

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра автомобільних доріг, основ і фундаментів

03-03-165М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни «Аеродроми з курсовим проектом» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІБА
Протокол № 3 від 17.12.2024 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Аеродроми з курсовим проектом» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Кузло М. Т. – Рівне : НУВГП, 2025. – 41 с.

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

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

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Караван В. В.

Попередня версія методичних вказівок 03-03-63

© М. Т. Кузло, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Вихідні дані для курсової роботи (таблиця 1,2,3).....	5
2.Приклад 1. Розрахунок одношарового бетонного покриття на піщаній штучній основі.....	9
3.Приклад 2. Розрахунок двошарового бетонного покриття на піщаній штучній основі.....	18
4. Приклад 3. Розрахунок асфальтобетонного покриття.....	26
5. Приклад 4. Розрахунок щебеневого покриття.....	34
6. Додаток А. Технічні характеристики літаків.....	40

Вступ

Курсова робота передбачає опрацювання кожним студентом конструкції двох видів аеродромного покриття – жорсткого і нежорсткого, та розрахунок їх на навантаження від заданих типів літаків.

Мета курсової роботи – закріплення і поглиблення теоретичних та практичних знань під час проектування аеродромів.

Завдання курсової роботи – оволодіння інженерними методами розрахунку та конструювання аеродромних покриттів згідно з вимогами нормативних документів; набуття навиків роботи з нормативною літературою.

Курсова робота складається з пояснювальної записки, котра має два розділи:

1. розрахунок та конструювання жорсткого аеродромного покриття;
2. розрахунок та конструювання нежорсткого аеродромного покриття.

Як ілюстративний матеріал в пояснювальну записку потрібно включати схеми розрізів конструкцій жорсткого і нежорсткого аеродромних покриттів, розрахункові схеми передачі навантаження на покриття колесами основної опори шасі літаків.

В курсовій роботі розрахунок та конструювання аеродромних покриттів потрібно виконувати для найбільш навантажених ділянок групи А.

Вихідні дані необхідно взяти з табл. 1-3 залежно від сполучення літер прізвища студента. Якщо прізвище містить менше 7 літер, то наступні (яких не вистачає) вихідні дані слід брати для останньої літери прізвища.

1. Вихідні дані для курсової роботи

Таблиця 1

Літери алфавіту	За першою літерою прізвища				За другою літерою прізвища	За третьою літерою прізвища		
	Клас аеродрому	Тип літака	N _i , зл/рік	Варіант жорсткого покриття	Штучна основа жорсткого покриття	Коефіцієнт для визначення		
						n ₁	n ₂	n ₃
А, Б, В, Г	А	Ан124-100 Іл-96 F28.Мк	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Двошарове бетонне	Піско- або ґрунто цементна	0,3	2,3	0,7
Г, Д, Е, Є	Б	В757-200 Ан-70Г Ан-26	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Одношарове армобетонне	Піщана	0,2	1,6	1,8
Ж, З, И, І	Б	Іл-86 В737-200 Як-40	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Одношарове бетонне	Піско- або ґрунто цементна	0,7	1,2	2,2
Ї, Й, К, Л	А	ІЛ-62М Ту-204 Ту-134А	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Двошарове армобетонне	Піщана	0,6	2,0	1,8

продовження таблиці 1.

М, Н, О, П	Б	ІЛ-76ТД В737-200 Ан-72	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Двошарове бетонне	Піско- або грунто цементна	0,5	1,4	0,9
Р, С, Т, У	В	Трайдегт 3 Як-42 Ан-140	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Одношарове бетонне	Піщана	0,4	1,7	1,3
Ф, Х, Ц, Ч	А	В747-200F Іл-96 Ан-74	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Одношарове армобетонне	Піско- або грунто цементна	0,2	1,8	2,1
Ш, Щ Ъ, Ю, Я	В	Ту-134А Ан-26 Іл-114	10000 n ₁ , 10000 n ₂ 10000 n ₃ ,	Одношарове армобетонне	Піщана	0,8	1,1	2,6

Примітка. Назва “ двошарове армобетонне ” означає двошарове покриття з верхнім армобетонним шаром і нижнім шаром з неармованого бетону.

Таблиця 2

Літери алфавіту	За четвертою літерою прізвища	За п'ятою літерою прізвища
	Варіант нежорсткого покриття	Місцеві будівельні матеріали для спорудження нежорсткого покриття
А, Б, В, Г	Асфальтобетонне	Щебінь з природного каменя з граничною міцністю при стисканні 80 і 60 МПа, жорства з осадових вапняків
Г, Д, Е, Є	Щебеневе	Щебінь (100 і 80 МПа), грубо - і дрібнозерниста ґрунтогравійні суміші
Ж, З, И, І	Асфальтобетонне	Щебінь (80 МПа), грубо - і дрібнозерниста ґрунтогравійні суміші
Ї, Й, К, Л	Асфальтобетонне	Щебінь (80 і 60 МПа), жорства з вивержених гірських порід
М, Н, О, П	Щебеневе	Щебінь (100 МПа), кислі металургійні шлаки
Р, С, Т, У	Асфальтобетонне	Щебінь (60 МПа), середньо - і дрібнозерниста піскощебеневі суміші
Ф, Х, Ц, Ч	Асфальтобетонне	Щебінь (80 і 60 МПа), грубо - і середньо-зерниста ґрунтогравійні суміші
Ш, Щ, Ъ, Ю, Я	Щебеневе	Щебінь (100 і 80 МПа), основні металургійні різнозернисті шлаки

Таблиця 3

Літери алфавіту	За шостою літерою прізвища			За сьомою літерою прізвища		
	Дорожньо-кліматична зона	Розташування аеродрому відносно 50 ^й північної широти	Річна амплітуда середньодобових температур °С	Тип гідрогеологічних умов	Грунт природної основи	Коефіцієнт пористості, <i>e</i>
А, Б, В, Г	II	> 50°	53,4	1	Супісок	0,62
Г, Д, Е, Є	II	50 - 43°	51,2	2	Глина	0,53
Ж, З, И, І	III	> 50°	48,5	2	Суглинок пилуватий	0,6
І, И, К, Л	III	50 - 43°	46,6	1	Супісок пилуватий	0,74
М, Н, О, П	III	>50°	50,8	1	Супісок	0,81
Р, С, Т, У	IV	50 - 43°	44,1	2	Глина	0,66
Ф, Х, Ц, Ч	IV	>50°	52,7	2	Суглинок	0,59
Ш, Щ Ь, Ю, Я	IV	50-43°	43,7	1	Супісок пилуватий	0,84

2. Приклад 1. Розрахунок одношарового бетонного покриття на піщаній штучній основі

Вихідні дані: Клас аеродрому – В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: *Трайдент 3, Як – 42, АН – 140.*

Розрахункові характеристики:

Літак Трайдент 3: нормативне навантаження на основну опору $F_n=305.1$ кН; число коліс на основній опорі $n_k=4$; відстань між центрами відбитків коліс основної опори $a_{T1}=0.3$ м, $a_{T2}=0.65$ м, $a_{T3}=0.3$ м, число осей на основній опорі $n_a=1$; внутрішній тиск повітря в пневматиках коліс основної опори $p_a=1.14$ МПа.

Літак Як – 42: $F_n=269,5$ кН, $n_k=4$, $a_T=0.62$ м, $b_T=0.98$ м, $n_a=2$, $p_a=0.88$ МПа.

Літак АН – 140: $F_n=84.5$ кН, $n_k=2$, $a_T=0.5$ м, $n_a=1$, $p_a=0.45$ МПа.

Середньорічне число зльотів (зл/рік): для Трайдент 3 $N_1=5000$ зл/рік; для Як – 42 $N_1=14000$ зл/рік; для АН – 140 $N_1=9000$ зл/рік.

Розташування району будівництва – III дорожньо-кліматична зона (в її північній частині), на північ від 50° північної широти.

Тип гідрогеологічних умов – 2. Ґрунт природної основи покриття – суглинок (з коефіцієнтом пористості $e=0,59$). Місцеві будівельні матеріали – щебень (80 МПа), грубо- і дрібнозерниста ґрунтогравійні суміші.

Розрахунок:

Розрахунок покриття виконуємо на ділянках груп А [1, п.5.48].

Розрахунок починаємо з визначення навантажувальних характеристик для літака з найбільшим нормативним навантаженням на основну опору F_n і який можливо є розрахунковим для покриття.

Літак Трайдент 3, для якого $F_n=305.1$ кН

1. Згідно з вимогами [1, п. 5.52] визначаємо розрахункове навантаження F_d на колесо основної опори літака і радіус круга R_e , рівновеликого площі відбитка пневMATика колеса на покритті:

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} \cdot K_d \cdot j_f = \frac{305.1}{4} \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 95.34 \text{ кН}$$

де $K_d=1.25$; $j_f=1.0$ (приймаємо згідно з вимогами [1, табл. 30] для ділянок покриттів групи А при $1,0 \text{ МПа} < p_a = 1,14 \text{ МПа} < 1,5 \text{ МПа}$)

$$R_e = \sqrt{\frac{F_d}{\pi p_a}} = \sqrt{\frac{95.34 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1.14 \cdot 10^6}} = 0,16 \text{ м}$$

2. Враховуючи вказівки [1, п.п. 5.3-5.6, 5.15, 5.16 і 5.24-5.26] призначаємо конструкцію одношарового бетонного покриття (рис.2.1) і приймаємо проектні класи бетону за міцністю на розтяг при згинанні $B_{\text{бтб}}4,0$ і на стискання В30 [1, табл. 20]. Розрахункові характеристики бетону беремо з [1, табл. 1 дод. 9]: розрахунковий опір розтягу при

згинанні $R_{b\text{tbl}} = 3,43$ МПа; модуль пружності важкого бетону $E_{b1} = ,24 \cdot 10^4$ МПа. Передбачаємо влаштування дренавального шару із гравелистого піску завтовшки 25см [1,табл.23].

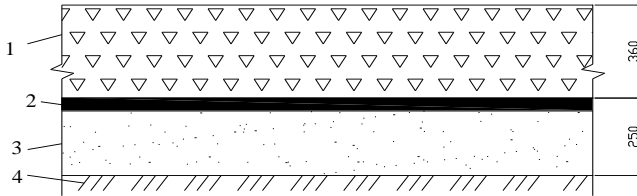


Рис. 2.1. Конструкція одношарового бетонного покриття: 1-бетон проектних класів $B_{\text{tbl}} 4,0$ і $B30$; 2-два шари пергаміну; 3-гравелистий пісок; 4-суглинок.

3. Згідно з нормами [1, п. 4.4] визначаємо глибину стискуваної товщі ґрунтової основи H_c . Залежно від навантаження на одно колесо основної опори $Fd = 95.34kH$ і числа коліс на опорі $n_k=4$ [1, табл. 15] приймаємо $H_c= 5$ м .

4. Враховуючи наявність шару штучної основи з насипного гравелистого піску, який підстеляється масивом суглинку, за вказівками [1, п. 2 дод. 5] визначаємо еквівалентний коефіцієнт постелі K_{sl} у межах стискуваної товщі ґрунтової основи. При цьому приймаємо: $t_1= 25$ м (товщина шару піску); $t_1= 0$ м .

Спочатку за даними [1, табл. 6 дод. 9] визначаємо коефіцієнт постелі насипного гравелистого піску $K_{sl} = 1.5 \cdot 10^2 MH / м^3$. Потім з норм [1, табл. дод. 4] з урахуванням другого типу гідрогеологічних умов, коефіцієнта пористості ґрунту $e = 0,59$ та розташування району будівництва у III дорожньо-кліматичній зоні (в межах України) приймаємо для суглинку в природному стані коефіцієнт постелі $K_{s3} = 50MH / м^3$.

