. Визначити інтенсивність горизонтальних (бокових) навантажень (сил тиску) ґрунту на стінки тунелю для їхнього застосування у подальших розрахунках елементів тунелю за першою групою граничних станів за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту (піску пилюватого) $\gamma_{sp} = 19,2 \text{ кН/м}^3$; питома вага ґрунту $\gamma_s = 26,0 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,72$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 28^\circ$; геометричні параметри $h = 3,0 \text{ м}$; $h_1 = 1,3 \text{ м}$; $h_2 = 3,2 \text{ м}$; інтенсивність прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільно рівномірно розподіленого навантаження $q_n = 15 \text{ кН/м}^2$; (характеристичне значення).

Розв'язання.

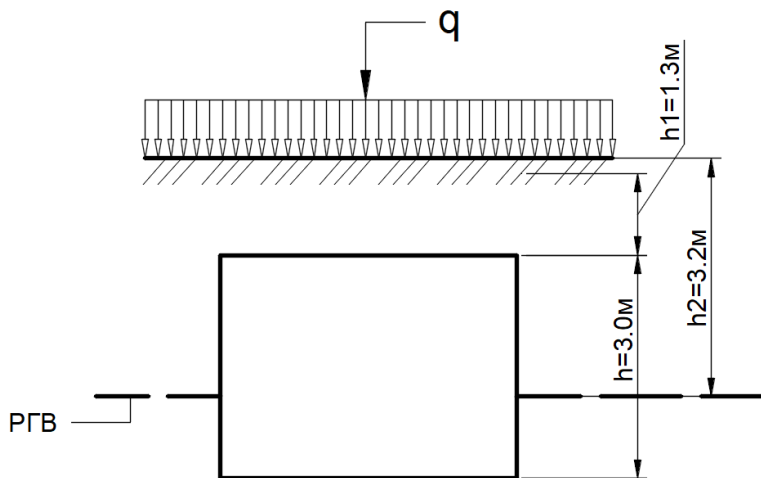


Рис.21 – Схема для розрахунку навантажень на стінки тунелю

Розрахунок ведемо за першою групою граничних станів на 1 пог. м довжини тунелю, тобто приймаємо розрахункову вантажну ділянку тунелю шириною $l_{fa} = 1,0 \text{ м}$.

Розрахунковий (прогнозований) рівень ґрунтових вод (ПРГВ) розташовуємо вище заданого рівня ґрунтових вод (РГВ) на $0,5 \text{ м}$

передбачаючи тим самим можливе підняття РГВ під час експлуатації тунелю.

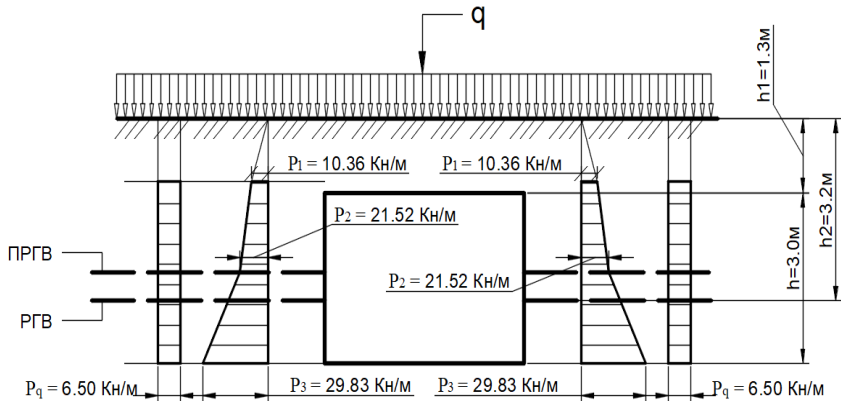


Рис.22 – Епюри розподілу бокових навантажень на стінки тунелю

Отже, у межах габаритів заглибленого тунелю діють розподілені горизонтальні (бокові) навантаження (сили тиску) із такими граничними розрахунковими значеннями:

