

УДК 625.717.02.001.24.66 (076.5)

ББК О 513-04 р

Р 654

Укладачі: І.О. Белінський, І.М. Пліш, А.І. Білеуш  
Рецензент В.М. Золотоперий

Затверджено на засіданні науково-методично-редакційної ради Інституту транспортних технологій НАУ 16 червня 2004 року.

**Розрахунок та конструювання аеродромних покриттів:**  
Р 654 Методичні рекомендації до курсового проектування/ Уклад.:  
І.О. Белінський, І.М. Пліш, А.І. Білеуш – К.: НАУ, 2006. – 48 с.

Наведені приклади розрахунку покриттів можуть бути корисні студентам при виконанні курсових та дипломних проектів з аеродромно-будівельної тематики.

Призначені для студентів 5-го курсу спеціальності 8.092105 "Автомобільні дороги та аеродроми".

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Курсовий проект "Розрахунок та конструювання аеродромних покриттів" студенти виконують при вивченні дисципліни "Аеродромні покриття". Він передбачає опрацювання кожним студентом конструкції двох видів твердого аеродромного покриття – жорсткого і нежорсткого, та розрахунок їх на навантаження від заданих типів літаків.

Мета курсового проекту – закріплення і поглиблення теоретичних та практичних знань у галузі проектування аеродромів, набуття ними умінь самостійно і технічно грамотно вирішувати фахові інженерні завдання.

Завдання курсового проекту – оволодіння інженерними методами розрахунку та конструювання аеродромних покриттів згідно з вимогами нормативних документів; закріплення навичок оформляти графічні матеріали в процесі проектування; набуття навиків роботи з нормативною літературою.

Курсовий проект складається з пояснювальної записки і графічної частини.

Пояснювальна записка має два розділи:

1. Розрахунок та конструювання жорсткого покриття.
2. Розрахунок та конструювання нежорсткого покриття.

Залежно від варіанта завдання на курсовий проект назва цих розділів може уточнюватися стосовно конкретних видів покриттів (наприклад, "Розрахунок та конструювання одношарового армобетонного покриття", "Розрахунок та конструювання двошарового бетонного покриття", "Розрахунок та конструювання асфальтобетонного покриття" тощо).

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

Графічна частина курсового проекту являє собою креслення "Конструкції жорсткого аеродромного покриття", на якому має бути показано:

- план розкладки плит на злітно-посадковій смузі (ЗПС) з твердими покриттями і сполучній руліжній доріжці (РД), яка примикає до неї;

- умовні позначення прийнятих конструкцій деформаційних швів;
- розрізи покриттів ЗПС і РД;
- конструкція армобетонної плити (у випадках розробки варіантів армобетонних покриттів, як одношарових, так і двошарових);
- конструкції прийнятих в покритті деформаційних швів;
- конструкції укріплених ґрунтових ділянок, які примикають до торців злітно-посадкової смуги з твердими покриттями (ТЗПС), вимосток та укріплених узбочин РД.

З метою регулювання трудомісткості виконання графічних матеріалів для студентів, які опрацьовують варіанти армобетонних покриттів, дозволено конструкції деформаційних швів на кресленні не показувати.

Вихідні дані для виконання курсового проекту:

- 1) клас аеродрому;
- 2) склад навантажень на аеродромні покриття (задаються типи літаків, які експлуатуються на аеродромі);
- 3) середньорічне число зльотів  $N_i$  для кожного типу літаків;
- 4) варіанти жорсткого і нежорсткого покриттів, які потрібно розрахувати і законструювати;
- 5) вид штучної основи жорсткого покриття;
- 6) місцеві будівельні матеріали для спорудження штучних основ жорстких і нежорстких покриттів;
- 7) характеристики природно-кліматичних умов: дорожньо-кліматична зона; географічне розташування району будівництва аеродрому; тип гідрогеологічних умов; річна амплітуда середньодобових температур (в градусах Цельсія); вид ґрунту природної основи.

В курсовому проекті розрахунок та конструювання аеродромних покриттів потрібно виконати для найбільш навантажених ділянок групи А [1, п. 5.48]. Перевірку ґрунтових основ покриттів на деформації морозного здимання завданням не передбачено.

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.

Таблиця 1

Вихідні дані для курсового проекту

Літери алфавіту	За першою літерою прізвища				За другою літерою прізвища	За третьою літерою прізвища		
	Клас аеродрому	Типи літаків	$N_i$ , зл/рік	Варіант жорсткого покриття	Штучна основа жорсткого покриття	Коефіцієнт для визначення		
						$p_1$	$p_2$	$p_3$
А, Б, В, Г	А	Ан-124-100 Іл-96 F28.Мк2000НТР	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Двошарове бетонне	Піско- або ґрунтоцементна	0,3	2,3	0,7
Г, Д, Е, Є	Б	В757-200 Ан-70т Ан-26	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Одношарове армобетонне	Піщана	0,2	1,6	1,8
Ж, З, И, І	Б	Іл-86 В737-200 Як-40	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Одношарове бетонне	Піско- або ґрунтоцементна	0,7	1,2	2,2
І, Й, К, Л	А	Іл-62М Ту-204 Ту-134А	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Двошарове армобетонне	Піщана	0,6	2,0	1,8
М, Н, О, П	Б	Іл-76ТД В737-200 Ан-72	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Двошарове бетонне	Піско- або ґрунтоцементна	0,5	1,4	0,9
Р, С, Т, У	В	Трайдект 3 Як-42 Ан-140	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Одношарове бетонне	Піщана	0,4	1,7	1,3
Ф, Х, Ц, Ч	А	В747-200F Іл-96 Ан-74	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Одношарове армобетонне	Піско- або ґрунтоцементна	0,2	1,8	2,1
Ш, Щ, Ъ, Ю, Я	В	Ту-134А Ан-26 Іл-114	10000 $p_1$ 10000 $p_2$ 10000 $p_3$	Одношарове армобетонне	Піщана	0,8	1,1	2,6

**Примітки.** 1. Назва “двошарове армобетонне” означає двошарове покриття з верхнім армобетонним шаром і нижнім шаром з неармованого бетону.

2. За умовами курсового проекту двошарові покриття слід проектувати із суміщеними швами у верхньому і нижньому шарах і зі стиковими з'єднаннями або крайовим армуванням плит у швах верхнього шару.

3. Для варіантів жорстких покриттів на штучній піщаній основі, а також на піскоцементній основі з піщаним дренальним шаром (якщо він потрібний) припускається наявність в районі будівництва грубо- або середньозернистих пісків.

Таблиця 2

Вихідні дані для курсового проекту (продовження)

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, жорсткості з осадових вапняків
Г, Д, Е, Є	Щебеневе	Щебінь (100 і 80 МПа), грубо- і дрібнозерниста ґрунтоґравійні суміші
Ж, З, И, І	Асфальтобетонне	Щебінь (80 МПа), грубо- і дрібнозерниста ґрунтоґравійні суміші
І, Й, К, Л	Асфальтобетонне	Щебінь (80 і 60 МПа), жорсткості з вивержених гірських порід
М, Н, О, П	Щебеневе	Щебінь (100 МПа), калієво-магнійні 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 середньозерниста ґрунтоґравійні суміші
Ш, Щ, Ъ, Ь, Ю, Я	Щебеневе	Щебінь (100 і 80 МПа), основні металургійні різнозернисті шлаки

**Примітки.** 1. Назва "щебеневе" означає покриття з міцного щебеню підбраного складу, обробленого органічним в'язким матеріалом.

2. Застосування асфальтобетонних покриттів для літаків з позакласним і I категорії нормативним навантаженням (примітка до д. 3) і щебеневих покриттів для літаків з нормативним навантаженням I, II, III і IV категорій (що з погляду рівня навантажень не рекомендується) в курсовому проекті передбачено лише з навчальною метою.

3. За потребою включення в конструкцію нежорсткого покриття піщаного шару припускається наявність в районі будівництва грубо- чи середньозернистих пісків.