За формулою [1, формула 1 дод. 5] обчислюємо значення еквівалентного коефіцієнта постелі:

$$K_{sl} = \frac{K_{s1} + K_{s3} \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{150 + 50 \cdot 8.54}{1 + 8.54} = 60.48MH / м^3$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6Dr - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 2,9 - 0,25)^2}{0,25 \cdot (1,6 \cdot 2,9 - 0,5 \cdot 0,25)} = 8.54$$

В наведених обчисленнях умовний діаметр передачі навантаження на основу D_r приймався рівним 2,9 м, оскільки літак Трайдент 3 відповідає III категорії нормативного навантаження (див. примітку до таблиці дод.А).

За формулою [1, формула 12] знаходимо жорсткість плити покриття на одиницю ширини розрахункового розрізу (1 м):

$$B_{sup} = 0,085 E b t^3 = 0,085 \cdot 3.24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0.36^3 = 1,28 \cdot 10^4 \text{ KH} \cdot \text{м}^2 / \text{м}$$

Згідно з нормами [1, п. 5.52] визначаємо пружну характеристику плити

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{Kse}} = \sqrt[4]{\frac{12.85 \cdot 10^7}{60.48 \cdot 10^6}} = 1,21 \text{ м}$$

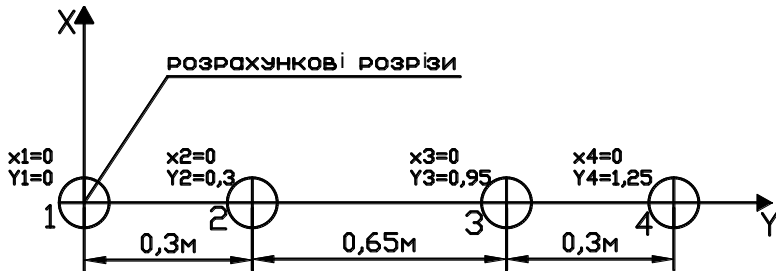


Рис. 2.2. Розрахункова схема основної опори літака Трайдент 3

7. Згідно з нормами [1, п. 5.52] знаходимо максимальні моменти в розрахункових перерізах плити, перпендикулярних осям X і Y, при центральному її навантаженні (коли центр відбитка першого колеса збігається з перетином розрахункових розрізів, як це показано на рис. 2):

$$m_{c,max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 95.34 \cdot 0,24.74 + 0,108 \cdot 95.34 + 95.34 \cdot 0.0061 + 95.34 \cdot (-0.001) = 34.37 \text{ kH} \cdot \text{м} / \text{м}$$

$$m_{c,max}(y) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 95.34 \cdot 0,24.74 + 0,1751 \cdot 95.34 + 95.34 \cdot 0.0726 + 95.34 \cdot 0.0523 = 52.19 \text{ kH} \cdot \text{м} / \text{м}$$

де $f(a)$ приймається з [1, табл. 1 дод. 10] для $a = \frac{R_e}{l} = \frac{0.16}{1.21} = 0.13$; m_{xi} і

m_{yi} беруть для кожного i -го починаючи з другого колеса основної опори з

норм[1,табл.2 дод.10] залежно від значень координат $\xi_i = \frac{y_i}{l}$ і $n_i = \frac{x_i}{l}$
(числові значення y_i і x_i показані на рис. 2.2).

Результати визначення $a, f(a), \xi_i, \eta_i, \overline{m_{x_i}}, \overline{m_{y_i}}$, наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Колесо	$a = \frac{R_g}{l}$	$f(a)$	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$n_i = \frac{x_i}{l}$	$\overline{m_{x_i}}$	$\overline{m_{y_i}}$
Перше	0,13	0,2474	-	-	-	-
Друге		-	0,25	0	0,108	0,1751
Третє	-	-	0,79	0	0,0061	0,0726
Четверте	-	-	1,03	0	-0,001	0,0523

8. Приймаємо $m_{c,max}$ як більше з одержаних значень $m_{c,max}(x)$ і $m_{c,max}(y)$:

$$m_{c,max} = m_{c,max}(y) = 52.19kHм / м$$

Аналогічним чином визначаємо $m_{c,max}$ для літаків Як – 42 та АН – 140.

Літак Як - 42, для якого $F_n = 269.5kH$

1. Згідно з вимогами [1, п. 5.52] визначаємо розрахункове навантаження F_d на колесо основної опори літака і радіус круга R_e , рівновеликого площі відбитка пневматика колеса на покритті:

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} \cdot K_d \cdot j_f = \frac{269.5}{4} \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 80.85kH$$

де $k_d = 1,2$; $j_f = 1,0$ (приймаємо згідно з вимогами [1, табл. 30] для ділянок покриттів групи А при $p_a = 0,88MPa < 1,0MPa$)

$$R_e = \sqrt{\frac{F_d}{\pi p_a}} = \sqrt{\frac{80.85 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,88 \cdot 10^6}} = 0,17м$$

2. Враховуючи вказівки [1, п.п. 5.3-5.6, 5.15, 5.16 і 5.24-5.26] призначаємо конструкцію одношарового бетонного покриття (рис. 1) і приймаємо проектні класи бетону за міцністю на розтяг при згинанні $B_{btb4,0}$ і на стискання $B30$ [1, табл. 20]. Розрахункові характеристики бетону беремо з [1, табл. 1 дод. 9]: розрахунковий опір розтягу при згинанні $R_{btb1} = 3,43$

МПа; модуль пружності важкого бетону $E_b = 3.24 \cdot 10^4$ МПа. Передбачаємо влаштування дренального шару із гравелистого піску завтовшки 25 см [1, табл. 23].

3. Згідно з нормами [1, п. 4.4] визначаємо глибину стискуваної товщі ґрунтової основи H_c . Залежно від навантаження на одно колесо основної опори $Fd = 80.85 kH$ і числа коліс на опорі $n_k=4$ [1, табл. 15] приймаємо $H_c=5$ м. .

4. Враховуючи наявність шару штучної основи з насипного гравелистого піску, який підстеляється масивом суглинку, за вказівками [1, п. 2 дод. 5] визначаємо еквівалентний коефіцієнт постелі K_{sl} у межах стискуваної товщі ґрунтової основи. При цьому приймаємо: $t_1=25$ м. (товщина шару піску); $t_1=0$ м. .

Спочатку за даними [1, табл. 6 дод. 9] визначаємо коефіцієнт постелі насипного гравелистого піску $K_{sl} = 1.5 \cdot 10^2 MH / м^3$. Потім з норм [1, табл. дод. 4] з урахуванням другого типу гідрогеологічних умов, коефіцієнта пористості ґрунту $e = 0,59$ та розташування району будівництва у III дорожньо-кліматичній зоні (в межах України) приймаємо для суглинку в природному стані коефіцієнт постелі $K_{s3} = 50 MH / м^3$..

За формулою [1, формула 1 дод. 5] обчислюємо значення еквівалентного коефіцієнта постелі:

$$K_{sl} = \frac{K_{s1} + K_{s3} \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{150 + 50 \cdot 6.94}{1 + 6.94} = 62.59 MH / м^3$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6D_r - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 2,4 - 0,25)^2}{0,25 \cdot (1,6 \cdot 2,4 - 0,5 \cdot 0,25)} = 6.94$$

В наведених обчисленнях умовний діаметр передачі навантаження на основу D_r приймався рівним 2,4 м, оскільки літак Як - 42 відповідає IV категорії нормативного навантаження (див. примітку до таблиці дод. А).

5. За формулою [1, формула 12] знаходимо жорсткість плити покриття на одиницю ширини розрахункового розрізу (1 м):

$$B_{sup} = 0,085 E_b t^3 = 0,085 \cdot 3.24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0.36^3 = 1,28 \cdot 10^4 KH \cdot м^2 / м$$

6. Згідно з нормами [1, п. 5.52] визначаємо пружну характеристик плити

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{Kse}} = \sqrt[4]{\frac{12.85 \cdot 10^7}{62.59 \cdot 10^6}} = 1.2 \text{ м}$$

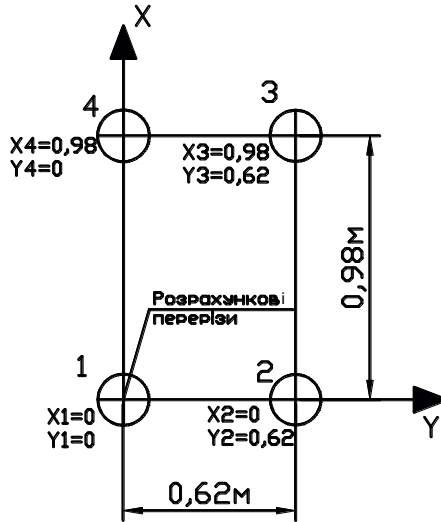


Рис. 2.3. Розрахункова схема основної опори літака Як - 42

Згідно з нормами [1, п. 5.52] знаходимо максимальні моменти в розрахункових перерізах плити, перпендикулярних осям X і Y, при центральному її навантаженні (коли центр відбитка першого колеса збігається з перетином розрахункових розрізів, як це показано на рис. 3):

$$m_{c, \max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 80.85 \cdot 0,2402 + 0,0453 \cdot 80.85 + 80.85 \cdot 0.0408 + 80.85 \cdot 0.0696 = 32.01 \text{ кН} \cdot \text{м} / \text{м}$$

$$m_{c, \max}(y) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 80.85 \cdot 0,2402 + 0,2402 \cdot 80.85 + 80.85 \cdot 0.1076 + 80.85 \cdot 0.0112 = 30.39 \text{ кН} \cdot \text{м} / \text{м}$$

де $f(a)$ приймається з [1, табл. 1 дод. 10] для $a = \frac{R_g}{l} = \frac{0,17}{1,2} = 0,14$;

\bar{m}_{xi} і \bar{m}_{yi} беруть для кожного і-го починаючи з другого колеса основної опори з норм [1, табл. 2 дод. 10] залежно від значень координат $\xi_i = \frac{y_i}{l}$ і $n_i = \frac{x_i}{l}$ (числові значення y_i і x_i показані на рис. 2.3).

Результати визначення a , $f(a)$, ξ_i , η_i , m_{xi} і m_{yi} наведено в табл. 2.

Колесо	$a = \frac{R_e}{l}$	$f(\alpha)$	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$n_i = \frac{x_i}{l}$	\bar{m}_{xi}	\bar{m}_{yi}
Перше	0,14	0,2402	-	-	-	-
Друге		-	0,52	0	0,0453	0,1076
Третє	-	-	0,52	0,82	0,0408	0,0169
Четверте	-	-	0	0,82	0,0696	0,0112

8. Приймаємо $m_{c,max}$ як більше з одержаних значень $m_{c,max}(x)$ і $m_{c,max}(y)$:

$$m_{c,max} = m_{c,max}(x) = 30.01 \text{ кНм/м}$$

Літак АН - 140, для якого $F_n = 84.5 \text{ кН}$.