а) від власної ваги ґрунту

- на рівні верху перекриття тунелю

$$p_1 = \gamma_{f, \text{ep}} \cdot \sigma_{a, (\text{ep}), n} \cdot l_{fa} = \gamma_{f, \text{ep}} \cdot (\gamma_{\text{ep}} \cdot h_1 \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} =$$

$$= 1,15 \cdot (19,2 \cdot 1,3 \cdot 0,361) \cdot 1,0 = 10,36 \text{ кН/м}$$

- на розрахунковому (прогнозованому) рівні ґрунтових вод (ПРГВ)

$$p_2 = p_1 + \gamma_{f, \text{ep}} \cdot \sigma_{a, (\text{ep}), n} \cdot l_{fa}$$

$$= p_1 + \gamma_{f, \text{ep}} \cdot (\gamma_{\text{ep}} \cdot (h_2 - 0,5 - h_1) \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} =$$

$$= 10,36 + 1,15 \cdot (19,2 \cdot (3,2 - 0,5 - 1,3) \cdot 0,361) \cdot 1,0$$

$$= 21,52 \text{ кН/м}$$

- на рівні низу днища тунелю

$$\begin{aligned}
 p_3 &= p_2 + \gamma_{f, ep} \cdot \sigma_{a, (ep), n} \cdot l_{fa} + p_w \cdot l_{fa} \\
 &= p_2 + \gamma_{f, ep} \cdot (\gamma_{sb} \cdot (h_1 + h - h_2 + 0,5) \cdot \lambda_a) \cdot \\
 &\quad \cdot l_{fa} + (\gamma_w \cdot (h_1 + h - h_2 + 0,5)) \cdot l_{fa} = \\
 &= 21,52 + 1,15 \cdot (9,30 \cdot (1,3 + 3 - 3,2 + 0,5) \cdot 0,361) \\
 &\quad \cdot 1,0 + (10,0 \cdot (1,3 + 3 - 3,2 + 0,5)) \cdot 1,0 = 29,83 \text{ кН/м}
 \end{aligned}$$

б) від прикладеного до горизонтальної поверхні ґрунту засипання додаткового тимчасового суцільного рівномірно розподіленого навантаження q_n

$$\begin{aligned}
 p_q &= \gamma_f \cdot \sigma_{q, n} \cdot l_{fa} = \gamma_f \cdot (q_n \cdot \lambda_a) \cdot l_{fa} = 1,2 \cdot (15 \cdot 0,361) \cdot 1,0 \\
 &= 6,50 \text{ кН/м}
 \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
 \lambda_a &= \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 28/2) = 0,361 \\
 \gamma_{sb} &= (\gamma_s - \gamma_w)/(1 + e) = (26,0 - 10,0)/(1 + 0,72) = 9,30 \text{ кН/м}^3 \\
 \gamma_w &= 10 \text{ кН/м}^3 - \text{питома вага води} \\
 \gamma_{f, ep} &= 1,15 \text{ коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для ваги насипного ґрунту} \\
 \gamma_f &= 1,2 \text{ коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для рівномірно розподіленого тимчасового навантаження інтенсивністю } \geq 2,0 \text{ кПа} \\
 P_w &- \text{гідростатичний тиск.}
 \end{aligned}$$

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №6.3 наведено в таблиці 14.

Таблиця 14 – Вихідні дані для виконання задачі 6.3

Номер варіанту	Об'ємна вага грунту, γ_{cp} кН/м ³	Кут внутрішнь ого тертя грунту φ , град.	Геометричні параметри			Рівномірно розподілене навантаженн я q_n , кН/м ²
			h, м	h ₁ , м	h ₂ , м	
1	17,1	19	2	1,0	3,0	40
2	17,2	20	2,1	1,1	3,1	41
3	17,3	21	2,2	1,2	3,2	42
4	17,4	22	2,3	1,3	3,3	43
5	17,5	23	2,4	1,4	3,4	44
6	17,6	24	2,5	1,5	3,5	45
7	17,7	25	2,6	1,6	3,6	46
8	17,8	26	2,7	1,7	3,7	47
9	17,9	27	2,8	1,8	3,8	48
10	18,0	28	2,9	1,9	3,9	49
11	18,1	29	3,0	2,0	4,0	50
12	18,2	30	3,1	2,1	4,1	51
13	18,3	31	3,2	2,2	4,2	52
14	18,4	32	3,3	2,3	4,3	53
15	18,5	33	3,4	2,4	4,4	54

7. Розрахунок залізобетонного резервуару на спливання.