Таблиця 3

Вихідні дані для курсового проекту (закінчення)

Літери алфавіту	За шостою літерою прізвища			За сьомою літерою прізвища		
	Дорожно-кліматична зона	Розташування аеродрому відносно 50 <sup>о</sup> північної широти	Річна амплітуда середньодобових температур, С	Тип гідрогеологічних умов	Ґрунт природної основи	Коефіцієнт пористості e
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, Й, 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, Ъ, Ь, Ю, Я	IV	50 – 43	43,7	1	Супісок пилуватий	0,84

**Примітки.** 1. Район будівництва аеродрому розташований на території України.

2. Позначення "> 50°" свідчить про розташування аеродрому на північ від 50° північної широти, а "50 – 43°" – про розташування аеродрому між 50° і 43° північної широти.

Вихідні дані необхідно оформляти на окремому аркуші у вигляді таблиці (табл. 4) і включати в пояснювальну записку (в табл. 4 наведено вихідні дані для студента з прізвищем Петренко).

Таблиця 4

## Приклад оформлення вихідних даних для курсового проекту

Літери прізвища	Вихідні дані
П	Аеродром класу Б Літаки: Іл – 76 ТД ( $10000 \cdot 0,4 = 4000$ зл/рік), В737- 200 ( $10000 \cdot 1,7 = 17000$ зл/рік), Ан – 72 ( $10000 \cdot 1,3 = 13000$ зл/рік). Варіант жорсткого покриття – двошарове бетонне
Е	Штучна основа жорсткого покриття – піщана
Т	$n_1 = 0,4; n_2 = 1,7; n_3 = 1,3$
Р	Варіант нежорсткого покриття – асфальтобетонне
Е	Місцеві будівельні матеріали для спорудження штучної основи нежорсткого покриття – щебінь з природного каменя з граничною міцністю при стисканні 100 і 80 МПа, грубо- і дрібнозернисті ґрунтощебеневі суміші
Н	Дорожно-кліматична зона – III; район будівництва розташований на північ від 50° північної широти. Річна амплітуда середньодобових температур 50,8°С
К	Тип гідрологічних умов – I; ґрунт природної основи пилуватий супісок з коефіцієнтом пористості $e = 0,74$

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

## ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

## Розрахунок та конструювання аеродромних покриттів

Проектування аеродромних покриттів буває здебільшого варіантним і включає в себе чотири взаємозв'язані етапи:

1) конструювання покриттів – вибір видів покриттів (варіантів), придатних для застосування на даному аеродромі; вибір матеріалів для влаштування конструктивних шарів покриттів і штучних основ; призначення попередньої товщини конструктивних шарів; розробка армування плит; вибір конструкції деформаційних швів тощо;

2) розрахунок покриттів (за граничним станом відповідної групи) – розрахункова перевірка правильності призначення товщи-

ни конструктивних шарів, виходячи із заданого навантаження (розрахунок забезпечує рівномірність конкурентоспроможних варіантів покриттів);

3) техніко-економічне обґрунтування вибору покриттів – оцінка економічності конкурентоспроможних варіантів покриттів і на цій основі остаточний вибір найбільш економічного варіанта;

4) оформлення проектної документації – виконання робочих креслень для вибраного варіанта покриття і складання пояснювальної записки до проектних матеріалів.

Даний курсовий проект охоплює перший, другий і четвертий з названих етапів проектування. Техніко-економічне обґрунтування вибору покриттів студенти вивчають за програмою дисципліни “Економіка будівництва”. Особливістю виконання першого, другого і четвертого етапів проектування покриттів є те, що з метою зменшення трудомісткості роботи студенти розглядають (на відміну від реальних умов) лише один варіант жорсткого покриття і один варіант нежорсткого покриття, які їм задаються.

Оскільки конструювання і розрахунок покриттів як етапи проектування – взаємозалежні, то їх слід виконувати одночасно: спочатку ту частину етапу конструювання, яка необхідна для розрахунку за граничним станом, а потім сам розрахунок, після чого конструювання покриттів завершують (наприклад, в монолітних жорстких покриттях призначають відстані між деформаційними швами, вибирають конструкції швів, розробляють армування плит і т. ін). У випадку, коли розрахунок дає незадовільні результати, в заздалегідь призначену конструкцію покриття вносять корективи і розрахунок повторюють (якщо необхідно, це роблять декілька разів до одержання потрібного результату). Враховуючи зазначену особливість перших двох етапів проектування, на практиці терміном “розрахунок покриття” часто називають як сам розрахунок, так і зв'язану з ним частину конструювання покриття.

Користування посібником передбачає наявність у студента чинного нормативного документа з проектування аеродромних покриттів [1] (роз'яснення до його положень даються лише у необхідних випадках).

Пристаючи до виконання курсового проекту, слід з'ясувати вихідні дані (подані в загальних методичних вказівках). Далі потрібно опрацювати навчальні матеріали відповідно до завдання на ку-

рсовий проєкт: лекції і практичні заняття за програмою дисципліни “Аеродромні покриття” [2, §§12.3, 13.2, 14.1-15.3, 16.2, 17.2, 17.4 і 17.5], а також ознайомитися з положеннями [1, гл. 5]. Після вивчення зазначених матеріалів можна приступати до виконання розділів пояснювальної записки з розрахунку та конструювання варіантів жорсткого і нежорсткого покриттів, використовуючи приклади розрахунку різних видів аеродромних покриттів, які наведено у даних методичних рекомендаціях. Пояснення тих чи інших особливостей розрахункової методики в одному з прикладів розрахунку покриття в наступних прикладах не повторюються. Іноді при певних вихідних даних можуть стосуватися і попередніх прикладів розрахунку. Тому такі пояснення перед початком розрахунку свого варіанта покриття доцільно уважно ознайомитися з усіма без винятку прикладами розрахунків аеродромних покриттів, наведених в посібнику.

Розробку креслення “Конструкція жорсткого аеродромного покриття” необхідно розпочинати з опрацювання його загальної компоновки. При цьому слід дотримуватися рівномірності і необхідної щільності заповнення листа креслення графічними матеріалами.

План розкладки плит покриття (масштаб 1:500) являє собою схему трасування поздовжніх та поперечних деформаційних швів на покриттях міцневої ділянки ТЗПС і примикаючої до неї ділянки сполучної РД з вузлом спряження, які діляться швами на окремі плити. Ширина ТЗПС і РД та радіус вузла спряження по внутрішньому краю покриття слід приймати залежно від заданого класу аеродрому відповідно до положень [1, гл.2].

Відстані між швами на ТЗПС і РД призначаються з урахуванням вимог [1, п. 5.27–5.30] та прийнятої ширини захвату бетоноукладацьких машин (студенту надано право вибору машини на свій розсуд, залежно від ширини ТЗПС і РД, із шириною захвату 7,5 і 7 м та половинного розміру відповідно 3,75 і 3,5 м). У вузлі спряження покриття необхідно ділити швами на квадратні плити з довжиною сторони 5 або 7,5 м залежно від виду і товщини покриття з урахуванням суміщення напряду швів з поперечними швами на РД. На периферійних ділянках вузла плити можуть бути неправильної (непрямокутної) конфігурації з відсутніми гострими кутами.

У процесі складання плану розкладки плит при виборі конструктивних рішень швів слід дотримуватися таких рекомендацій. Поздовжні технологічні шви на ТЗПС і РД потрібно виконувати у вигляді шпунтових стикових швів стискання (якщо товщина плит покриття більша ніж 24 см) або наскрізних швів стискання з крайовим армуванням плит (якщо товщина плит покриття 24 см і менше). Поперечні шви слід виконувати у вигляді несправжніх швів стискання зі штирями. У вузлі спряження, як і у випадку виконання технологічних швів на ТЗПС і РД, залежно від товщини покриття слід приймати стикові шви шпунтові або наскрізні з крайовим армуванням плит. Для одношарових покриттів завтовшки 24 см і менше, які споруджуються на піщаній штучній основі, у вузлі спряження замість наскрізних швів з крайовим армуванням плит доцільно влаштовувати наскрізні шви (розширення) зі штирями. Вузол спряження відділяється від ТЗПС і РД, як і сама РД від ТЗПС, наскрізним швом розширення з крайовим армуванням плит. Плани розкладки плит верхнього і нижнього шарів двошарових покриттів суміщаються на одній схемі (план нижнього шару ТЗПС і РД показують в місцях з умовно видаленим верхнім шаром).