Згідно з вимогами [1, п. 5.52] визначаємо розрахункове навантаження F_d на колесо основної опори літака і радіус круга R_e , рівновеликого площі відбитка пневматика колеса на покритті:

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} \cdot K_d \cdot j_f = \frac{84.5}{2} \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 50.7 \text{ кН}$$

де $K_d = 1.2$; $j_f = 1.0$ (приймаємо згідно з вимогами [1, табл. 30] для ділянок покриттів групи А при $p_a = 0.45 \text{ МПа} \leq 1.0 \text{ МПа}$

$$R_e = \sqrt{\frac{F_d}{\pi p_a}} = \sqrt{\frac{50.7 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 0.45 \cdot 10^6}} = 0.19 \text{ м}$$

2. Враховуючи вказівки [1, п.п. 5.3-5.6, 5.15, 5.16 і 5.24-5.26] призначаємо конструкцію одношарового бетонного покриття (рис. 1) і приймаємо проектні класи бетону за міцністю на розтяг при згинанні $B_{btb} 4,0$ і на стискання $B30$ [1, табл. 20]. Розрахункові характеристики бетону беремо з [1, табл. 1 дод. 9]: розрахунковий опір розтягу при згинанні $R_{btb} = 3.43 \text{ МПа}$; модуль пружності важкого бетону $E_b = 3.24 \cdot 10^4 \text{ МПа}$. Передбачаємо влаштування дренавального шару із гравелистого піску завтовшки 25 см [1, табл. 23].

3. Згідно з нормами [1, п. 4.4] визначаємо глибину стискуваної товщі ґрунтової основи H_c . Залежно від навантаження на одно колесо основної опори $F_d = 50.7 \text{ кН}$ і числа коліс на опорі $n_k = 2$ [1, табл. 15] приймаємо $H_c = 4.5$.

4. Враховуючи наявність шару штучної основи з насипного гравелистого піску, який підстеляється масивом суглинку, за вказівками [1, п. 2 дод. 5] визначаємо еквівалентний коефіцієнт постелі K_{s1} у межах стискуваної товщі ґрунтової основи. При цьому приймаємо: $t_1 = 25$ (товщина шару піску); $t_2 = 0$.

Спочатку за даними [1, табл. 6 дод. 9] визначаємо коефіцієнт постелі насипного гравелистого піску $K_{s1} = 1.5 \cdot 10^2 \text{ МН} / \text{м}^3$. Потім з норм [1, табл. дод. 4] з урахуванням другого типу гідрогеологічних умов, коефіцієнта пористості ґрунту $e = 0,59$ та розташування району будівництва у III дорожньо-кліматичній зоні (в межах України) приймаємо для суглинку в природному стані коефіцієнт постелі $K_{s3} = 50 \text{ МН} / \text{м}^3$.

За формулою [1, формула 1 дод. 5] обчислюємо значення еквівалентного коефіцієнта постелі:

$$K_{s1} = \frac{K_{s1} + K_{s3} \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{150 + 50 \cdot 6.3}{1 + 6.3} = 63.70 \text{ МН} / \text{м}^3$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6D_r - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 2,2 - 0,25)^2}{0,25 \cdot (1,6 \cdot 2,2 - 0,5 \cdot 0,25)} = 6.3$$

В наведених обчисленнях умовний діаметр передачі навантаження на основу D_r приймався рівним 2,2 м, оскільки літак Ан – 140 відповідає V категорії нормативного навантаження (див. примітку до таблиці дод. 3 посібника).

5, За формулою [1, формула 12] знаходимо жорсткість плити покриття на одиницю ширини розрахункового розрізу (1 м):

$$B_{sup} = 0,085 E b t^3 = 0,085 \cdot 3.24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0.36^3 = 1,28 \cdot 10^4 \text{ КН} \cdot \text{м}^2 / \text{м}$$

6, Згідно з нормами [1, п. 5.52] визначаємо пружну характеристику плити

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{K_{se}}} = \sqrt[4]{\frac{12.85 \cdot 10^7}{63.7 \cdot 10^6}} = 1.19 \text{ м}$$

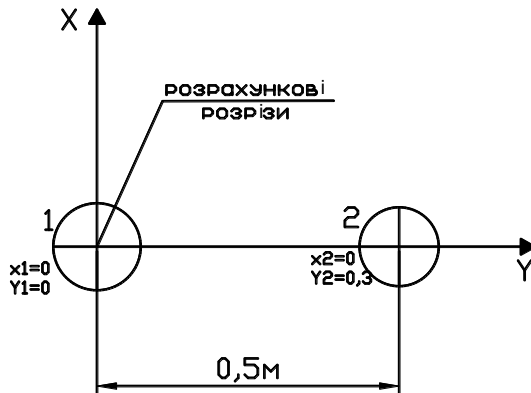


Рис.2.4. Розрахункова схема основної опори літака АН – 140

7. Згідно з нормами [1, п. 5.52] знаходимо максимальні моменти в розрахункових перерізах плити, перпендикулярних осям X і Y, при центральному її навантаженні (коли центр відбитка першого колеса збігається з перетином розрахункових розрізів, як це показано на рис. 3):

$$m_{c,\max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 50.7 \cdot 0,2278 + 0,0630 \cdot 50.7 = 14.74 \text{ kH} \cdot \text{м} / \text{м}$$

$$m_{c,\max}(y) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 50.7 \cdot 0,2278 + 0,1267 \cdot 50.7 = 17.97 \text{ kH} \cdot \text{м} / \text{м}$$

де $f(\alpha)$ приймається з [1, табл. 1 дод. 10] для $a = \frac{R_e}{l} = \frac{0.19}{1.19} = 0.16$;

m_{xi} і m_{yi} беруть для кожного і-го починаючи з другого колеса основної опори з норм [1, табл. 2 дод. 10] залежно від значень координат $\xi_i = \frac{y_i}{l}$ і $n_i = \frac{x_i}{l}$ (числові значення y_i і x_i показані на рис. 2.4).

8. Приймаємо $m_{c,\max}$ як більше з одержаних значень $m_{c,\max}(x)$ і $m_{c,\max}(y)$:

$$m_{c,\max} = m_{c,\max}(y) = 17,97 \text{ kHм} / \text{м}$$

Одержані результати обчислень свідчать про те, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося, є літак Трайдент 3, оскільки він дає найбільше значення

$$m_{c,\max}(52.19 > 32.01 > 17.97 \text{ kH} \cdot \text{м} / \text{м})$$

9. Виходячи з $m_{c,\max} = (52.19 \text{ kHм} / \text{м})$ для розрахункового типу літака, визначаємо m_d за формулою [1, формула 11] при $K_{x(y)} = 1.0$ (оскільки жорсткість плит у напрямках X і Y однакова):

$$m_d = m_{c,\max} \cdot k \cdot k_N \cdot k_{x(y)} = 1,2 \cdot 52.19 \cdot 1.1 \cdot 1.0 = 68.89 \text{ kHм} / \text{м}$$

де $k = 1.2$ - приймається з урахуванням того, що покриття бетонне і передбачається застосування в плитах стикових з'єднань або крайового армування [1, п. 5.52]; $k_N = 1.1$ (за наявності на ділянках покриття групи А піщаної штучної основи, не обробленої в'язучим).

10. За формулою [1, формула 14] визначаємо граничний згинальний момент на одиницю ширини розрахункового перерізу плити (1 м):

$$m_{u,\text{sup}} = j_c Rbt b_1 \frac{t_1^2}{6} \cdot K_u = 0,8 \cdot 3,43 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,36^2}{6} \cdot 1,18 = 69.94 \text{ kHм} / \text{м}$$

де $\gamma_c = 0.8$ - приймається з норм [1, табл. 31] для бетонного покриття на ділянках групи А при розташуванні аеродрому на північ від 50° північної широти; $k_u = 1.18$ - визначається з норм [1, графіка 3 дод. 10] залежно від

розрахункового числа прикладань навантаження при зльотах літаків
 $U_d = 1.0 \cdot 10^5$.

За формулою [1, формула 10] перевіряємо міцність плити:

$$m_d = 68,89 \text{ кН} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} < m_u = 69,94 \text{ кН} \cdot \text{м/м (на 1,5\%)}$$

Прийнята товщина плити ($t=0,36$ м) відповідає умовам міцності.

3. Приклад 2. Розрахунок двошарового бетонного покриття на піщаній штучній основі.

Вихідні дані:

Клас аеродрому-А. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: *Ан -124-100*, *Іл-96*, *F28.Мк2НТР*. Розрахункові характеристики літаків:

Літак Ан - 124-100: $F_n = 1835,1$ кН; $n_k = 10$; $a_T = 1,01$ м; $v_T = 1,71$ м;
 $n_a = 5$; $p_a = 1,1$ МПа.

Літак Іл-96: $F_n = 718,8$ кН; $n_k = 4$; $a_T = 1,1$ м; $v_T = 1,49$ м; $n_a = 2$;
 $p_a = 1,08$ МПа.

Літак F28.Мк2000НТР: $F_n = 138,5$ кН; $n_k = 2$; $a_T = 0,55$ м; $v_T = 0$ м; $n_a = 1$;
 $p_a = 0,69$ МПа.

Середньорічна кількість зльотів літаків за типами: для АН-124-100 $N_1=3000$ зл/рік; для Іл-96 $N_2=23000$ зл/рік; для F28.Мк2000НТР $N_3=7000$ зл/рік.

Дорожньо-кліматична зона - III, на північ від 50° -43 північної широти. Тип гідрогеологічних умов - 1. Грунт природної основи покриття - глина ($e=0,74$).

Місцеві будівельні матеріали – щебінь (100 і 80 МПа). Основні металургійні різнозернисті шлаки.

Розрахунок:

Виконуємо розрахунок покриття на ділянках групи А [1, п. 5.48].

1. За аналогією з п. 1 прикладу 1 для літака АН -124-100, який має найбільше нормативне навантаження на основну опору $F_n = 1835,1$ кН, знаходимо:

$$Fd = \frac{Fn}{n_k} \cdot Kd \cdot j_f = \frac{1835,1}{10} \cdot 1,26 \cdot 1,0 = 231,22 \text{ кН}$$

$$Re = \sqrt{\frac{Fd}{\pi p_a}} = \sqrt{\frac{231,22 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,1 \cdot 10^6}} = 0,26 \text{ м}$$

$K_d=1,26$, $j_f=1,0$ вибираємо з нормативів (СНиП таблиця 30 ст 18)

2. Враховуючи вказівки пунктів, перелічених в п. 3 прикладу 1, а також норм [1, п.п. 5.20, 5.21, 5.32, 5.33] і примітку до табл. 1, приймаємо конструкцію двошарового бетонного покриття (рис.3.1) з сумщеними швами у верхньому і нижньому шарах. Передбачаємо використання для

верхнього шару покриття бетону проектних класів $B_{btb}4,0$ і $B30$ (таблиця 20 ст 13) з розрахунковими характеристиками ($R_{bb1} = 3,43$ МПа, $E_{b1} = 3,24 \cdot 10^4$ МПа), для нижнього шару - $B_{btb}2,8$ і $B20$ ($R_{bb2} = 2,26$ МПа, $E_{b2} = 2,60 \cdot 10^4$ МПа). Штучну основу з піскоцементу приймаємо 30 см. (СНиП таблиця 23 ст. 15)

3. Згідно з нормами [1, п.4.4] визначаємо глибину стискуваної товщі ґрунтової основи H_c . Залежно від навантаження на одно колесо основної опори $Fd = 231.22kH$ і число коліс на опорі $n_k=10$ [1, табл. 15] приймаємо $H_c=6$ м. В межах цієї товщі ґрунтова основа складена з супіску пилюватого, для якої з урахуванням вказівок [1, п.4 примітка дод.4] знаходимо розрахункове значення K_s , $K_s = 50 \cdot 1,2 = 60MH / м^3$