Задача 7. Перевірити умову спливання залізобетонного резервуару за таких вихідних даних: об'ємна вага ґрунту (піску пилюватого) $\gamma_{cp} = 16,7 \text{ кН/м}^3$; питома вага ґрунту $\gamma_s = 26,6 \text{ кН/м}^3$ коефіцієнт пористості ґрунту $e = 0,76$; кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 26^\circ$; геометричні параметри $h_1 = 2,0 \text{ м}$; $h_2 = 2,0 \text{ м}$; діаметр резервуару $D = 8,0 \text{ м}$; вага резервуару $G_n = 1700 \text{ кН}$; (характеристичне значення).

Розв'язання.

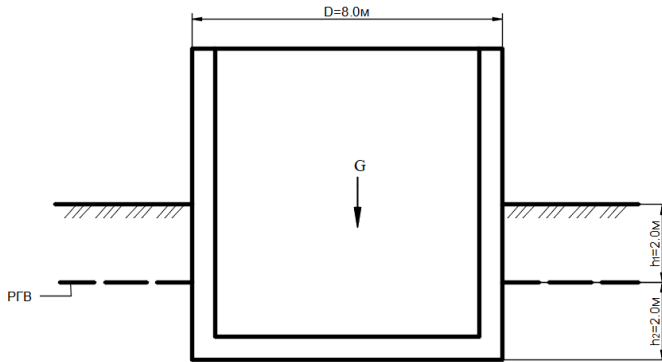


Рис.23 – Епюра коефіцієнтів поперечної установки

Розрахунок ведемо за першою групою граничних станів

Розрахунковий (прогнозований) рівень ґрунтових вод (ПРГВ) розташовуємо вище заданого рівня ґрунтових вод (РГВ) на 0.5 м, передбачаючи там самим можливе підняття РГВ під час експлуатації тунелю

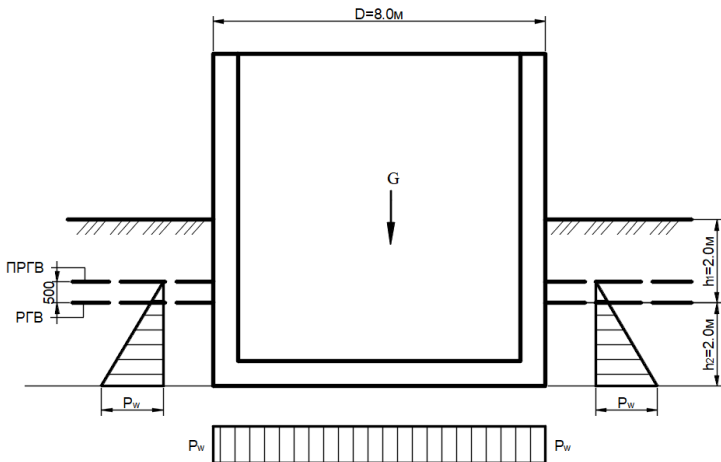


Рис.24 – До розрахунку залізобетонного резервуару

Перевірку резервуара на спливання виконуємо за формулою

$$T_{утр} \geq \gamma_{ет} \cdot T_{вишт}$$

де $T_{утр}$ і $T_{вишт}$ – відповідно утримуюче й виштовхувальне навантаження

$\gamma_{ет}$ - коефіцієнт надійності від спливання, який приймається $\gamma_{ет} = 1,2$;

Величина граничного значення розрахункової виштовхувальної сили від гідростатичного тиску (грунтових вод), прикладеного до днища резервуара зовні, становить

$$\begin{aligned} T_{вишт} &= p_w \cdot A_D = \gamma_w \cdot (h_2 + 0,5) \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \\ &= 10 \cdot (2,0 + 0,5) \cdot 3,14 \cdot 8,0^2 / 4 = 1256 \text{ кН} \end{aligned}$$

а величина граничного значення розрахункової утримуючої сили від власної ваги спорожненого резервуара дорівнює

$$T_{утр} = \gamma_f \cdot G_n = 0,9 \cdot 1700 = 1530 \text{ кН}$$

де p_w – гідростатичний тиск (тиск ґрунтових вод) на стіни й днище резервуара

$\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ – питома вага води

A_D – площа днища резервуара

γ_f – коефіцієнт надійності за граничним навантаженням для власної ваги окремих елементів резервуара приймають $\gamma_f = 0,9$

Оскільки $T_{утр} = 1530 \text{ кН} > \gamma_{ет} \cdot T_{вишт} = 1,2 \cdot 1256 = 1507,2 \text{ кН}$ то стійкість резервуара проти спливання забезпечена.