На плані розкладки плит показують прикінцеву смугу гальмування (ПКСГ), яка примикає до торця ТЗПС, а також укріплені ґрунтові узбочини РД і вимостки ТЗПС [1, п. 2.7, 2.8, 5.22 і 5.23]. Рекомендована ширина вимосток складає 0,5-1 м, а у випадках спорудження під ними траншей для закрючочних дрен – 1,5 м. Для наочності показу на кресленні укріплені ґрунтові ділянки і вимостки дозволяється трохи затемнювати.

На плані розкладки плит необхідно показувати розміри, які відносяться до твердих аеродромних покриттів, укріплених ґрунтових ділянок і вимосток, а також до трасування швів.

Умовні позначення швів наносять поряд з планом розкладки плит. Основні з них такі: несправжній шов стискання зі штирями – тонка штрихова лінія; шпунтовий шов стискання – дві близько розташовані паралельні тонкі лінії (суцільна і штрихова); наскрізний шов розширення з крайовим армуванням плит – потовщена суцільна лінія; наскрізний шов розширення зі штирями – потовщена штрихова лінія.

Поперечні розрізи покриттів ЗПС і РД (горизонтальний масштаб – відповідно 1:200 і 1:100; вертикальний – 1:50) роблять на

всю ширину, включаючи вимостки і укріплені узбочини. На розрізах повинні бути показані всі конструктивні шари покриттів і штучних основ з умовними позначеннями застосованих матеріалів і підстильного ґрунту. Показують також закрочні дрени (якщо їх потрібно влаштувати). Ставлять необхідні розміри: показують напрями і числові значення поперечних ухилів; роблять пояснювальні написи, які розкривають пошаровий склад покриття, штучної та ґрунтової основи, а також вимосток і укріплених узбочин. В написі наводять найменування матеріалу конструктивного шару, його основні технічні характеристики (якщо необхідно) і проєкту товщину шару. Наприклад, записують: “Бетон ( $B_{об}4,0$ ; В30) – 280”, “Два шари пергаміну”, “Асфальтобетон дрібнозернистий (суміш марки І, типу А) – 50”, “Супісок ущільнений” тощо.

Аналогічно виконують поздовжній розріз покриття ПКСГ, яке, примикає до торця ТЗПС.

Графічний матеріал з конструювання армобетонної плити, повинен включати в себе план розкладки арматурних сіток і установочних каркасів в плиті (масштаб 1:100); поздовжні і поперечні розрізи плити (горизонтальний масштаб – 1:100; вертикальний – 1:20, 1:25); конструкцію сіток (масштаби 1:75, 1:50); конструкцію установочних каркасів і стержнів (масштаби 1:10, 1:5); вузол стику сіток (масштаби 1:10, 1:20); специфікацію арматури (на одну плиту). Вказівки щодо конструювання армобетонних покриттів викладені в нормах [1, п. 5-18] і підручнику [2, с. 288-290].

При розробці вказаного графічного матеріалу необхідно розглянути такі можливі конструктивні варіанти армобетонних покриттів:

а) одношарові покриття товщиною понад 24 см на піщаній, піско- або ґрунтоцементній штучній основі (їхні плити мають однорядне армування); сітки арматури спираються на поперечні установочні каркаси трикутного і U-подібного перетину (каркаси U-подібного перетину встановлюють на торцевих ділянках плит); установочні каркаси закріплюють забиванням в штучну основу спеціальних стрижнів;

б) аналогічні покриття, але завтовшки 24 см і менше – на відміну від попереднього варіанта плити мають додаткове армування на поздовжніх крайових ділянках (на цих ділянках армування дворядне [2, рис. 15.4, шов типу VII б]) поперечні установочні кар-

каси трикутного перетину укорочені і розміщуються на середніх ділянках плит;

в) верхній шар двошарових покриттів завтовшки більше 24 см – на відміну від першого варіанта (п. “а”) поперечні установочні каркаси трикутного перетину замінюють на  $\sphericalangle$ -подібні стрижні, які приварюються до арматурних сіток; установочні каркаси U-подібного перетину прикріплюють до нижнього бетонного шару за допомогою кутників і пристрілювання до бетону дубелем;

г) верхній шар двошарових покриттів товщиною 24 см і менше (поєднуються особливості другого і третього варіантів).

Конструювання плити заданого варіанта армобетонного покриття, включаючи виконання графічного матеріалу і складання специфікації арматури, необхідно виконувати відповідно до загальноприйнятих правил розробки монолітних залізобетонних конструкцій.

Конструкції застосованих в покритті деформаційних швів потрібно розробляти у масштабі 1:10 [2, рис. 15.5, 15.6, 15.10]. На кресленні показують поперечні розрізи швів та їхній вигляд у плані (для шпунтового шва стискання – лише поперечний розріз) з необхідними розмірами і позначенням усіх конструктивних елементів цифровими позиціями. Розшифровка позицій подається в експлікації “Конструктивні елементи швів”.

Всі розміри на кресленні ставляться в міліметрах.

Розглянуті графічні матеріали повинні бути озаглавлені зверху або позначені (для розрізів, вузлів) з написом масштабів побудови. Називаються також конструкції деформаційних швів.

На кресленні, крім різних коротких написів, потрібно робити ще примітки, які пояснюють або доповнюють графічний матеріал. В них, зокрема, необхідно давати інформацію про ширину захвату бетоноукладавальних машин, особливості бетонування вузлів спряження, а також вимоги до виготовлення арматурних сіток, з'єднання сіток внахлест без зварювання, закріплення установочних каркасів на бетоні нижнього шару двошарових покриттів тощо.

Зразки виконання графічних матеріалів з конструювання аеродромних покриттів показані на стенді (на кафедрі реконструкції аеропортів та автошляхів) як наочний матеріал з курсового і дипломного проєктування.

### Вимоги до оформлення матеріалів курсового проекту

Текстова частина і розрахунки пояснювальної записки до курсового проекту повинні бути написані або надруковані на одному боці аркуша паперу формату А4 (210 x 297 мм) з полями зліва – 35 мм, справа – 10 мм і зверху та знизу по 20 мм. Сторінки і рисунки пояснювальної записки необхідно пронумерувати.

Текст пояснювальної записки, хід розрахунків, обґрунтування конструктивних рішень повинні бути лаконічними, чіткими. Описи з літературних джерел в записці не слід наводити, обмежуючись лише посиланнями на них у списку використаної літератури. Список літератури складають відповідно до загальноприйнятої форми (див., наприклад, список літератури в кінці посібника).

Записи обчислень повинні містити формули у літерному вигляді з підстановкою в них числових значень розрахункових величин. Розшифровку літерних позначень формул давати не слід. Необхідно лише пояснити, як і чому приймаються ті чи інші значення розрахункових величин і вказати розмірності розрахункових величин та результатів обчислень.

Матеріали, включені в пояснювальну записку, повинні бути викладені в такому порядку: 1) титульний аркуш (дод. 1); 2) завдання (два розділи записки); 3) список використаної літератури.

Креслення "Конструкції жорсткого аеродромного покриття" виконують, оцифровують або за допомогою ПЕОМ на аркуші паперу (важливий) формату А1 (594 x 841 мм). При цьому повинні бути витримані вимоги чинних стандартів з будівельного креслення. Лист креслення оформлюють прямокутною рамкою, сторони якої повинні відстояти від верхнього, нижнього і правого країв на 5 мм, а від лівого – на 20 мм. У правому нижньому кутку рамки необхідно залишити місце для основного напису креслення (дод. 2). Над основним написом дають примітки до графічних матеріалів креслення.

### Контроль виконання курсового проекту та його захист

Хід виконання курсового проекту контролює його керівник (під час проведення консультацій і на переглядах проекту).

Після закінчення строку виконання курсового проекту починають його захист, розклад якого заздалегдь доводиться до відома студентів. Невяка на захист у встановлений термін з неповажних причин розглядається як невиконання проекту.

За курсовий проект ставиться диференційована оцінка, яка враховує: правильність виконання розрахунків і обґрунтованість конструктивних рішень покриттів; якість оформлення графічного матеріалу і пояснювальної записки; повноту і правильність відповідей студента на задані йому на захисті питання; додержання календарного графіка виконання етапів проекту та його захисту.

### ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

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

Вихідні дані

Клас аеродрому – В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: Як-42, Іл-114, Ан-24. Розрахункові характеристики наведені в дод. 3.

Літак Як-42: нормативне навантаження на основну опору  $F_n = 260,5$  кН; число коліс на основній опорі  $n_k = 4$ ; відстань між центрами відбитків коліс основної опори  $a_T = 0,62$  м,  $e_T = 0,98$  м; число осей на основній опорі  $n_a = 2$ ; внутрішній тиск повітря в пневматиках коліс основної опори  $p_a = 0,88$  МПа.

Літак Іл-114:  $F_n = 106,0$  кН;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0,6$  м;  $e_T = 0$  м;  $n_a = 1$ ;  $p_a = 0,588$  МПа.

Літак Ан-24:  $F_n = 96,0$  кН;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0,5$  м;  $e_T = 0$  м;  $n_a = 1$ ;  $p_a = 0,49$  МПа.

Середньорічне число зльотів літаків (зл/р): для Як-42  $N_f = 2000$  зл/р; для Іл-114  $N_f = 5000$  зл/р; для Ан-24  $N_f = 6000$  зл/р.

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 природного залягання (з коефіцієнтом пористості  $e = 0,57$ ). Місцеві будівельні матеріали – середньозернистий пісок.

### Розрахунок

Як приклад виконаємо розрахунок покриття на ділянках груп А [1, п. 5.48].

Розрахунок потрібно починати з визначення навантажувальних характеристик для літака з найбільшим нормативним навантаженням на основну опору  $F_n$  і який можливо є розрахунковим для покриття (в даному прикладі – це літак Як-42, для якого  $F_n = 260,5$  кН).

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

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} k_d \gamma_f = \frac{260,5}{4} \cdot 1,27 \cdot 1,0 = 78,2 \text{ кН};$$

де  $k_d = 1,2$ ;  $\gamma_f = 1,0$  (приймаємо згідно з вимогами [1, табл. 33] для ділянок покриттів групи А при  $p_a = 0,88$  МПа  $<$  1,0 МПа)

$$R_c = \sqrt{\frac{F_d}{\pi p_a}} = \sqrt{\frac{78,2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,88 \cdot 10^6}} = 0,17 \text{ м},$$

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 проєктні класи бетону за міцністю на розтяг при згинанні  $B_{пр} 4,0$  і на стискання В30 [1, табл. 20]. Розрахункові характеристики бетону беремо з [1, табл. 1 дод. 9]: розрахунковий опір розтягу при згинанні  $R_{btb} = 3,43$  МПа; модуль пружності важкого бетону  $E_b = 3,24 \cdot 10^4$  МПа. Передбачаємо влаштування дренажного шару із середньозернистого 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  $F_d = 78,2$  кН і числа коліс на опорі  $n_k = 4$  [1, табл. 15] приймаємо  $H_c = 5$  м.

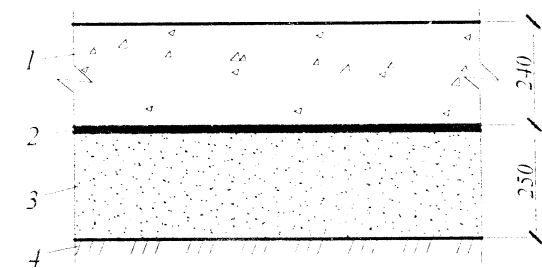


Рис. 1. Конструкція одношарового бетонного покриття:  
1 – бетон проєктних класів  $B_{пр} 4,0$  і В30; 2 – два шари пергаміну; 3 – середньозернистий пісок; 4 – суглинок

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

Спочатку за даними [1, табл. 6 дод. 9] визначаємо коефіцієнт постелі насипного середньозернистого піску  $K_{s1} = 1,2 \cdot 10^2$  МН/м<sup>3</sup>. Потім з норм [1, табл. дод. 4] з урахуванням другого типу гідрогеологічних умов, коефіцієнта пористості ґрунту  $e = 0,57$  та розташування району будівництва у III дорожньо-кліматичній зоні (в межах України) приймаємо для суглинку в природному стані коефіцієнт постелі  $K_{s2} = 50$  МН/м<sup>3</sup>.

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

$$K_{se} = \frac{K_{s1} + K_{s2} \cdot a_3}{1 + a_3} = \frac{120 + 50 \cdot 6,94}{1 + 6,94} = 58,8 \text{ МН/м}^3,$$

$$\text{де } a_3 = \frac{0,5(1,6D_r - t_1)^2}{t_1(1,6D_r - 0,5t_1)} = \frac{0,5(1,6 \cdot 2,40 - 0,25)^2}{0,25(1,6 \cdot 2,40 - 0,5 \cdot 0,25)} = 6,96.$$

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. 3 посібника).

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



$$B = 0,085 E_c l^3 = 0,085 \cdot 3,24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,24^3 = 3,81 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{м} =$$

$$= 3,81 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2 / \text{м}.$$

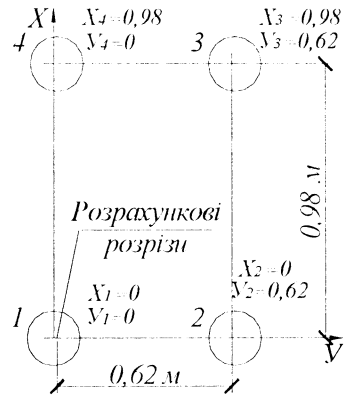


Рис. 2. Розрахункова схема основної опори літака Як-42

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

$$l = 4 \sqrt{\frac{B}{K_{se}}} = 4 \sqrt{\frac{3,81 \cdot 10^7}{58,8 \cdot 10^6}} = 0,90 \text{ м}.$$

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):

$$m_{c, \max}(x) = m_1 + \sum_{i=2}^{n_x} m_{xi} = F_d f(\alpha) + \sum_{i=2}^{n_x} \bar{m}_{xi} \cdot F_d =$$

$$78,2 \cdot 0,2120 + 0,0231 \cdot 78,2 + 0,0227 \cdot 78,2 + 0,0483 \cdot 78,2 =$$

$$16,58 + 1,81 + 1,78 + 3,78 = 23,95 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$m_{c, \max}(y) = m_1 + \sum_{i=2}^{n_y} m_{yi} = F_d f(\alpha) + \sum_{i=2}^{n_y} \bar{m}_{yi} \cdot F_d =$$

$$78,2 \cdot 0,2120 + 0,0836 \cdot 78,2 + 0,0014 \cdot 78,2 - 0,0051 \cdot 78,2 =$$

$$-16,58 + 6,54 + 0,11 - 0,40 = 22,83 \text{ кН} \cdot \text{м/м},$$

де  $f(\alpha)$  приймається з [1, табл. 1 дод. 10] для  $a = \frac{R_c}{l}$ ;  $\bar{m}_{xi}$  і  $\bar{m}_{yi}$  беруть для кожного  $i$ -го починаючи з другого колеса основної опори з

норм [1, табл. 2 дод. 10] залежно від значень координат  $\xi_1 = \frac{y_i}{l}$  і

$\eta_i = \frac{x_i}{l}$  (числові значення  $y_i$  і  $x_i$  показані на рис. 2).

Результати визначення  $a, f(a), \xi_i, \eta_i, \bar{m}_{xi}$  і  $\bar{m}_{yi}$  наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$a = \frac{R_c}{l}$	$f(a)$	$\xi_1 = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{x_i}{l}$	$\bar{m}_{xi}$	$\bar{m}_{yi}$
Перше	0,19	0,2120	-	-	-	-
Друге	-	-	0,69	0	0,0231	0,0836
Третє	-	-	0,69	1,09	0,0227	0,0014
Четверте	-	-	0	1,09	0,0483	-0,0051

**Примітка.** Числові значення обчислень рекомендується подавати в табличній формі, коли число коліс  $n_k \geq 4$ .

Зауважимо, що згідно із вказівкою [1, п. 5.52] при визначенні  $m_{c, \max}(x)$  сума моментів  $m_{y3}$  і  $m_{y4}$  від ряду коліс, які включають в себе третє і четверте колеса, не враховувалася як така, що давала від'ємне значення ( $0,11 - 0,40 = -0,29 \text{ кН} \cdot \text{м/м}$ ).