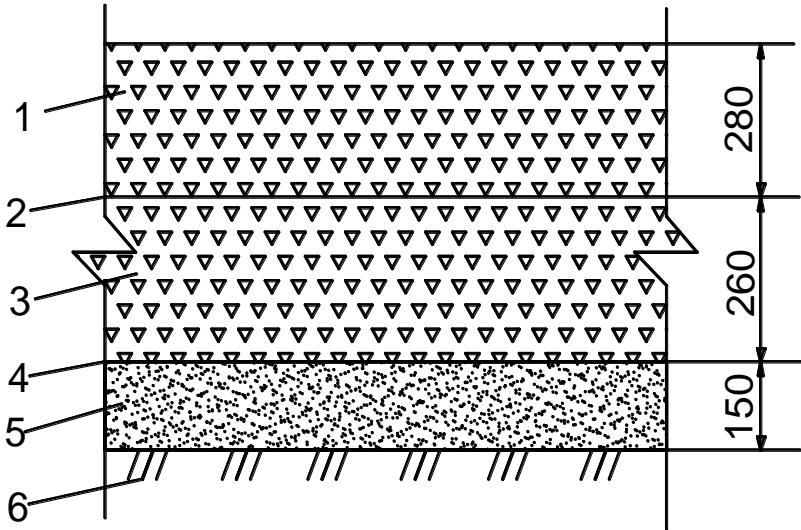


Рис.3.1 Конструкція двошарового бетонного покриття:

1- бетон проектних класів $B_{btb}4,0$ і $B30$; 2 - один шар пергаміну; 3- бетон проектних класів $B_{btb}2,8$ і $B20$; 4 - два шари пергаміну; 5-піскоцемент; 6 – супісок пилюватий.

4. За даними [1, табл.5 дод.9] визначаємо коефіцієнт постелі насипного піскоцементу:

$$K_{sl} = \frac{Ks_1 + Ks_3 \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{120 + 60 \cdot 8.85}{1 + 8.85} = 66.1MH / м^3.$$

З норм [1, табл. дод.4] з урахуванням першого типу гідрогеологічних умов, коефіцієнта пористості ґрунту $e=0,74$ та розташування району

будівництва у III дорожньо-кліматичній зоні приймаємо для глини в природному стані коефіцієнт постелі $Ks_3 = 60 \text{ MN} / \text{m}^3$.

За формулою [1, дод.5] обчислюємо значення еквівалентного коефіцієнта постелі:

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6Dr - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 3,6 - 0,3)^2}{0,3 \cdot (1,6 \cdot 3,6 - 0,5 \cdot 0,3)} = 8,85$$

В наведених обчисленнях умовний діаметр передачі навантаження на основу D_r приймався рівним 3,6 м, оскільки літак АН -124-100 відповідає I категорії нормативного навантаження.

5. За формулою [1, формула 12] визначаємо жорсткості плит верхнього і нижнього шарів покриття:

$$B_{\text{sup}} = 0,085 E b t^3 = 0,085 \cdot 3,24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,36^3 = 1,28 \cdot 10^4 \text{ KH} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$$

$$B_{\text{inf}} = 0,085 E b t^3 = 0,085 \cdot 2,6 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,28^3 = 0,48 \cdot 10^4 \text{ KH} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$$

Згідно з положеннями [1, п.5.20] за наявності в покритті суміщених швів жорсткість плит нижнього шару не повинна перевищувати жорсткість плит верхнього шару більше ніж у 2 рази:

$$\frac{B_{\text{inf}}}{B_{\text{sup}}} = \frac{0,48}{1,28} = 0,38 < 2 \text{ (умова виконується)}$$

6.Замінюємо прийняту конструкцію двошарового покриття умовним одношаровим бетонним покриттям з сумарною жорсткістю:

$$B = B_{\text{sup}} + B_{\text{inf}} = 1,28 \cdot 10^4 + 0,48 \cdot 10^4 = 1,76 \cdot 10^4 \text{ KH} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$$

7. Згідно з нормами [1, п.5.52] пружна характеристика плити умовного одношарового покриття:

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{K_{se}}} = \sqrt[4]{\frac{1,76 \cdot 10^7}{66,1 \cdot 10^6}} = 0,72 \text{ м}$$

8. Враховуючі геометричні характеристики основної опори літака АН -124-100 (рис.3.2) обчислюємо значення a , $f(a)$, ξ_i , η_i , m_{xi} і m_{yi} ,

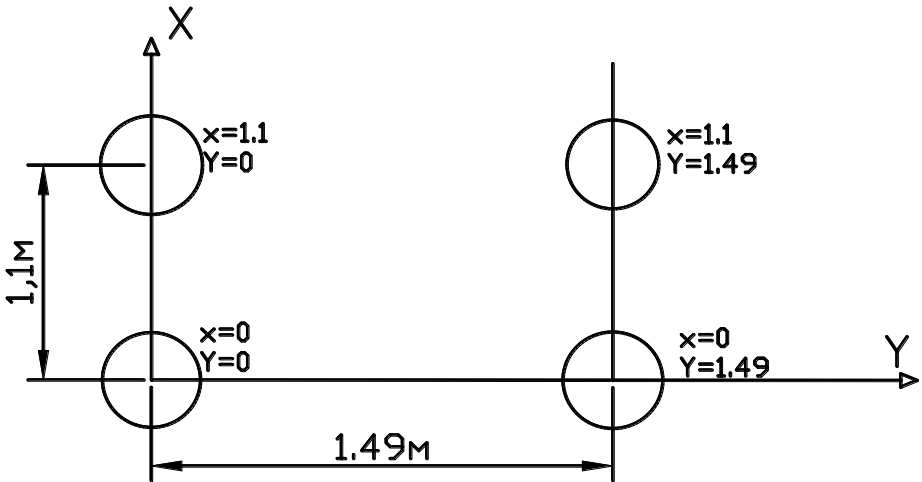


Рис.3.2 Розрахункова схема основної опори літака АН -124-100.

Таблиця 3.1

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$a = \frac{R_g}{l}$	$f(a)$	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{x_i}{l}$	m_{xi}	m_{yi}
Перше	0,36	0,1534	-	-	-	-
Друге	-	-	0	2.37	0.0072	-0.0195
Третє	-	-	0	4.75	0,0	0.0
Четверте	-	-	1,4	4.75	-0,0002	-0.0042
П'яте	-	-	1,4	2.37	-0.0004	-0.0126
Шосте	-	-	1,4	0	-0,0155	0.0314
Сьоме	-	-	1,4	2.37	-0.0004	-0.0126
Восьме	-	-	1,4	4.75	-0.0002	-0.0042
Дев'яте	-	-	0	4.75	0,0	0.0
Десяте	-	-	0	2.37	0,0072	-0.0195

9. Визначаємо максимальні згинальні моменти при центральному навантаженні плити умовного одношарового покриття:

$$m_{c,\max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 231,22 \cdot 0,0072 + 0,00072 \cdot 231,22 = 3,33kH \cdot m / m$$

$$m_{c,\max}(y) \sum_i^{nk} = 231,22 \cdot 0,0314 = 7,26kH \cdot m / m$$

Відповідно до [1, п.5.52] при визначенні $m_{c,\max}(x)$ сума моментів від дії третього і четвертого колеса не враховувалась, оскільки мала від'ємне значення.

10. Приймаємо $m_{c,\max}$ як більше з одержаних значень $m_{c,\max}(x)$ і $m_{c,\max}(y)$:

$$m_{c,\max} = m_{c,\max}(y) = 7,26kHm / m$$

Аналогічно визначаємо для літака Іл-96:

$$Fd = \frac{Fn}{n_k} \cdot Kd \cdot j_f = \frac{718,8}{4} \cdot 1,26 \cdot 1,0 = 226,42kH$$

$$Re = \sqrt{\frac{Fd}{\pi Pa}} = \sqrt{\frac{226,42 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,08 \cdot 10^6}} = 0,26m$$

$$Ksl = \frac{Ks_1 + Ks_3 \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{120 + 60 \cdot 8,85}{1 + 8,85} = 66,1MH / m^3$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6Dr - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 3,6 - 0,3)^2}{0,3 \cdot (1,6 \cdot 3,6 - 0,5 \cdot 0,3)} = 8,85$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{Kse}} = \sqrt[4]{\frac{1,76 \cdot 10^7}{66,1 \cdot 10^6}} = 0,72m$$

Враховуючі геометричні характеристики основної опори літака Іл - 96 ТД (рис. 3.3) обчислюємо значення a , $f(a)$, ξ_i , η_i , m_{xi} і m_{yi} , табл.2.

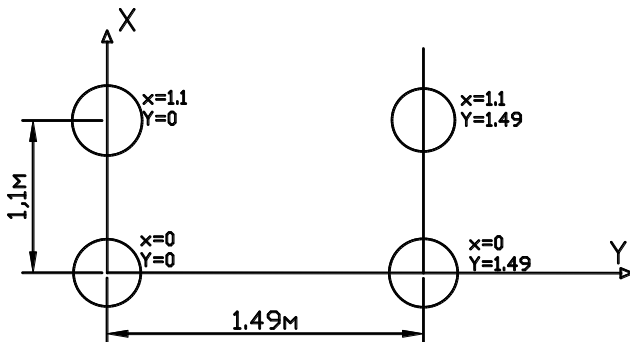


Рис. 3.3 Розрахункова схема основної опори літака Іл-96:

Таблиця 3.2

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$a = \frac{R_e}{l}$	$f(a)$	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{x_i}{l}$	m_{xi}	m_{yi}
Перше	0,36	0,1534	-	-	-	-
Друге	-	-	3,05	-	0,0146	0,0022
Третє			3,05	4,13	0,0007	-0,0018
Четверте			-	4,13	0,0066	-0,0000

Визначаємо максимальні згинальні моменти при центральному навантаженні плити умовного одношарового покриття:

$$m_{c,\max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot F = kH \cdot M / m$$

$$m_{c,\max}(y) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 0,0066 \cdot 226,42 = 0,49kH \cdot M / m$$

Приймаємо $m_{c,\max}$ як більше з одержаних значень $m_{c,\max}(x)$ і $m_{c,\max}(y)$:

$$m_{c,\max} = m_{c,\max}(y) = 0,49kHm / m$$

Аналогічно визначаємо для літака *F28.МК2НТР*:

$$Fd = \frac{Fn}{n_k} \cdot Kd \cdot j_f = \frac{138,5}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 83,1kH$$

$$Re = \sqrt{\frac{Fd}{\pi Pa}} = \sqrt{\frac{83,1 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,69 \cdot 10^6}} = 0,19m$$

$$Ksl = \frac{Ks_1 + Ks_3 \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{120 + 60 \cdot 5,6}{1 + 5,6} = 69,1MH / m^3$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (1,6D_r - t_1)^2}{t_1 \cdot (1,6Dr - 0,5t_1)} = \frac{0,5 \cdot (1,6 \cdot 2,4 - 0,3)^2}{0,3 \cdot (1,6 \cdot 2,4 - 0,5 \cdot 0,3)} = 5,6$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{Kse}} = \sqrt[4]{\frac{1,76 \cdot 10^7}{69,1 \cdot 10^6}} = 0,71m$$