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №7 наведено в таблиці 15.

Таблиця 15 – Вихідні дані для виконання задачі 7.

Номер варіанту	Геометричні параметри			Вага резервуару G_n , кН
	h_1 , м	h_2 , м	D, м	
1	2	3	6	1100
2	3	2	5	1200
3	4	1	4	1300
4	1	4	8	1400
5	2	5	7	1500
6	5	2	6	1600
7	3	3	5	1700
8	4	4	6	1800
9	1	3	7	1900
10	3	1	8	2000
11	2	4	6	2100
12	4	2	7	2200
13	5	3	8	2300
14	3	5	9	2400
15	4	2	6	2500

1.8 Визначення внутрішніх зусиль в поперечному перерізі водопропускної труби.

Задача 8.1. Визначити внутрішні зусилля залізобетонної круглої водопропускної труби в трьох положеннях поперечного перерізу (кута $\beta = 0^\circ; \beta = 30^\circ; \beta = 45^\circ; \beta = 60^\circ; \beta = 90^\circ$). Зовнішній радіус водопропускної труби $r_2 = 1,2$ м; внутрішній радіус - $r_1 = 1,0$ м; рівномірно розподілене постійне навантаження $q_p = 30$ кН/м; рівномірно розподілене тимчасове навантаження $q_v = 20$ кН/м; внутрішній гідравлічний тиск становить $p_{int} = 3$ кН/м².

Розв'язання.

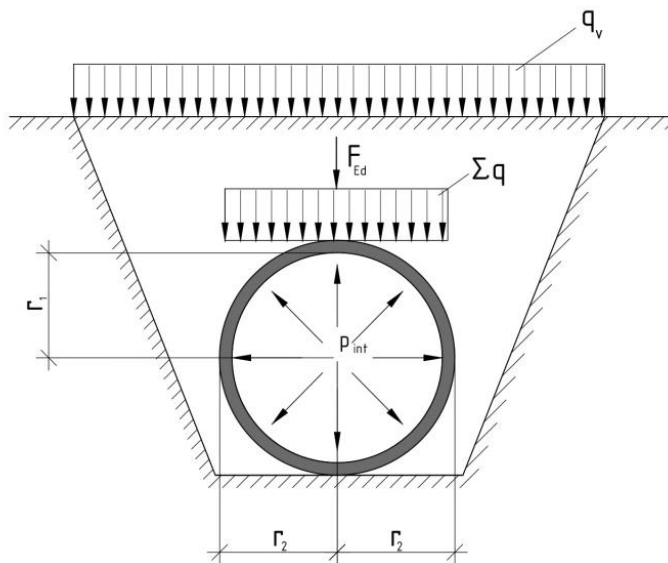


Рис.25 – Схема водопропускної труби

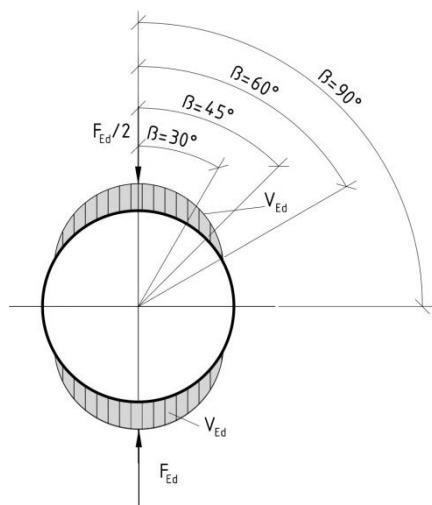


Рис.26 – Схема з точками розрахунку поперечного перерізу водопропускної труби

Рівнодіюча зовнішнього навантаження становить:

$$F_{Ed} = 2 \cdot r_2 \cdot \sum q = 2 \cdot 1,2 \cdot (30 + 20) = 120 \text{ кН}$$