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

$$m_{c, \max} = m_{c, \max}(x) = 23,95 \text{ кН} \cdot \text{м/м}.$$

Аналогічним чином (як це було зроблено для літака Як-42) визначаємо  $m_{c, \max}$  для літаків Іл-114 і Ан-24:

$$\text{для Іл-114 } m_{c, \max} = 18,38 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$\text{для Ан-24 } m_{c, \max} = 17,51 \text{ кН} \cdot \text{м/м}.$$

Одержані результати обчислень свідчать про те, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося, є літак Як-42, оскільки він дає найбільше значення

$$m_{c, \max} (23,95 > 18,38 > 17,51 \text{ кН} \cdot \text{м/м}).$$

**Примітка.** В пояснювальній записці до курсового проекту обчислення значень  $m_{c,\max}$  для всіх заданих типів літаків потрібно описувати повністю (як це було показано для літака Як-42).

9. Виходячи з  $m_{c,\max} = 23,95 \text{ кН} \cdot \text{м/м}$  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):

$$m_d = m_{c,\max} \cdot k \cdot k_N \cdot k_{x(y)} = 23,95 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 31,61 \text{ кН} \cdot \text{м/м},$$

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 язучем).

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

$$m_u = \gamma_c R_{btb} \frac{t^2}{6} k_u = 0,8 \cdot 3,43 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,24^2}{6} \cdot 1,21 = 31,87 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м/м} = 31,87 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

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;  $k_u = 1,21$  – визначається з норм [1, графіка 3 дод. 10] залежно від розрахункового числа прикладань навантаження при зльотах літаків  $U_d = 0,8 \cdot 10^5$ .

Зазначене розрахункове число прикладань навантаження на покриття  $U_d$  обчислюємо в такій послідовності. Визначаємо число прикладань навантаження  $U_i$  від основної опори кожного типу літака за проектний строк служби покриття  $T$ , який у відповідності з нормами [1, п. 5.54] для жорстких покриттів повинен прийматися рівним 20 рокам:

для літака Як-42

$$U_1 = n_{a1} N_1 = n_{a1} N_1 (\text{рік}) T = 2 \cdot 2000 \cdot 20 = 0,8 \cdot 10^5;$$

для літака Іл-114

$$U_2 = n_{a2} N_2 = n_{a2} N_2 (\text{рік}) T = 1 \cdot 5000 \cdot 20 = 1,0 \cdot 10^5;$$

для літака Ан-24

$$U_3 = n_{a3} N_3 = n_{a3} N_3 (\text{рік}) T = 1 \cdot 6000 \cdot 20 = 1,2 \cdot 10^5.$$

Залежно від відношення центральних моментів  $m_{ci}$  і  $m_{cd}$  від навантажень відповідно  $i$ -го і розрахункового типу літаків, а також від прийнятих з норм [1, графік 4 дод. 10]  $U_i$ , значень обчислюємо еквівалентне число прикладань навантаження від опори  $i$ -го типу літака на покриття  $U_{ei}$ , приведене до прикладань навантаження від опори розрахункового літака:

для розрахункового типу літака Як-42 з урахуванням

$$m_{cd} = m_{ci} = m_{c,\max} = 23,95 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ і } m_{ci} / m_{cd} = 1,0$$

$$U_{e1} = U_1 = 0,8 \cdot 10^5;$$

для другого ( $i=2$ ) типу літака Іл-114 з урахуванням

$$m_{e2} = m_{c,\max} (\text{Іл-114}) = 18,38 \text{ кН} \cdot \text{м/м}, m_{e2} / m_{cd} = 18,38 / 23,95 = 0,77 \text{ і}$$

$$U_2 = 1,0 \cdot 10^5$$

$$U_{e2} = 900;$$

для третього ( $i=3$ ) типу літака Ан-24 з урахуванням

$$m_{e3} = m_{c,\max} (\text{Ан-24}) = 17,51 \text{ кН} \cdot \text{м/м}, m_{e3} / m_{cd} = 17,51 / 23,95 = 0,73 \text{ і}$$

$$U_3 = 1,2 \cdot 10^5$$

$$U_{e3} = 900.$$

Тоді

$$U_d = \sum_{i=1}^{n_i} U_{ei} = \sum_{i=1}^3 U_{ei} = U_{e1} + U_{e2} + U_{e3} = 0,8 \cdot 10^5 + 900 + 900 \approx 0,8 \cdot 10^5,$$

де  $n_i = 3$  означає число типів літаків, які враховуються, а  $i$  – порядковий номер типу літака.

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

$$m_d = 31,61 \text{ кН} \cdot \text{м/м} < m_u = 31,87 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ (на } 0,8 \text{ \%)}.$$

Прийнята товщина плити ( $t = 0,24$  м) відповідає умовам міцності.

**Примітка.** В розрахунках жорстких покриттів розбіжність між числовими значеннями  $m_d$  і  $m_u$  може допускатися у межах 5 % (розбіжність

обчислюється відносно значення  $m_d$ ). При більшій розбіжності у заздалегідь прийнятій конструкції покриття потрібно внести корективи і виконати повторний розрахунок.

12. Призначаємо розміри плит покриття в плані і вибираємо конструкції деформаційних швів.

Згідно з нормами [1, п. 5.27 і 5.28] відстань між поздовжніми технологічними швами стискання приймаємо 7 м (при ширині ТЗПС аеродрому класу В, що дорівнює 42 м, передбачається застосування бетоноукладальних машин з шириною захвату 7 м). Оскільки товщина плит покриття  $t = 24$  см, ці шви потрібно виконувати [2, рис. 15.4] за типом VII "а" (наскрізні шви стискання з армуванням країв плит). Крайові ділянки плит (завширшки  $0,8l = 0,8 \cdot 90 = 70$  см) повинні мати арматуру  $5\text{Ø}12$  АІІ зверху і знизу [2, рис. 15.6].

У зв'язку з тим, що  $t = 24$  см  $<$  30 см, передбачаємо влаштування між поздовжніми технологічними швами додаткового поздовжнього шва стискання – за типом I "б" (несправжній шов стискання зі штирями). Приймаємо штирі діаметром 22 мм завдовжки 50 см з кроком установки 35 см [2, табл. 15.5].

Відстань між поперечними швами стиснення приймаємо 5 м (з урахуванням того, що  $t = 24$  см  $<$  30 см). Ці шви слід влаштувати за згаданим вище типом I "б".

Таким чином, плити в плані мають розміри 3,5 x 5 м.

## Приклад 2. Розрахунок одношарового армобетонного покриття на ґрунтоцементній штучній основі\*

### Вихідні дані

Клас аеродрому – В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: Ту-154Б, F28.Мк2000НТР, Ан-74. Розрахункові характеристики літаків (дод. 3):

\* Цей та наступні приклади розрахунку покриттів мають скорочену форму запису, включаючи вихідні дані і хід обчислень. При оформленні розрахунків в курсовому проєкті їх слід записувати в розгорнутому вигляді (див. приклад 1).

Літак Ту-154Б:  $F_n = 433,6$  кН,  $n_k = 6$ ;  $a_T = 0,62$  м;  $b_{T1} = 0,98$  м;  $b_{T2} = 1,03$  м;  $n_a = 3$ ;  $p_a = 0,932$  МПа.

Літак F28.Мк2000НТР:  $F_n = 135,8$  кН;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0,55$  м;  $b_T = 0$  м;  $n_a = 1$ ;  $p_a = 0,69$  МПа.

Літак Ан-74:  $F_n = 157,0$  кН;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0$  м;  $b_T = 1,3$  м;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 0,65$  МПа.

Середньорічна кількість зльотів літаків за типами: для Ту-154Б  $N_1 = 4000$  зл/р; для F28.Мк2000НТР  $N_2 = 3000$  зл/р; для Ан-74  $N_3 = 7000$  зл/р.

Дорожньо-кліматична II зона, на північ від  $50^\circ$  північної широти. Тип гідрогеологічних умов – I. Ґрунт природної основи покриття – супісок природного залягання ( $e = 0,83$ ). Річна амплітуда середньодобових температур складає  $43^\circ\text{C}$ .