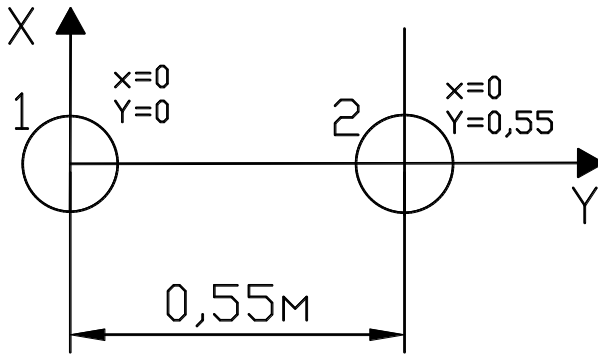


Рис. 3.4 Розрахункова схема основної опори літака 28.Mk2HTP:

Таблиця 3.3

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$a = \frac{R_e}{l}$	f(a)	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{x_i}{l}$	m_{xi}	m_{yi}
Перше	0,26	0,1831	-	-	-	-
Друге	-	-	0,77	0	0,0724	0,0126

$$m_{c,max}(x) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{xi} \cdot Fd = 83,1 \cdot 0,0724 = 6,01 kH \cdot m / m$$

$$m_{c,max}(y) = Fdf(a) + \sum_i^{nk} m_{yi} \cdot Fd = 83,1 \cdot 0,0126 = 1,04 kH \cdot m / m$$

Розрахунковим типом літака для даного покриття, є літак Ан-124-100, оскільки він дає найбільше значення $m_{c,max} = (7,26 > 6,01 > 0,5 kHm / m)$

11. За формулою [1, формула 21 і 22] визначаємо розрахункові згинальні моменти в плитах верхнього і нижнього шарів двошарового покриття із суміщеними швами при: $m_{c,max} = (7,26 kHm / m)$

$$m_{d,sup} = \frac{K' m_{c,max}}{1 + \frac{B_{inf}}{B_{sup}}} = \frac{1,2 \cdot 7,26}{1 + \frac{0,48 \cdot 10^4}{1,28 \cdot 10^4}} = 6,34 kHm / m$$

$$m_{d,snf} = k' m_{c,max} - m_{d,sup} = 1,2 \cdot 7,26 - 6,34 = 2,37 kHm / m$$

де $k' = 1,2$ - коефіцієнт, який приймається для двошарових покриттів з суміщеними швами при влаштуванні стикових з'єднань у верхньому шарі [1, п.5.32].

12. За формулою норм [1, формула 14 п.5.54] обчислюємо значення граничних згинальних моментів для плит верхнього і нижнього шарів покриття:

$$m_{u,sup} = j_c Rbtb_1 \frac{t_1^2}{6} \cdot Ku = 0,9 \cdot 3,43 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,19^2}{6} \cdot 1,15 = 21,3 \text{кНм/м}$$

$$m_{u,sup} = j_c Rbtb_2 \frac{t_2^2}{6} \cdot Ku \cdot Km = 0,9 \cdot 2,26 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,20^2}{6} \cdot 1,15 \cdot 1,24 = 19,3 \text{кНм/м}$$

де $K_m = 1,24$ - поправковий коефіцієнт визначається за даними [1, графік 6 дод.10] залежно від товщини плити верхнього шару $t_1 = 0,3\text{м}$; $K_u = 1,15$.

$j_c = 0,8$ - приймаємо з норм [1, табл.31] для бетонного покриття на ділянках групи А.

$K_u = 1,15$ - визначається з норм [1, граф.3. дод.10] залежно від розрахункового числа прикладань навантаження при зльотах літаків $U_d = 3,5 \cdot 10^5$

Визначаємо число прикладань навантажень U_i за проектний строк служби покриття T , який у відповідності з нормами [1, п.5.54] рівний 20 років.

Для літака Ан-124-100

$$U_1 = n_{a1} \cdot N_1 = 1 \cdot 3000 \cdot 20 = 60000 = 6 \cdot 10^4$$

Для літака Іл-96

$$U_2 = n_{a2} \cdot N_2 = 1 \cdot 23000 \cdot 20 = 460000 = 4,6 \cdot 10^5$$

Для літака F28.Мк2НТР

$$U_3 = n_{a3} \cdot N_3 = 1 \cdot 7000 \cdot 20 = 140000 = 1,4 \cdot 10^5$$

Залежно від відношення центральних моментів m_{ci} і m_{cd} від прийнятих з норм [1, графік 4, дод. 10] U_i . Обчислюємо еквівалентне число прикладань навантаження.

Для розрахункового типу літака Ан-124-100

$$M_{cd} = m_{ci} = m_{c,max} = 7,26 \text{кНм/м}$$

13. За формулою норм [1, формула 10 п.5.58] перевіряємо міцність шарів покриття:

$$m_{d,sup} = 17,53 \frac{\text{кНм}}{\text{М}} < m_{u,sup} = 38,03 \frac{\text{кНм}}{\text{М}}$$

$$m_{d,inf} = 17,49 \frac{\text{кНм}}{\text{М}} < m_{u,inf} = 36,90 \frac{\text{кНм}}{\text{М}}$$

Прийнята конструкція двошарового бетонного покриття відповідає умовам міцності.

14. Згідно з нормами [1, п.п. 5.27 і 5.28] відстань між поздовжніми технологічними швами стискання у верхньому шарі покриття приймаємо 7,5 м (при ширині ТЗПС аеродрому класу А, що дорівнює 45 м, передбачаємо застосування бетоноукладальних машин з шириною захвату

7,5 м). За умовами розрахунку покриття у верхньому шарі між плитами мають бути влаштовані стикові з'єднання, тому зазначені шви слід виконувати шпунтовими [2, рис 15.4, шов за типом II]. Оскільки товщина верхнього шару $t_1 = 0.26\text{м} < 30\text{м}$ згідно з вимогами [1, п. 5.28] між технологічними швами посередині потрібно влаштувати додатковий поздовжній несправжній шов стискання зі штирями [2, рис 15.4 шов за типом I "б"]. Приймаємо штирі діаметром 22 мм завдовжки 50 см з кроком 35 см [2, табл. 15.5]. Відстань між поперечними швами стискання у верхньому шарі приймає 5 м.

Відстань між поздовжніми технологічними швами стискання в нижньому шарі покриття також приймаємо 7,5 м. Ці шви мають бути наскрізними гладкими без стикових з'єднань. Згідно з [1, п. 5.30] довжину плит нижнього шару призначаємо 10 м. Поперечні шви - несправжні стискання без штирів.

таким чином, плити верхнього шару в плані будуть мати розміри 3,75 на 5 м, нижнього шару 7,5 на 10 м.

4. Приклад 3. Розрахунок асфальтобетонного покриття

Вихідні дані:

Клас аеродрому – В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: *Трайдент 3, Як – 42, АН – 140.*

Розрахункові характеристики:

Літак Трайдент 3: нормативне навантаження на основну опору $F_n = 305,1\text{кН}$; число коліс на основній опорі $n_k = 4$; відстань між центрами відбитків коліс основної опори $a_{T1} = 0.3\text{м}$, $a_{T2} = 0.65\text{м}$, $a_{T3} = 0.3\text{м}$; число осей на основній опорі $n_a = 0.3$; внутрішній тиск повітря в пневматиках коліс основної опори $p_a = 1.14\text{МПа}$.

Літак Як – 42: $F_n = 269.5\text{кН}$, $n_k = 4$, $a_T = 0.62\text{м}$, $b_T = 0.98\text{м}$, $n_a = 2$, $p_a = 0,88\text{МПа}$.

Літак АН – 140: $F_n = 84.5\text{кН}$, $n_k = 2$, $a_T = 0.5\text{м}$, $n_a = 1$, $p_a = 0,45\text{МПа}$.

Середньорічне число зльотів (зл/рік): для Трайдент 3 $N_1 = 5000\text{зл/рік}$; для Як – 42 $N_2 = 14000\text{зл/рік}$; для АН – 140 $N_3 = 9000\text{зл/рік}$.

Розташування району будівництва – III дорожньо-кліматична зона (в її північній частині), на північ від 50° північної широти.

Тип гідрогеологічних умов – 2. Грунт природної основи покриття – суглинок (з коефіцієнтом пористості $e = 0,59$). Місцеві будівельні матеріали – щебінь (80 МПа), грубо - і дрібнозерниста ґрунтогравійні суміші.

Розрахунок:

Розрахунок покриття виконуємо на ділянках груп А [1, п.5.48].

Згідно з нормами [1, п. 5.65] робимо висновок, що при розрахунку покриття літак АН – 140 не повинен враховуватися, оскільки навантаження на його основну опору $F_{n3} = 84,5кН$ менше половини найбільшого навантаження $F_{n1} = 305,1кН$ від літака Трайде́нт 3

$$\frac{F_{n3}}{F_{n1}} = \frac{84,5}{305,1} = 0,28 < 0,5кН. \text{ При розрахунку потрібно враховувати}$$

навантаження від літаків Трайде́нт 3, Як – 42 (для літака Як – 42 $\frac{F_{n2}}{F_{n1}} = \frac{269,5}{305,1} = 0,88 < 0,5кН$).

Згідно з нормами [1, п. п. 5.6, 5.34-5.36] призначаємо конструкцію покриття (рис. 4.1). З норм [1, таблиця 2, 5 і 6 дод. 9] приймаємо розрахункові характеристики матеріалів: щільного асфальтобетону із сумішей марок I і II відповідно $E_{ab1} = 12,5 \cdot 10^2 МПа$ і $E_{ab2} = 10 \cdot 10^2 МПа$ (при розрахунковій температурі асфальтобетону $+15^\circ С$ у III дорожньо-кліматичній зоні); щебеню з природного каменю міцністю при стисканні 80 МПа, обробленого в'язким бітумом способом змішування в установці, $E_3 = 7 \cdot 10^2 МПа$ (для району з помірним кліматом у III дорожньо-кліматичній зоні); щебеню з природного каменю з граничною міцністю при стисканні 80 МПа, укладеного способом розклинювання норм [1, таблиця 2, 5 і 6 дод. 9]; гравелистого піску $E_3 = 1,5 \cdot 10^2 МПа$. Модуль пружності суглинка в ґрунтовій основі приймаємо за даними норм [1, дод. 9 і п.5.60] $E = 28 МПа$.

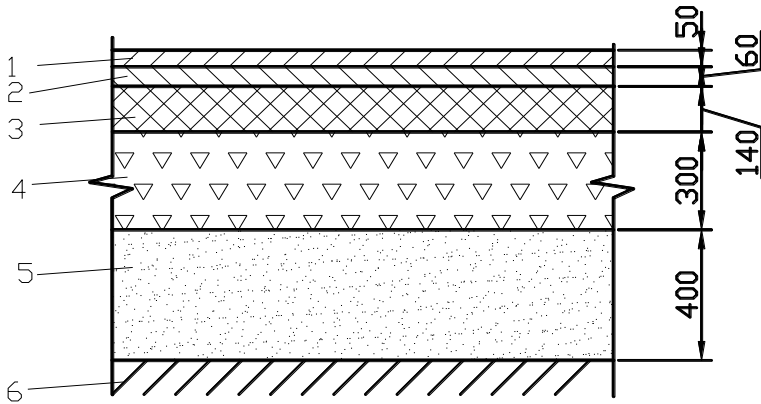


Рис.4.1. Конструкція асфальтобетонного покриття: 1-щільний асфальтобетон із суміші марки I типу А; 2-щільний асфальтобетон із суміші марки II типу Б; 3-щебень з граничною міцністю при стисканні 80 МПа, оброблений бітумом змішуванням в установці; 4-щебень з граничною міцністю при стисканні 80 МПа укладений способом розклинювання; 5-гравелистий пісок; 6-суглинок.