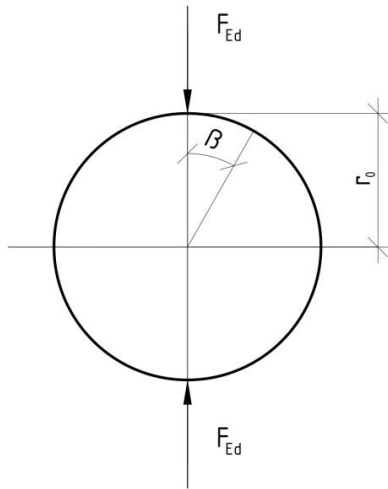


Рис.27 – Схема прикладання рівнодіючої зовнішнього навантаження F_{Ed}

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$M_{Ed}^0 = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 0^\circ) = 41,97 \text{ кНм};$$

де r_0 - радіус серединної осі труби

$$r_0 = 0,5(r_1 + r_2) = 0,5(1,0 + 1,2) = 1,1 \text{ м}$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$M_{Ed}^{30} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 30^\circ) = -24,02 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$M_{Ed}^{45} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 45^\circ) = -51,36 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$M_{Ed}^{60} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 60^\circ) = -72,34 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$M_{Ed}^{90} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 90^\circ) = -90,02 \text{ кНм};$$

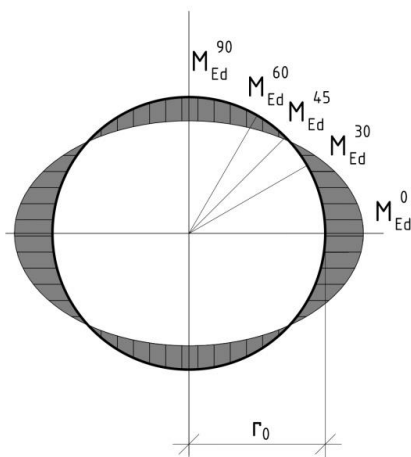


Рис.28 – Елюра розподілу згинаючих моментів в поперечному перерізі водопропускної труби

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$N_{Ed,1}^0 = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 0^\circ = 0 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{30} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 30^\circ = -30 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{45} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 45^\circ = -42,43 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{60} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 60^\circ = -51,96 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{90} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 90^\circ = -60 \text{ кН};$$

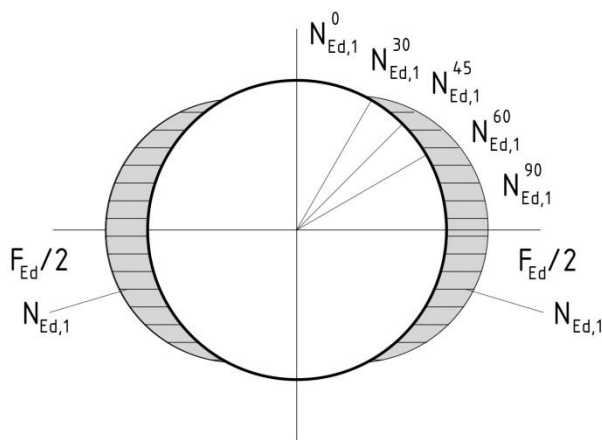


Рис.29 – Епюра розподілу поздовжніх (горизонтальних) зусиль від дії зовнішніх навантажень

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$V_{Ed}^0 = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 0^\circ = 60 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$V_{Ed}^{30} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 30^\circ = 51,96 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$V_{Ed}^{45} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 45^\circ = 42,42 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$V_{Ed}^{60} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 60^\circ = 30 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$V_{Ed}^{90} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ кН};$$

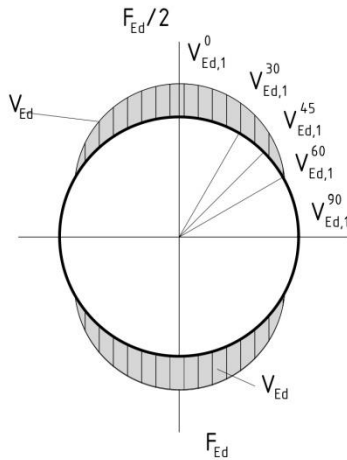


Рис.30 – Епюра розподілу поздовжніх (вертикальних) зусиль від дії зовнішніх навантажень