### Розрахунок

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

1. Аналогічно п. 1 прикладу 1 для літака Ту-154Б, який має найбільше нормативне навантаження на основну опору

$F_n = 433,6$  кН, знаходимо:

$$F_d = \frac{433,6}{6} \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 86,7 \text{ кН};$$

$$R_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{86,7 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,932 \cdot 10^6}} = 0,17 \text{ м}.$$

2. Як і п.2 прикладу 1 призначаємо конструкцію покриття (рис. 3). Передбачаємо використання бетону проєктних класів

$B_{\text{бет}} 4,0$  і  $B_{30}$  з розрахунковими характеристиками  $R_{\text{кст}} = 3,43$  МПа;  $E_B = 3,24 \cdot 10^4$  МПа і ґрунтоцементу класу за міцністю на стискання 60, одержаного способом змішування на місці, для якого з норм [1, табл. 4 дод. 9] приймаємо  $E = 22 \cdot 10^2$  МПа.

3. За даними норм [1, дод. 4] для супіску природного залягання з коефіцієнтом пористості  $e = 0,83$  при першому типі гідрогеологічних умов приймаємо (зі зниженням на 35%):

$$K_s = 60 \cdot 0,65 = 39 \text{ МН/м}^3.$$

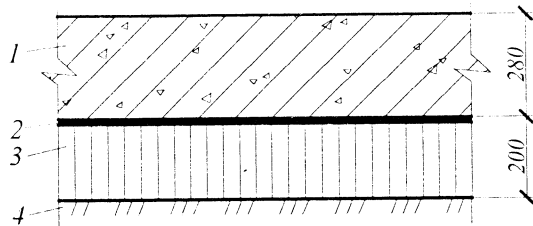


Рис. 3. Конструкція одношарового армобетонного покриття:  
1 – армобетон (з бетону проєктних класів В<sub>нп</sub>4,0 і В30);  
2 – два шари пергаміну; 3 – ґрунтоцемент; 4 – сулісок

4. За вказівкою норм [1, п. 1 дод. 11] з використанням формули [1, формула 12] обчислюємо сумарну жорсткість плити покриття і ґрунтоцементної штучної основи:

$$B + B_f = 6,05 \cdot 10^4 + 0,15 \cdot 10^4 = 6,20 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м},$$

$$\text{де } B = 0,085 \cdot 3,24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,28^3 = 6,05 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{м} = 6,05 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м};$$

$$B_f = 0,085 \cdot 22 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot 0,20^3 = 0,15 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{м} = 0,15 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м}.$$

5. Пружна характеристика плити

$$l = \sqrt[4]{\frac{6,2 \cdot 10^7}{39 \cdot 10^6}} = 1,12 \text{ м}.$$

6. З урахуванням геометричних характеристик основної опори літака Ту-154Б (рис. 4) обчислюємо значення  $a$ ,  $f(a)$ ,  $\xi_i$ ,  $\eta_i$ ,  $\bar{m}_{xi}$  і  $\bar{m}_{yi}$  (табл. 6).

Таблиця 6

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$\alpha = \frac{R_e}{l}$	$f(a)$	$\xi = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{ x_i }{l}$	$\bar{m}_{xi}$	$\bar{m}_{yi}$
Перше	0,17	0,2223	–	–	–	–
Друге	–	–	0	0,88	0,0639	0,0068
Третє	–	–	0,55	0,88	0,0363	0,0124
Четверте	–	–	0,55	0	0,0410	0,1028
П'яте	–	–	0,55	0,92	0,0351	0,0096
Шосте	–	–	0	0,92	0,0605	0,0045

7. Визначаємо максимальні згинальні моменти при центральній навантаженні плити:

$$m_{c, \text{max}}(x) = 86,7 \cdot 0,2223 + 0,0639 \cdot 86,7 + 0,0363 \cdot 86,7 + 0,0410 \cdot 86,7 + 0,0351 \cdot 86,7 + 0,0605 \cdot 86,7 = 39,80 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м};$$

$$m_{c, \text{max}}(y) = 86,7 \cdot 0,2223 + 0,0068 \cdot 86,7 + 0,0124 \cdot 86,7 + 0,1028 \cdot 86,7 + 0,0096 \cdot 86,7 + 0,0045 \cdot 86,7 = 31,07 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}.$$

8. Приймаємо  $m_{c, \text{max}}$  як більше із одержаних значень

$m_{c, \text{max}}(x)$  і  $m_{c, \text{max}}(y)$ :

$$m_{c, \text{max}} = m_{c, \text{max}}(x) = 39,80 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}.$$

Далі аналогічним чином визначаємо  $m_{c, \text{max}}$  для літаків F28.МК2000НТР і Ан-74: відповідно

$$m_{c, \text{max}} = 27,31 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м} \text{ і } m_{c, \text{max}} = 24,10 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}.$$

Переконаємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося, є літак Ту-154Б, оскільки він дає найбільше значення

$$m_{c, \text{max}} (39,80 > 27,31 > 24,10 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}).$$

9. Згідно з нормами [1, п. 1 дод. 11] визначаємо параметр  $\gamma_e$ :

$$\gamma_e = \frac{B}{B_f} = \frac{6,05 \cdot 10^4}{0,15 \cdot 10^4} = 40,3.$$

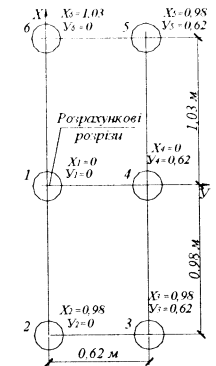


Рис. 4. Розрахункова схема основної опори літака Ту-154Б

10. За даними норм [1, графіка 1 дод. 11] при  $\gamma_e = 40,3$  знаходимо значення  $\theta_o = 0,26$ . Після цього обчислюємо параметр  $\rho$ :

$$\rho = 1 - 0,167 \cdot \theta_o = 1 - 0,167 \cdot 0,26 = 0,957.$$

11. За формулою [1, формула 1 дод. 11] визначаємо розрахункове значення моменту  $m_d$  для одношарового покриття з сумарною жорсткістю  $B + B_f = 6,20 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}$ , прийнявши  $m_{c, \text{max}} = 39,80 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}$  і  $k = 1,2$ :

$$m_d = \frac{B}{B + B_f} m_{c, \text{max}} k = \frac{6,05 \cdot 10^4}{6,2 \cdot 10^4} \cdot 39,8 \cdot 1,2 \cdot 0,957 = 44,60 \text{ кН} \cdot \text{м}/\text{м}.$$

12. За формулою [1, формула 14] обчислюємо граничний згинальний момент для плити

$$m_u = 0,9 \cdot 3,43 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,23^3}{6} \cdot 1,14 = 45,98 \text{ кН} \cdot \text{м/м.}$$

Використаний тут коефіцієнт  $k_u = 1,14$  визначено за методикою, яку викладено у прикладі 1. Проміжні результати обчислень наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Обчислення розрахункового числа прикладань навантаження літака Ту-154Б

Розрахункові величини	Тип літака		
	Ту-154Б	F28.Мк2000НТР	Ан-74
Число прикладань навантаження від опори літака за проектний строк служби покриття (20 років)	$2,4 \cdot 10^5$	$0,6 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^5$
Центральні моменти від навантажень літаків $m_{cd}$ і $m_{cl}$ , кН· м/м	39,80 ( $m_{cd}$ - $m_{cl}$ )	27,31 ( $m_{c2}$ )	24,10 ( $m_{c3}$ )
Відношення $m_{cl}/m_{cd}$	1,0	0,69	0,61
Еквівалентне число прикладань навантаження від опори $i$ -го типу літака, приведене до прикладання навантаження від опори розрахункового типу літака	$2,4 \cdot 10^5$	20	10
Розрахункове число прикладань навантаження $U_d$	$2,4 \cdot 10^5$		

13. Перевіряємо міцність покриття:

$$m_d = 44,60 \text{ кН} \cdot \text{м/м} < m_u = 45,98 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ (на 3,1 \%)}.$$

Прийнята конструкція покриття відповідає умовам міцності.

14. Згідно з нормами [1, п.п. 5.27 і 5.28] відстань між поздовжніми технологічними швами стискання приймаємо 7,5 м (при ширині ТЗПС аеродрому класу В, що дорівнює 45 м, передбачаємо застосування бетоноукладальних машин із шириною захвату 7,5 м). Ці шви слід влаштовувати шпунтовими [2, рис. 15.4, шов за типом II].