Сумарна товщина шарів призначеної конструкції покриття:

$$t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,05 + 0,06 + 0,14 + 0,7 = 0,95\text{ м}$$

Згідно з норм [1, п. 5.64] обчислюємо значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e для літака Трайдент 3, який має найбільше нормативне навантаження на основну опору F_n і можливо є розрахунковим для покриття. Для цього виконуємо такі проміжні обчислення.

Трайдент 3

Розрахункове навантаження на колесо основної опори

$$Fd = \frac{Fn}{n_k} \cdot Kd \cdot j_f = \frac{305,1}{4} \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 95,34\text{ кН}$$

де K_d і γ_f приймаємо з норм [1, табл. 30].

Мінімальну відстань між найближчими колесами основної опори (у проміжку) a визначимо з урахуванням геометричних характеристик опори (рис. 2), взятих з норм [1, креслення 10 дод. 10];

$$a = a_m - 2 \cdot \sqrt{\frac{Fd}{1,4 \cdot \Pi \cdot Pa}} = 0,65 - 2 \cdot \sqrt{\frac{95,34 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 3,14 \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,37\text{ м}$$

Максимальна відстань між колесами основної опори (між центрами їхніх відбитків, рис. 2):

$$a_d = \sqrt{a_T^2} = \sqrt{0,65^2} = 0,65\text{ м}$$

За умови виконання:

$$t_{tot} = 0.95 \cdot \frac{a}{2} = \frac{0.37}{2} = 0.185 \text{ м}$$

$$t_{tot} = 0.95 \cdot (2 \cdot a_d = 2 \cdot 0.65 = 1.3)$$

Значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e потрібно визначити згідно з нормами [1, п. 5.64] за формулою

$$F_e = \text{antilg} \left(\frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg F_d \right)$$

яка рівнозначна $F_e = 10^c$

$$\text{де } c = \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \cdot \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg F_d$$

Для літака Трайдент 3

$$c = \frac{\lg 4}{\lg \frac{4 \cdot 0.3}{0.37}} \cdot \lg \frac{2 \cdot 0.95}{0.37} + \lg 95.34 = 2.48$$

Тоді $F_e = 10^c = 10^{2.48} = 302 \text{ кН}$

Як – 42

Розрахункове навантаження на колесо основної опори

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} \cdot K_d \cdot j_f = \frac{269.5}{4} \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 80.85 \text{ кН}$$

де n_k і γ_f приймаємо з норм [1, табл. 30].

Мінімальну відстань між найближчими колесами основної опори (у проміжку) a визначимо з урахуванням геометричних характеристик опори (рис. 3), взятих з норм [1, креслення 10 дод. 10];

$$a = a_m - 2 \cdot \sqrt{\frac{F_d}{1.4 \cdot \Pi \cdot P_a}} = 0.62 - 2 \cdot \sqrt{\frac{80.85 \cdot 10^3}{1.4 \cdot 3.14 \cdot 0.88 \cdot 10^6}} = 0.33 \text{ м}$$

Максимальна відстань між колесами основної опори (між центрами їхніх відбитків, рис. 3):

$$a_d = \sqrt{a_T^2 + b_T^2} = \sqrt{0.62^2 + 0.98^2} = 1.16 \text{ м}$$

За умови виконання:

$$t_{tot} = 0.95 \cdot \frac{a}{2} = 0.33 / 2 = 0.165$$

$$t_{tot} = 0.95 \cdot (2 \cdot a_d = 2.32)$$

Значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e потрібно визначити згідно з нормами [1, п. 5.64] за формулою

$$F_e = \text{antilg} \left(\frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \lg \frac{2t_{\text{tot}}}{a} + \lg F_d \right)$$

яка рівнозначна $F_e = 10^c$

$$\text{де } c = \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \cdot \lg \frac{2t_{\text{tot}}}{a} + \lg F_d$$

Для літака Як – 42

$$c = \frac{\lg 4}{\lg \frac{4 \cdot 1,16}{0,33}} \cdot \lg \frac{2 \cdot 0,95}{0,33} + \lg 80,85 = 2,31$$

Тоді $F_e = 10^c = 10^{2,31} = 204 \text{ кН}$

Переконаємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося є літак Трайдент 3, оскільки він має більше одноколісне еквівалентне навантаження F_e ($302 \text{ кН} > 204 \text{ кН}$).

Перевірка прогину покриття

За формулою [1, формула 28] визначаємо діаметр круга, рівновеликого площі відбитка одноколісного еквівалентного навантаження F_e від розрахункового типу літака

$$De = 2 \sqrt{\frac{Fe}{\pi p_a}} = 2 \sqrt{\frac{302 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,58 \text{ м}$$

Середній модуль пружності багатошарової конструкції покриття, включаючи штучну основу

$$E_{mt} = \frac{Eab_1 \cdot t_1 + Eab_2 \cdot t_2 + E_3 \cdot t_3 + E_4 \cdot t_4 + E_5 \cdot t_5}{t_{\text{tot}}} =$$

$$= \frac{450 \cdot 0,08 + 350 \cdot 0,08 + 400 \cdot 0,4}{0,95} = 4,04 \cdot 10^2 \text{ МПа}$$

Обчисливши відношення

$$\frac{E}{E_{mt}} = \frac{28}{4,04 \cdot 10^2} = 0,070$$

$$\frac{t_{\text{tot}}}{De} = \frac{0,95}{0,58} = 1,64$$

з номограми [1, креслення 7 дод. 10] визначаємо коефіцієнт $\Psi_R = 0,41$

Далі знаходимо еквівалентний модуль пружності нежорсткої конструкції покриття (включаючи штучну основу) і ґрунтової основи

$$E_{ed} = E_{mt} \cdot \Psi_k = 4,04 \cdot 10^2 \cdot 0,41 = 1,65 \cdot 10^2 \text{ МПа}$$

За формулою [1, формула 26] визначаємо розрахунковий відносний прогин покриття від одноколісного еквівалентного навантаження F_e

$$\lambda d = 0,9 \cdot \frac{Pa}{E_{ed}} = 0,9 \cdot \frac{1,14}{1,65 \cdot 10^2} = 0,00619$$

Використовуючи дані про інтенсивність руху літаків Трайдент 3 і Як – 42 (які включені у розрахунок), згідно з нормами [1, п. 5.65] знаходимо приведену повторюваність прикладань N_r розрахункового навантаження. Значення N_r визначаємо за формулою [1, формула 29]:

$$Nr = \sum_{i=1}^{ni} N_{i(\text{доб})} n_{ai} k_{ni} = 13,7 \cdot 1 \cdot 1,0 + 38,4 \cdot 1 \cdot 0,1 = 1753 \approx 1831 / \text{доб}$$

де $n_j = 2$ означає кількість типів літаків, які враховуються, а i - порядковий номер літака. В розрахунках нежорстких покриттів на відносний прогин слід приймати $n_a = 1$.

Результати проміжних обчислень N_r записуємо у табличній формі (табл. 10). Зазначимо, що табличні величини D_{ei} і p_{ad} відносяться до розрахункового типу літаків (Трайдент 3).

Таблиця 4.1

Обчислення приведенної повторювальності прикладань розрахункового навантаження літака Трайдент 3.

Тип літака	p_{ai} МПа	D_{ei} м	$\frac{D_{ei}}{D_{ed}}$	$\frac{p_{ai}}{p_{ad}}$	k_{ni} [1, креслення 11 дод.10]	$N_{i(\text{доб})} = \frac{N_{i(\text{рік})}}{365}$ Зл/добу	n_{ai}
Трайдент 3	1,14	0,58	1,0	1,0	1,0	13,70	1,0
Як – 42	0,88	0,53	0,92	0,77	0,1	38,36	1,0

Граничний відносний прогин покриття λ_u приймаємо з [1, графік «а» креслення 8 дод. 10] для суглинку, враховуючи тиск повітря в пневматиках коліс розрахункового типу літака $p_a = 1,14 \text{ МПа}$ і приведену повторюваність прикладання навантаження $Nr = 1831 / \text{доб}$ зл/добу:

$$\lambda_u = 6,2 \cdot 10^{-3}$$

Перевірємо умову норм [1, формула 25]:

$$\lambda d = 0,00619 < j_c \lambda_u = 1,0 \cdot 6,2 \cdot 10^{-3} = 0,0062 \text{ (на } 0,16 \% \text{),}$$

де $\gamma_c = 1,0$ (приймаємо з норм [1, п. 5.60] для ділянок покриття групи А).

Отже, покриття у граничному стані за показником відносного прогину задовольняє нормативні вимоги.

Перевірка міцності асфальтобетонних шарів покриття на розтяг при згинанні.

Згідно з нормами [1, п. 5.64] при $t_{ab} = t_1 + t_2 = 0,05 + 0,06 = 0,11$ знаходимо одноколісне еквівалентне навантаження від розрахункового

літака Трайдент 3, на яке повинен виконуватися зазначений розрахунок міцності асфальтобетонних шарів. Для цього перевіряємо умову:

$$t_{ab} = 0.11 < \frac{a}{2} = \frac{0.37}{2} = 0.185_m$$

Результат перевірки показує, що шукане значення одноколісного еквівалентного навантаження потрібно визначити як $F_e = F_d = 95.34kH$

Аналогічно визначаємо для літака $AH-140$.

$$t_{ab} = 0.11 < \frac{a}{2} = \frac{0.33}{2} = 0.165_m$$

$$F_e = F_d = 80.85kH$$

Переконаємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття при перевірці міцності асфальтобетонних шарів на розтяг при згинанні є літак Трайдент 3, оскільки він має більше розрахункове навантаження $F_e (95.34kH \triangleright 80.85kH)$.

Для знайденого значення $F_e = 95.34kH$ за формулою [1, формула 28] визначаємо

$$De = 2\sqrt{\frac{Fe}{\pi p_a}} = 2\sqrt{\frac{95.34 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,33_m$$

За аналогією з визначенням E_{mt} (п. 6 розрахунку) обчислюємо середній модуль пружності асфальтобетонних шарів

$$\begin{aligned} E_{mt} &= \frac{Eab_1 \cdot t_1 + Eab_2 \cdot t_2}{t_{tot}} = \\ &= \frac{120 \cdot 0,05 + 100 \cdot 0,06}{0,11} = 10,91 \cdot 10^2 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Таким же чином обчислюємо середній модуль пружності шарів покриття під асфальтобетоном (без урахування ґрунтової основи):

$$\begin{aligned} E_{mt} &= \frac{E_3 \cdot t_3 + E_4 \cdot t_4 + E_5 \cdot t_5}{t_3 + t_4 + t_5} = \\ &= \frac{70 \cdot 0,14 + 350 \cdot 0,03 + 150 \cdot 0,4}{0.14 + 0.3 + 0.4} = 3.13 \cdot 10^2 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Обчисливши співвідношення:

$$\frac{E}{E_{mt}} = \frac{28}{3,13 \cdot 10^2} = 0,089$$

$$\frac{t_{tot}}{De} = \frac{0,95}{0,58} = 1,64$$

з номограми [1, креслення 7 дод. 10] знаходимо $\psi_k = 0,45$. Після цього визначаємо еквівалентний модуль пружності шарів покриття під асфальтобетоном з ґрунтовою основою включно

$$Ee = Em \cdot \Psi k = 3.13 \cdot 10^2 \cdot 0,45 = 1,4085 \cdot 10^2 \text{ МПа}$$

Обчисливши співвідношення:

$$\frac{E_{ab}}{E_e} = \frac{10,91 \cdot 10^2}{1,4085 \cdot 10^2} = 7,74$$

$$\frac{t_{ab}}{D_{ei}} = \frac{0,11}{0,33} = 0,33$$

З номограми [1, креслення 9 дод. 10] знаходимо питому напругу розтягу при згинанні в нижньому шарі асфальтобетону $\bar{\sigma}_r = 1,65$, яка відповідає значенню p_a .