Значення поздовжньої сили від внутрішніх (тиску з середини) навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби:

$$N_{Ed,2} = +p_{int} \cdot r_0 \cdot b = 3 \cdot 1,1 \cdot 1 = 3,3 \text{ кН}$$

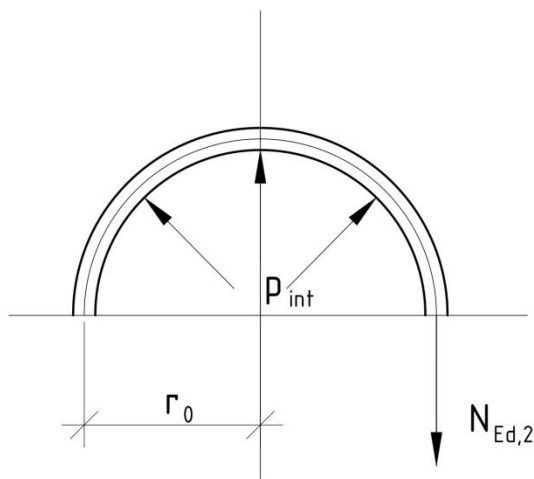


Рис.31 – До визначення зусилля від внутрішнього навантаження (тиску води)

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №8.1 наведено в таблиці 16.

Таблиця 16 – Вихідні дані для виконання задачі 8.1

Номер варіанту	Рівномірно розподілене постійне навантаження q_p , кН/м	Рівномірно розподілене тимчасове навантаження q_v , кН/м	Зовнішній радіус труби, r_2 , м	Внутрішній радіус труби, r_1 , м	Внутрішній гідравлічний тиск становить p_{int} кН/м ²
1	10	15	1,2	1,0	3
2	20	20	1,4	1,2	4
3	30	25	1,6	1,4	5
4	40	30	1,8	1,6	6

продовження табл. 8

5	50	35	2,0	1,8	3
6	60	40	1,2	1,0	4
7	70	45	1,4	1,2	5
8	80	50	1,6	1,4	6
9	90	55	1,8	1,6	3
10	100	60	2,0	1,8	4
11	110	65	1,2	1,0	5
12	120	70	1,4	1,2	6
13	130	75	1,6	1,4	3
14	140	80	1,8	1,6	4
15	150	85	2,0	1,8	5

Задача 8.2. Визначити внутрішні зусилля залізобетонної круглої водопропускної труби в трьох положеннях поперечного перерізу (кута $\beta = 0^\circ; \beta = 30^\circ; \beta = 45^\circ; \beta = 60^\circ; \beta = 90^\circ$). Зовнішній радіус водопропускної труби $r_2 = 1,2$ м; внутрішній радіус - $r_1 = 1,0$ м; рівномірно розподілене постійне навантаження $q_p = 20$ кН/м; рівномірно розподілене тимчасове навантаження $q_v = 30$ кН/м.

Розв'язання.

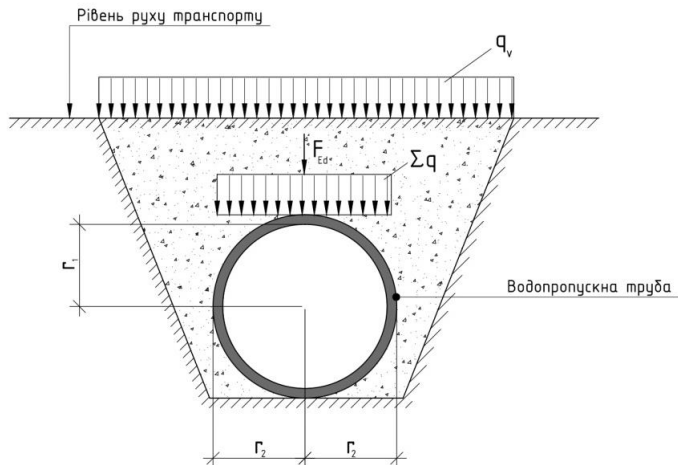


Рис.32 – Схема водопропускної труби

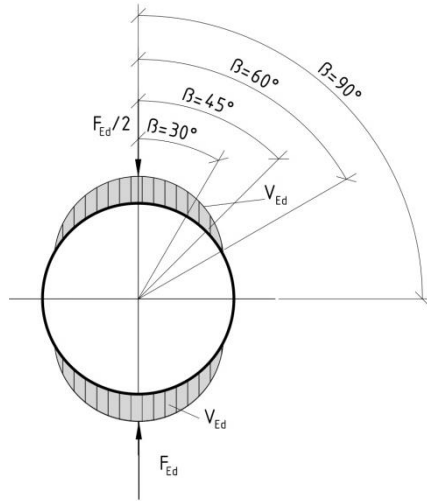


Рис.33 – Схема з точками розрахунку поперечного перерізу водопропускної труби

Рівнодіюча зовнішнього навантаження становить:

$$F_{Ed} = 2 \cdot r_2 \cdot \sum q = 2 \cdot 1,2 \cdot (20 + 30) = 120 \text{ кН}$$

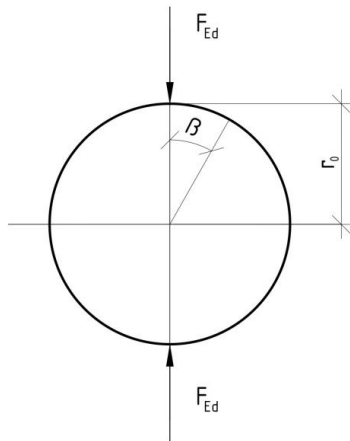


Рис.34 – Схема прикладання рівнодіючої зовнішнього навантаження F_{Ed}

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$M_{Ed}^0 = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 0^\circ) = 41,97 \text{ кНм};$$

де r_0 - радіус серединної осі труби

$$r_0 = 0,5(r_1 + r_2) = 0,5(1,0 + 1,2) = 1,1 \text{ м}$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$M_{Ed}^{30} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 30^\circ) = -24,02 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$M_{Ed}^{45} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 45^\circ) = -51,36 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$M_{Ed}^{60} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 60^\circ) = -72,34 \text{ кНм};$$

Значення згинаючого моменту від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$M_{Ed}^{90} = F_{Ed} \cdot r_0 \cdot (0,318 - 0,5 \sin \beta) = 120 \cdot 1,1 \cdot (0,318 - \sin 90^\circ) = -90,02 \text{ кНм};$$

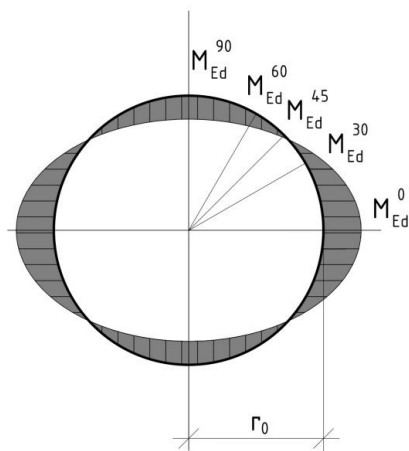


Рис.35 – Епюра розподілу згинаючих моментів в поперечному перерізі водопропускної труби

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$N_{Ed,1}^0 = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 0^\circ = 0 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{30} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 30^\circ = -30 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{45} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 45^\circ = -42,43 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{60} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 60^\circ = -51,96 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (горизонтальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$N_{Ed,1}^{90} = -0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \sin \beta = -0,5 \cdot 120 \cdot \sin 90^\circ = -60 \text{ кН};$$

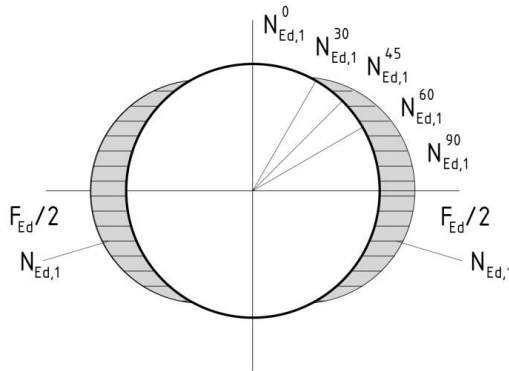


Рис.36 – Епюра розподілу поздовжніх (горизонтальних) зусиль від дії зовнішніх навантажень