З урахуванням річної амплітуди середньодобових температур  $43^\circ \text{C}$  відстань між поперечними швами стискання приймаємо 15 м згідно з нормами [1, п. 5.28]. Конструкція швів – несправжні шви стискання зі штирями [2, рис 15.4, шов за типом II “б”]. Приймаємо

штирі діаметром 22 мм завдовжки 50 см з кроком установки 35 см [2, табл. 15.5].

Таким чином, плити в плані мають розміри 7,5 x 15 м.

15. Відповідно до норм [1, п.п. 5.7 і 5.8] призначаємо армування плит. З урахуванням товщини плити  $t = 28$  см приймаємо поздовжню арматуру діаметром 12 мм класу А-II (площа перетину одного стрижня  $A_{st} = 1,13 \text{ см}^2$ ) з кроком  $s_s = 35$  см. Перевіряємо відсоток поздовжнього армування плит:

$$\mu_s = \frac{A_{st}}{b_s t} \cdot 100 = \frac{1,13}{35,0 \cdot 28,0} \cdot 100 = 0,115\%.$$

Одержане значення знаходиться у межах 0,10 – 0,15 %, тому прийняте армування в поздовжньому напрямку задовольняє нормативні вимоги. Поперечну арматуру приймаємо такого самого діаметра і класу як і поздовжню з кроком 40 см.

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

Вихідні дані

Клас аеродрому – А. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: Іл-62М, В737-200, Ту-134А. Розрахункові характеристики літаків (дод. 3):

Літак Іл-62М:  $F_n = 774,6 \text{ кН}$ ,  $n_k = 4$ ;  $a_T = 0,8 \text{ м}$ ;  $v_T = 1,65 \text{ м}$ ;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 1,08 \text{ МПа}$ .

Літак В737-200:  $F_n = 234,9 \text{ кН}$ ;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0,78 \text{ м}$ ;  $v_T = 0 \text{ м}$ ;  $n_a = 1$ ;  $p_a = 1,1 \text{ МПа}$ .

Літак Ту-134А:  $F_n = 212,9 \text{ кН}$ ;  $n_k = 4$ ;  $a_T = 0,56 \text{ м}$ ;  $v_T = 0,89 \text{ м}$ ;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 0,834 \text{ МПа}$ .

Середньорічна кількість зльотів літаків за типами: для Іл-62М  $N_1 = 1500 \text{ зл/р}$ ; для В737-200  $N_2 = 5000 \text{ зл/р}$ ; для Ту-134А  $N_3 = 8000 \text{ зл/р}$ .

Дорожньо-кліматична зона IV, на північ від  $50^\circ$  північної широти. Тип гідрогеологічних умов – 1. Грунт природної основи покриття – глина природного залягання ( $e = 0,56$ ).

Місцеві будівельні матеріали – грубозернистий пісок.

## Розрахунок

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

1. За аналогією з п. 1 прикладу 1 для літака Іл-62М, який має найбільше нормативне навантаження на основну опору  $F_n = 774,6$  кН, знаходимо:

$$F_d = \frac{774,6}{4} \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 242,1 \text{ кН};$$

$$R_e = \sqrt{\frac{242,1 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,08 \cdot 10^6}} = 0,27 \text{ м}.$$

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. 5) з суміщеними швами (див. табл. 1 прим. 2) у верхньому і нижньому шарах. Передбачаємо використання для верхнього шару покриття бетону проектних класів  $B_{btb4,0}$  і В30 (з розрахунковими характеристиками  $R_{btb1} = 3,43$  МПа,  $E_{bt1} = 3,24 \cdot 10^4$  МПа), для нижнього шару –  $B_{btb2,8}$  і В20 ( $R_{btb2} = 2,26$  МПа,  $E_{bt2} = 2,60 \cdot 10^4$  МПа). Штучну основу з грубозернистого піску приймаємо завтовшки 15 см (мінімальна товщина штучної основи з матеріалу, не обробленого в'язучем, допустима при першому типі гідрогеологічних умов незалежно від виду ґрунту природної основи).

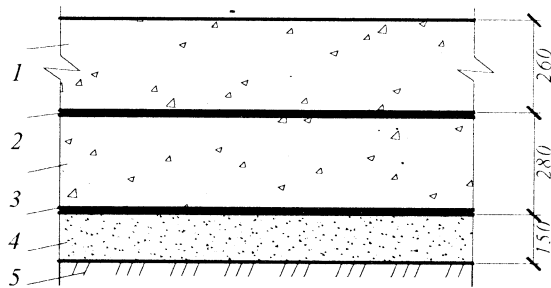


Рис. 5. Конструкція двошарового бетонного покриття:  
1 – бетон проектних класів  $B_{btb4,0}$  і В30; 2 – один шар пергаменту; 3 – бетон проектних класів  $B_{btb2,8}$  і В20; 4 – два шари пергаменту; 5 – грубозернистий пісок; 6 – глина

3. Згідно з нормами [1, п. 4.4] визначаємо глибину стискуваної товщі ґрунтової основи.  $H_c = 6$  м. В межах цієї товщі ґрунтова основа складена з глини, для якої з урахуванням вказівок [1, п. 4 примітка дод. 4] знаходимо розрахункове значення  $K_s$ :

$$K_s = 80 \cdot 1,2 = 96 \text{ МН/м}^2.$$

4. За аналогією з викладеним у п. 5 прикладу 1 знаходимо  $a_3$  і  $K_{sc}$ :

$$a_3 = \frac{0,5(1,6 \cdot 3,6 - 0,15)^2}{0,15(1,6 \cdot 3,6 - 0,5 \cdot 0,15)} = 18,45;$$

$$K_{sc} = \frac{130 + 96 \cdot 18,45}{1 + 18,45} = 97,7 \text{ МН/м}^3.$$

5. Визначаємо жорсткості плит верхнього і нижнього шарів покриття:

$$B_{sup} = 0,085 \cdot 3,24 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,36^3 = 4,84 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{м} = 4,84 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м};$$

$$B_{inf} = 0,085 \cdot 2,60 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,28^3 = 4,85 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{м} = 4,85 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м}.$$

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:

$$\frac{B_{inf}}{B_{sup}} = \frac{4,85 \cdot 10^4}{4,84 \cdot 10^4} \approx 1 < 2 \text{ (умова виконана)}.$$

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

$$B = B_{sup} + B_{inf} = 4,84 \cdot 10^4 + 4,85 \cdot 10^4 = 9,69 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2/\text{м}.$$

7. Пружна характеристика плити умовного одношарового покриття

$$l = \sqrt[3]{\frac{9,69 \cdot 10^7}{97,7 \cdot 10^6}} = 1,00 \text{ м}.$$

8. Враховуючи геометричні характеристики основної опори літака Іл-62М (рис. 6) обчислюємо значення  $a, f(a), \xi_i, \eta_i, \bar{m}_{x_i}$  і (табл. 8).

Таблиця 8

Проміжні результати розрахунку покриття

Колесо	$a = \frac{R_c}{l}$	$f(a)$	$\xi_i = \frac{y_i}{l}$	$\eta_i = \frac{x_i}{l}$		
Перше	0,27	0,1797	-	-	-	-
Друге	-	-	0,80	0	0,0126	0,0715
Третє	-	-	0,80	1,65	0,0101	-0,0136
Четверте	-	-	0	1,65	0,0224	-0,0196

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

$$m_{c, \max}(x) = 242,1 \cdot 0,1797 + 0,0126 \cdot 242,1 + 0,0101 \cdot 242,1 + 0,0224 \cdot 242,1 = 54,42 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$m_{c, \max}(y) = 242,1 \cdot 0,1797 + 0,0715 \cdot 242,1 = 60,82 \text{ кН} \cdot \text{м/м}.$$

Відповідно до [1, п. 5.52] при визначенні  $m_{c, \max}(y)$  сума моментів  $m_{y,3}$  і  $m_{y,4}$  від дії третього і четвертого колеса не враховувалася, оскільки мала від'ємне значення (див. п. 7 прикладу 1).