Найбільша напруга розтягу при згинанні в нижньому шарі асфальтобетону

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p_a = 1,65 \cdot 1,14 = 1,88 \text{ МПа}$$

Виконавши необхідні проміжні обчислення (табл. 3.2), за формулою [1, формула 29] знаходимо приведену повторюваність прикладання N_r розрахункового навантаження, яка враховується при перевірці міцності асфальтобетонних шарів

$$Nr = \sum_{i=1}^{ni} Ni_{(дооб)} n_{ai} k_{ni} = 13,7 \cdot 2 \cdot 1,0 + 38,36 \cdot 2 \cdot 0,11 = 36 \approx 36 \text{ зл/доб}$$

Таблиця 4.2

Обчислення приведенної повторюваності прикладань розрахункового навантаження літака Трайдент 3.

Тип літака	p_{ai} МПа	D_{ei} м	$\frac{D_{ei}}{D_{ed}}$	$\frac{p_{ai}}{p_{ad}}$	k_{ni} [1, креслення 11 дод.10]	$N_{i(доб)} = \frac{N_{i(рік)}}{365}$ Зл/добу	n_{ai}
Трайдент 3	1,14	0,33	1,0	1,0	1,0	13,70	2,0
Як – 42	0,88	0,34	1,03	0,77	0,11	38,36	2,0

В табл. 3.2 значення D_{ei} і D_{ed} повинні відповідати тим, що визначаються за методикою обчислення значення D_{ei} в п. 14 розрахунку.

За даними [1, табл. 2 дод. 9] при значенні $Nr = 36 < 50 \text{ зл/доб}$ зл/добу і розрахунковій температурі асфальтобетону плюс 15° C (в III дорожньо-кліматичній зоні) приймаємо розрахунковий опір щільного асфальтобетону із суміші марки II в нижньому шарі на розтяг при згинанні $R_d = 2,1 \text{ МПа}$.

Перевіряємо умову [1, формула 27]:

$$\sigma_r = 1,88 \text{ МПа} < \gamma_c R_d = 1,0 \cdot 2,1 = 2,1 \text{ МПа (на 10,5\%)}$$

Отже, потрібна міцність шарів асфальтобетону на розтяг при згинанні забезпечена.

5. Приклад 4. Розрахунок щебеневого покриття.

Вихідні дані:

Клас аеродрому - В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: *Трайидент-3*, *Як-42*, *Ан - 140*. Розрахункові характеристики літаків:

Літак Трайидент-3: $F_n = 305,1$ кН; $n_k = 4$; $a_T = 0,3$ м; $a_T = 0,65$ м; $a_T = 0,3$ м; $v_T = 0$ м; $n_a = 1$; $p_a = 1,14$ МПа.

Літак Як-42: $F_n = 269,5$ кН; $n_k = 4$; $a_T = 0,62$ м; $v_T = 0,98$ м; $n_a = 2$; $p_a = 0,88$ МПа.

Літак Ан - 140 : $F_n = 84,5$ кН; $n_k = 2$; $a_T = 0,5$ м; $v_T = 0$ м; $n_a = 1$; $p_a = 0,45$ МПа.

Дорожньо-кліматична зона - IV, розташований між 50 і 43° північної широти. Тип гідрогеологічних умов - 1. Грунт природної основи покриття – супісок пилуватий ($e=0,74$).

Місцеві будівельні матеріали – щебінь, основні металургійні різнозернисті шлаки.

Розрахунок нежорсткого покриття-щебінь(100 і 80)МПа

Виконуємо розрахунок покриття на ділянках групи А [1, п.5.48]

1. Згідно з нормами [1, п.5.65] робимо висновок, що при розрахунку покриття літак АН - 140 не повинен враховуватись, оскільки навантаження на його основну опору $F_{n3} = 84,5$ кН менше половини найбільшого

навантаження $F_{n1}=305,1$ кН від літака Трайидент-3 ($\frac{F_{n3}}{F_{n1}} = \frac{84,5}{305,1} = 0,28 < 0,5$).

При розрахунку потрібно враховувати навантаження від літаків Трайидент-3 і Як-42 (для літака Як-42 $\frac{F_{n2}}{F_{n1}} = \frac{269,5}{305,1} = 0,88 > 0,5$).

2. Згідно з нормами [1, п.п.5.6, 5.34-5.36] призначаємо конструкцію покриття (рис. 1). З норм [1, табл.2, 5 і 6 дод.9] приймаємо розрахункові характеристики матеріалів: щебінь фракцій 100 і 80 відповідно

$E_{a\phi 1} = 4,5 \cdot 10^2$ МПа і $E_{a\phi 2} = 3,5 \cdot 10^2$ МПа; основні металургійні шлаки (активні), $E_3 = 4,0 \cdot 10^2$ МПа

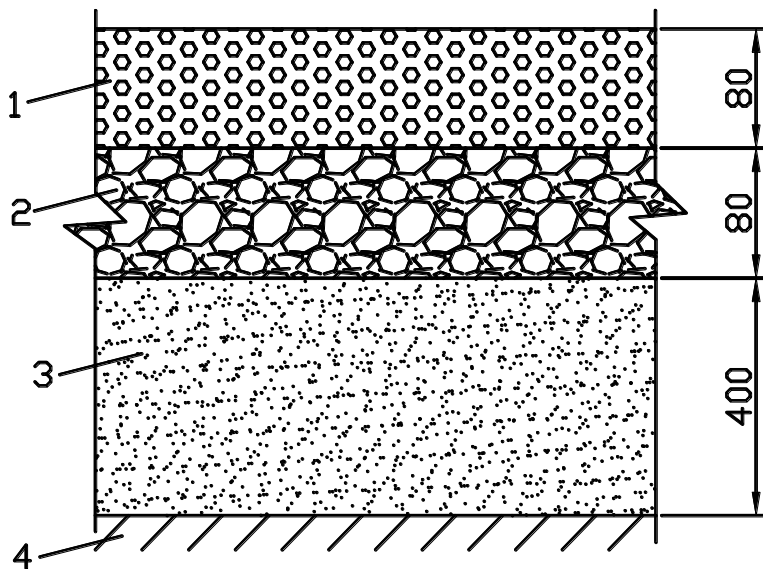


Рис.5.1 . Конструкція щебеневого покриття: 1.-щебінь фракції 80; 2. - щебінь фракції 100; 3.-основні металургійні різнозерністі шлаки; 4. - супісок пилюватий.

Сумарна товщина шарів призначеної конструкції покриття:

$$t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,08 + 0,08 + 0,4 = 0,56 \text{ м}$$

Згідно з норм [1, 5.64] обчислюємо значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e для літака Трайидент-3, який має найбільше нормативне навантаження на основну опору F_n і можливо є розрахунковим для покриття. Для цього виконуємо такі проміжні обчислення.

Розрахункове навантаження на колесо основної опори:

$$Fd = \frac{F_n}{n_k} \cdot K_d \cdot j_f = \frac{305,1}{4} \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 95,34 \text{ кН}$$

де k_d і γ_f приймаємо з норм [1, табл.30]

Мінімальну відстань між найближчими колесами основної опори a визначаємо з урахуванням геометричних характеристик опори (рис.5.2), взятих з норм [1, креслення 10 дод.10]:

$$a = a_m - 2 \cdot \sqrt{\frac{Fd}{1,4 \cdot \Pi \cdot Pa}} = 0,3 - 2 \cdot \sqrt{\frac{95,34 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 3,14 \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,02 \text{ м}$$

Максимальна відстань між колесами основної опори (рис.2)

$$a_d = \sqrt{a_T^2} = \sqrt{0,3^2} = 0,3\text{м}$$

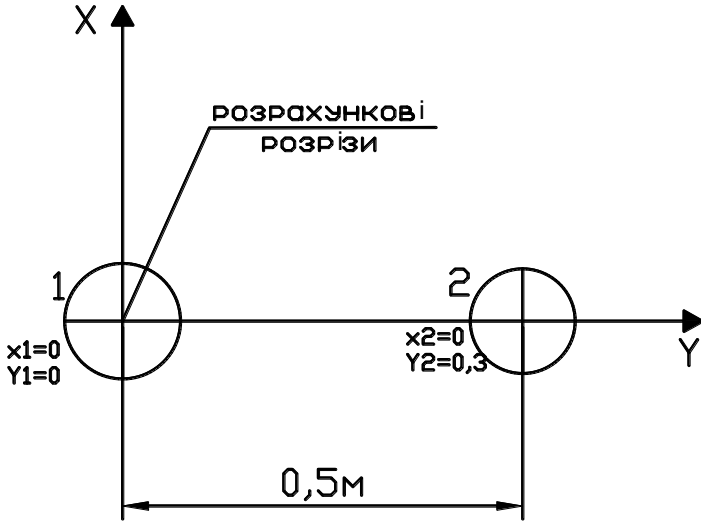


Рис.5.2 Розрахункова схема основної опори літака Трайидент-3

Згідно норм [1, п 5.65] одноколісне еквівалентне навантаження, кН, що замінює силову дію багатоколісного опорного навантаження, яку приймають рівною F_d при виконанні умов $t_{tot} \leq \frac{a}{2}$; $t_{tot} \geq 2 \cdot a_d$, а в решті випадках визначається за формулою.

За умовами виконання:

$$t_{tot} = 0.56 \cdot \frac{a}{2} = 0.02 / 2 = 0.01$$

$$t_{tot} = 0.56 \cdot 2 \cdot a_d = 0.6$$

Умови не виконуються, отже значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e потрібно визначити за формулою

$$F_e = \text{anti lg} \left(\frac{\text{lg} n_k}{\text{lg} \frac{4a_d}{a}} \text{lg} \frac{2t_{tot}}{a} + \text{lg} F_d \right),$$

яка рівнозначна $F_e = 10^c$,

$$\text{де } c = \frac{\text{lg} n_k}{\text{lg} \frac{4a_d}{a}} \text{lg} \frac{2t_{tot}}{a} + \text{lg} F_d$$

Для літака Трайидент-3

$$c = \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \cdot \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg Fd = \frac{\lg 4}{\lg \frac{4 \cdot 0,3}{0,02}} \cdot \lg \frac{2 \cdot 0,56}{0,02} + \lg 95,34 = 2,57$$

Тоді $Fe = 10^c = 10^{2,57} = 371,54 \text{ кН}$

3. Аналогічно визначаємо F_e для літака Як-42

Розрахункове навантаження на колесо основної опори:

$$Fd = \frac{Fn}{n_k} \cdot Kd \cdot j_f = \frac{260,5}{4} \cdot 1,27 \cdot 1,0 = 82,71 \text{ кН}$$

де k_d і j_f приймаємо з норм [1, табл.30]

Мінімальну відстань між найближчими колесами основної опори a визначаємо з урахуванням геометричних характеристик опори (рис.5.3), взятих з норм [1, креслення 10 дод.10]:

$$a = a_m - 2 \cdot \sqrt{\frac{Fd}{1,4 \cdot \Pi \cdot Pa}} = 0,62 - 2 \cdot \sqrt{\frac{82,71 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 3,14 \cdot 0,88 \cdot 10^6}} = 0,34 \text{ м}$$