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 0^\circ$:

$$V_{Ed}^0 = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 0^\circ = 60 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 30^\circ$:

$$V_{Ed}^{30} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 30^\circ = 51,96 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 45^\circ$:

$$V_{Ed}^{45} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 45^\circ = 42,42 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 60^\circ$:

$$V_{Ed}^{60} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 60^\circ = 30 \text{ кН};$$

Значення поздовжньої (вертикальної) сили від зовнішніх навантажень в поперечному перерізі водопропускної труби в точці за кута нахилу $\beta = 90^\circ$:

$$V_{Ed}^{90} = 0,5 \cdot F_{Ed} \cdot \cos \beta = 0,5 \cdot 120 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ кН};$$

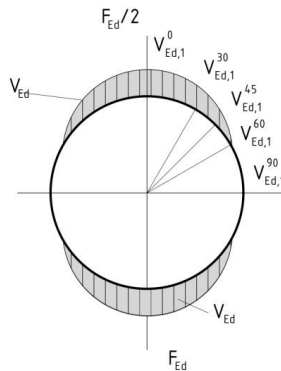


Рис.37 – Епюра розподілу поздовжніх (вертикальних) зусиль від дії зовнішніх навантажень

Завдання для виконання: вихідні дані для виконання задачі №8.2 наведено в таблиці 17.

Таблиця 17 – Вихідні дані для виконання задачі 8.1

Номер варіанту	Рівномірно розподілене постійне навантаження q_p , кН/м	Рівномірно розподілене тимчасове навантаження q_v , кН/м	Зовнішній радіус труби, r_2 , м	Внутрішній радіус труби, r_1 , м
1	10	15	1,2	1,0
2	20	20	1,4	1,2
3	30	25	1,6	1,4
4	40	30	1,8	1,6
5	50	35	2,0	1,8
6	60	40	1,2	1,0
7	70	45	1,4	1,2
8	80	50	1,6	1,4
9	90	55	1,8	1,6
10	100	60	2,0	1,8
11	110	65	1,2	1,0
12	120	70	1,4	1,2
13	130	75	1,6	1,4
14	140	80	1,8	1,6
15	150	85	2,0	1,8

Список використаної літератури

1. Білятинський О. А., Заворицький В. Й., Старовойда В. П., Хом'як Я. В. Проектування автомобільних доріг: підручник у 2-х частинах. К. : Вища школа, 1997. 518 с.
2. Бойчук В. С. Довідник дорожника. К. : Урожай, 2002. 560 с.
3. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 33 с. (Державні будівельні норми України).
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 77 с. (Державні будівельні норми України).
5. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 83 с. (Державні будівельні норми України).
6. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. Вид. офіц. К. : Мінбуд України, 2006. 368 с. (Державні будівельні норми України).
7. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 40 с. (Державні будівельні норми України).
8. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 73 с. (Державні будівельні норми України).
9. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. (Державні будівельні норми України).
10. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування (зі зміною 1). Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2014. 298 с. (Державні будівельні норми України).
11. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 117 с. (Державні будівельні норми України).
12. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура

та правила оформлювання. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с. (Національний стандарт України).

13.ДСТУ Б А.1.1-100:2013. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 48 с. (Національний стандарт України).

14. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 74 с. (Національний стандарт України).

15.ДСТУ Б А.2.4-7:2009. Система проектної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 71 с. (Національний стандарт України).

16.ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с. (Національний стандарт України).

17.Залізобетонні конструкції: підручник / А. Я. Барашиков та ін. ; за ред. А. Я. Барашикова. К. : Вища шк., 1995. 591 с.

18. Крусь Ю.О. Штучні споруди на автомобільних дорогах: мостові переходи через водотоки : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 133 с.

19. Лившиц Я. Д., Онищенко М. М., Шкуратовский А. А. Примеры расчёта железобетонных мостов : учеб. пособие. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. 263 с.

20. Лучко Й.Й., Распонов О.С. Будова та експлуатація штучних споруд. Львів : Каменярь, 2010. 868 с.

21. Масюк Г. Х. Залізобетонні конструкції інженерних споруд промислових підприємств : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 212 с.

22. Піндус Б. І., Гончаренко В. В. Проектування автомобільних доріг : навчальний посібник. Горлівка : ДонНТУ, 2013. 244 с.

23. Ромашко В. М. Міські інженерні споруди. Практикум : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 396 с.