Максимальна відстань між колесами основної опори (рис.5.3)

$$a_d = \sqrt{a_T^2 + b_T^2} = \sqrt{0,62^2 + 0,98^2} = 1,16 \text{ м}$$

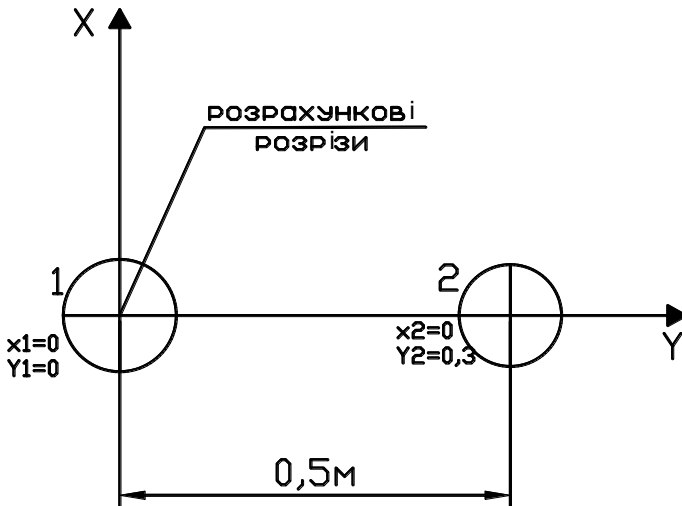


Рис.5.3 Розрахункова схема основної опори літака Як-42

За умовами виконання $t_{tot} = 0,56 \frac{a}{2} = 0,34 / 2 = 0,17$

$$t_{tot} = 0,56 (2 \cdot a_d) = 2,32$$

значення одноколісного еквівалентного навантаження F_e потрібно визначити згідно з нормами [1, п.5.64] за формулою:

$$F_e = \text{anti lg} \left(\frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg F_d \right),$$

яка рівнозначна $F_e = 10^c$,

$$\text{де } c = \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \cdot \lg \frac{2t_{tot}}{a} \cdot \lg F_d$$

Для літака Як-42

$$c = \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \cdot \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg F_d = \frac{\lg 4}{\lg \frac{4 \cdot 1,16}{0,34}} \cdot \lg \frac{2 \cdot 0,56}{0,34} + \lg 82,71 = 2,19$$

Тоді $F_e = 10^c = 10^{2,19} = 154,88 \text{кН}$

Переконаємось, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалось є літак Трайдент-3, оскільки він має більше одноколісне еквівалентне навантаження $F_e(371,54 > 154,88 \text{кН})$.

Перевірка прогину покриття.

Перевірка прогину покриття базується на виконанні наступної умови

$\lambda_d < j_c \lambda_u$ Подальший розрахунок полягає у знаходженні лівої та правої частини нерівності.

4. За формулою [1, формула 28] визначаємо діаметр круга, рівновеликого площі відбитка одноколісного еквівалентного навантаження F_e від розрахункового типу літака:

$$De = 2 \sqrt{\frac{Fe}{\pi \rho_a}} = 2 \sqrt{\frac{371,54 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,64 \text{м}$$

5. Середній модуль пружності багатопарової конструкції покриття, включаючи штучну основу:

$$E_{mt} = \frac{Eab_1 \cdot t_1 + Eab_2 \cdot t_2 + E_3 \cdot t_3 + E_4 \cdot t_4 + E_5 \cdot t_5}{t_{tot}} =$$

$$= \frac{450 \cdot 0,08 + 350 \cdot 0,08 + 400 \cdot 0,4}{0,56} = 4,0 \cdot 10^2 \text{МПа}$$

6. Для подальшого обрахунку потрібно обчислити відношення:

$$\frac{E}{E_{mt}} = \frac{28}{4,0 \cdot 10^2} = 0,070 \quad \frac{t_{tot}}{De} = \frac{0,56}{0,64} = 0,875$$

З номограми [1, креслення 7 дод.10] визначаємо коефіцієнт $\Psi_R = 0,44$

Далі знаходимо еквівалентний модуль пружності нежорсткої конструкції покриття і ґрунтової основи:

$$E_{ed} = E_{mt} \cdot \Psi_k = 4,0 \cdot 10^2 \cdot 0,44 = 1,76 \cdot 10^2 \text{МПа}$$

7. За формулою [1, формулою 26] визначаємо розрахунковий відносний прогин покриття від одноколісного еквівалентного навантаження F_g .

$$\lambda d = 0,9 \cdot \frac{Pa}{Eed} = 0,9 \frac{1,14}{1,76 \cdot 10^2} = 0,00647$$

8. Використовуючи дані про інтенсивність руху літаків Трайдент-3 і Як-42, згідно з нормами [1, п.5.65] знаходимо приведену повторюваність прикладань N_r розрахункового навантаження. Значення N_r визначається за формулою [1, формула 29]:

$$Nr = \sum_{i=1}^{ni} Ni_{(доб)} n_{ai} k_{ni} = 13,69 \cdot 1 \cdot 1,0 + 38,36 \cdot 1 \cdot 0,2 = 21,36 \approx 22 \text{ зл/доб}$$

де $n_j = 2$ означає кількість типів літака, які враховуються, а i - порядковий номер літака. В розрахунках нежорстких покриттів на відносний прогин слід приймати $n_a = 1$.

Результати проміжних обчислень N_r записуємо у табличній формі (табл.1). Зазначимо, що табличні величини D_{ei} і p_{ad} відносяться до розрахункового типу літака Трайдент-3.

Таблиця 5.1.

Обчислення приведенної повторюваності прикладань розрахункового навантаження літака Трайдент-3.

Тип літака	p_{ai} , МПа	D_{ei} , м	$\frac{D_{ei}}{D_{ed}}$	$\frac{p_{ai}}{p_{ad}}$	k_{ni}	$N_{i(доб)} = \frac{N_{i(рік)}}{365}$, зл/добу	n_{ai}
Трайдент-3	1.14	0,64	1,0	1,0	1,0	13,69	1
Як-42	0.88	0,47	0,73	0,77	0,2	38,36	1

9. Граничний відносний прогин покриття λ_u приймаємо [1, графік "а" креслення 8 дод.10] для глини, враховуючі тиск повітря в пневматиках коліс розрахункового типу літака $p_a = 1,14 \text{ МПа}$ і приведену повторюваність прикладання навантаження $Nr = 22 \text{ зл/доб}$:

$$\lambda u = 6,55 \cdot 10^{-3}$$

10. Перевіряємо умову норм [1, формула 25]:

$$\lambda d = 0,00647 < j_c \lambda u = 1,0 \cdot 6,55 \cdot 10^{-3} = 0,00655 \quad (1,22\%)$$

де $\gamma_c = 1,0$ (приймаємо з норм [1, п.5.60] для ділянок покриття групи А).

Отже, покриття у граничному стані за показником відносного прогину задовольняє нормативні вимоги.

6. Технічні характеристики літаків

Тип літака	Максимальна злітна маса, т	Нормативне навантаження па основну опору літака $F_{\text{н}}$, кН	Число коліс на основній опорі n_k	Відстані між центрами відбитків коліс основної опори, м		Число осей на основній опорі n_a	Внутрішній тиск повітря в пневматиках основної опори $p_{\text{в}}$, МПа
				У поперечному напрямку a_T	У поздовжньому напрямку b_T		
АН-225 "Мрія"	600,0	2766.4	14	1.01	1.71 1.71 1.71 1.71 1.71	7	1.15
АН-124-100	398,0	1835.1	10	1,01	1.71 1.71 1.71 1.71	5	1.1
АН-22	225,0	1013.1	6	1.25	2.5 2.5	3	0.5
АН -70г	112,0	499,0	6	0.73	1.5 1.5	3	0.75
АН - 12	61,0	277.4	4	0.49	1.23	2	0.75
АН-74	34.8	157,0	2		1.3	2	0.65
АН -72	31.2	140,8	2		1.3	2	0.65
АН -32	27.0	123,7	2	0.5		1	0.49
АН -26	24.0	109,7	2	0.5		1	0,39
АН -30	22,1	101,1	2	0.5		1	0,5
АН -24	21.0	96.0	2	0.5		1	0.49
АН -140	19,15	84.5	2	0,5		1	0.45
АН -38	7,0	28.9	1				0.45
АН -28	6.5	26,9	1			1	0.5
АН -2	5,25	22.1	1			1	0.3
Іл - 96	231,0	718,4	4	1.1	1.49	2	1.08
Іл - 86	216,4	662.3	4	1.25	1.49	2	0.932
ІЛ-76ГД	191,0	440,3	4	0,64 0.82 0.64		1	0.696

Іл-62М	168,0	774,6	4	0,8	1,65	2	1,08
Іл-114	22,75	106,0	2	0,6		1	0,588
Ту-154Б	98,0	433,6	6	0,62	1,03 0,98	3	0,932
Ту-204	93,5	421,0	4	0,782	1,4	2	1,372
Ту-134А	47,5	212,9	4	0,56	0,89	2	0,834
Як-42	56,5	269,5	4	0,62	0,98	2	0,88
Як-40	16,0	69,1	1	-	-	1	0,39
А300-В4	157,0	716,2	4	0,93	1,4	2	1,41
В747-200F	379,2	844,4	4	1,12	1,47	2	1,39
В747-200С	373,3	826,3	4	1,12	1,47	2	1,30
В767-300	159,6	724,9	4	1,14	1,42	2	1,21
В707-320С	152,4	698,2	4	0,88	1,42	2	1,24
В757-200	109,3	485,7	4	0,86	1,14	2	1,17
В727-200	78,5	355,7	2	0,86		1	1,15
В737-200	52,6	234,9	2	0,78	-	1	1,1
DC-10-40	253,1	936,1	4	1,37	1,63	2	1,17
DC-10-10	196,4	908,5	4	1,37	1,63	2	1,28
DC8-63	162,4	758,3	4	0,81	1,4	2	1,3
DC-9-82	67,1	313,9	2	0,71	-	1	1,24
L-1011-500	225,9	1023,8	4	1,32	1,78	2	1,27
Трайдент 3	68,3	305,1	4	0,3 0,65 0,3	-	1	1,14
F28.Мк200 ОНТР	29,5	138,5	2	0,55	-	1	0,69
F27.Мк500	19,8	92,2	2	0,45	-	1	0,54

Примітка. За своїми характеристиками у таблиці літаки можуть бути віднесені до таких категорій нормативного навантаження (табл.28 СНиП 2.05.08-85): категорія В/к – АН-225 «Мрія», АН-124-100, Іл-62М, В747-200С, В747-200F, DC-10-10, DC-10-40, L-1011-500; категорія I - Іл-96, А300-В4, В767-300, В707-320С, DC-8-63; категорія II - АН-22, Іл-86, ІЛ-76ТД, Ту-204, Ту-154Б, В727-200, В757-200, DC-9-82; категорія III – АН-70т, В737-200, Трайдент 3; категорія IV - АН-12, АН-72, АН-74, АН-32, Ту-134А, Як-42, F28.Мк200ОНТР; категорія V - АН-140, АН-24, АН-26, АН-30, Іл-114, Як-40, F27.Мк500; категорія VI - АН-32, АН-28, АН-2.

Література: 1. СНиП 2.05.08-85. Аеродроми. М. : ЦИТП Госстроя ССРСР, 1985. 59 с [Діючий]