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

$$m_{c, \max} = m_{c, \max}(y) = 60,82 \text{ кН} \cdot \text{м/м}.$$

Аналогічно визначаємо

$$m_{c, \max} = 40,59 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ і } m_{c, \max} = 23,36$$

кНм/м відповідно для літаків В737-200 і Ту-134А. Переконуємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося, є літак Іл-62М, оскільки він дає найбільше значення

$$m_{c, \max}(60,82 > 40,59 > 23,36 \text{ кН} \cdot \text{м/м}).$$

Рис. 6. Розрахункова схема основної опори літака Іл-62М

11. За формулами [1, формула 21 і 22] визначаємо розрахункові згинальні моменти в плитах верхнього і нижнього шарів двошарового покриття із суміщеними швами (при  $m_{c, \max} = 60,82 \text{ кНм/м}$ ):

$$m_{d, \sup} = \frac{k' m_{c, \max}}{1 + \frac{B_{\inf}}{B_{\sup}}} = \frac{1,2 \cdot 60,82}{1 + \frac{4,85 \cdot 10^{-4}}{4,84 \cdot 10^{-4}}} = 36,45 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$m_{d, \inf} = k' m_{c, \max} - m_{d, \sup} = 1,2 \cdot 60,82 - 36,45 = 36,53 \text{ кН} \cdot \text{м/м},$$

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. 5.58] обчислюємо значення граничних згинальних моментів для плит верхнього і нижнього шарів покриття:

$$m_{u, \sup} = \gamma_c R_{hb1} \frac{t_1^2}{6} k_u = 0,8 \cdot 3,43 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,26^2}{6} \cdot 1,23 = 38,03 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$m_{u, \inf} = \gamma_c R_{hb2} \frac{t_2^2}{6} k_u k_m = 0,8 \cdot 2,26 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,28^2}{6} \cdot 1,23 \cdot 1,27 = 36,90 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

де  $k_m = 1,27$  – поправковий коефіцієнт визначається за даними [1, графік 6 дод. 10] залежно від товщини плити верхнього шару  $t_1 = 0,26 \text{ м}$ ;  $k_u = 1,23$  – визначається за методикою, викладеною у прикладі 1, результати обчислень наведені в табл. 9.

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

$$m_{d, \sup} = 36,45 \text{ кН} \cdot \text{м/м} < m_{u, \sup} = 38,03 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ (на 4,3 \%)};$$

$$m_{d, \inf} = 36,53 \text{ кН} \cdot \text{м/м} < m_{u, \inf} = 36,90 \text{ кН} \cdot \text{м/м} \text{ (на 1,0 \%)}.$$

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 60 м, передбачаємо застосування бетоноукладальних машин з шириною захвату 7,5 м). За умовами розрахунку покриття у верхньому

Таблиця 9

Обчислення розрахункового числа прикладань навантаження літака ІІ-62М

Розрахункові величини	Тип літака	
	ІІ-62М	Ту-204
Число прикладань навантаження від опори літака за проектний строк служби покриття (20 років)	$0,6 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$
Центральні моменти від навантажень літаків $m_{cl}$ і $m_{cl}$ , кН·м/м	60,82 ( $m_{cl}$ , $m_{cl}$ )	40,59 ( $m_{cl}$ , $m_{cl}$ )
Відношення $m_{cl}/m_{cl}$	1,0	0,67
Еквівалентне число прикладань навантаження від опори $l$ -го типу літака, приведене до прикладання навантаження від опори розрахункового типу літака	$0,6 \cdot 10^5$	60
Розрахункове число прикладань навантаження $U_d$	$\approx 0,6 \cdot 10^5$	

шарі між плитами мають бути влаштовані стикові з'єднання, тому зазначені шви слід виконувати шпунтовими [2, рис. 15.4, шов за типом III]. Оскільки товщина верхнього шару  $t_1 = 26$  см  $< 30$  см, згідно з вимогами [1, п. 5.28] між технологічними швами посередні потрібно влаштовувати 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 приймаємо 5 м (з урахуванням того, що  $t_1 = 26$  см  $< 30$  см [1, п. 5.28]). Ці шви повинні відповідати розглянутим вище швам типу I "б".

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] доважину плит нижнього шару призначаємо 10 м. Поперечні шви несправжні стискання без штирів.

Таким чином, плити верхнього шару в плані будуть мати розміри 3,75 x 5 м, нижнього шару – 7,5 x 10 м.

#### Приклад 4. Розрахунок асфальтобетонного покриття

Вихідні дані

Клас аеродрому – В. Типи літаків, які будуть експлуатуватися на аеродромі: В757-200, Ту-204, Ан-72. Розрахункові характеристики літаків (дод. 3):

Літак В757-200:  $F_n = 484,7$  кН,  $n_k = 4$ ;  $a_T = 0,86$  м;  $e_T = 1,14$  м;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 1,17$  МПа.

Літак Ту-204:  $F_n = 421,0$  кН;  $n_k = 4$ ;  $a_T = 0,782$  м;  $e_T = 1,4$  м;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 1,372$  МПа.

Літак Ан-72:  $F_n = 140,8$  кН;  $n_k = 2$ ;  $a_T = 0$  м;  $e_T = 1,3$  м;  $n_a = 2$ ;  $p_a = 0,65$  МПа.

Середньорічна кількість зльотів літаків за типами: для В757-200  $N_1 = 3000$  зл/р; для Ту-204  $N_2 = 5500$  зл/р; для Ан-72  $N_3 = 7000$  зл/р.

Дорожньо-кліматична зона III, на північ від 50° північної широти. Тип гідрологічних умов – 2. Грунт природної основи покриття – суглинок природного залягання ( $e = 0,52$ ).

Місцеві будівельні матеріали – щебінь з природного каменю з граничною міцністю при стисканні 80 МПа; гравелістий пісок.

Розрахунок

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-72 не повинен враховуватися, оскільки навантаження на його основну опору  $F_{n3} = 140,8$  кН менше половини найбільшого навантаження  $F_{n1} = 484,7$  кН від літака В757-200 ( $F_{n3}/F_{n1} = 140,8/484,7 = 0,29 < 0,5$ ). При розрахунку потрібно враховувати навантаження від літаків В757-200 і Ту-204 (для літака Ту-204  $F_{n2}/F_{n1} = 421,0/484,7 = 0,87 > 0,5$ ).

2. Згідно з нормами [1, п. 5.6, 5.34-5.36] призначаємо конструкцію покриття (рис. 7). З норм [1, табл. 2, 5 і 6 дод. 9] приймаємо розрахункові характеристики матеріалів: щільного асфальтобетону із сумішей марок I і II відповідно  $E_{ab1} = 12 \cdot 10^2$  МПа і  $E_{ab2} = 10 \cdot 10^2$  МПа (при розрахунковій температурі асфальтобетону плюс  $15^\circ\text{C}$  у III дорожньо-кліматичній зоні); щебеню з природного каменю з граничною 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.  $E_4 = 3,5 \cdot 10^2$  МПа; гравелистого піску  $E_5 = 1,5 \cdot 10^2$  МПа. Модуль пружності суглинку в ґрунтовій основі приймаємо за даними норм [1, дод. 4 і п. 5.60]  $E = 28$  МПа.

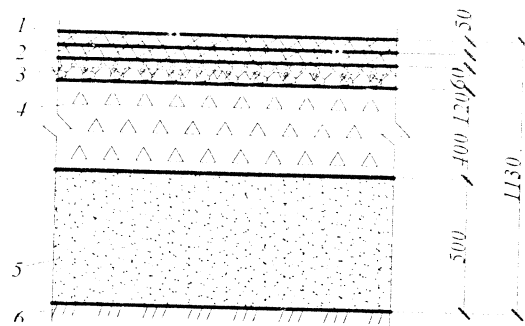


Рис. 7. Конструкція асфальтобетонного покриття:

- 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

$$t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,05 + 0,06 + 0,12 + 0,40 + 0,50 = 1,13 \text{ м.}$$

Згідно з норм [1, п. 5.64] обчислюємо значення одноколісного еквівалентного навантаження  $F_e$  для літака В757-200, 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

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} k_d \gamma_f = \frac{484,7}{4} \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 133,3 \text{ кН,}$$

де  $k_d$  і  $\gamma_f$  приймаємо з норм [1, табл. 30].

Мінімальну відстань між найближчими колесами основної опори (у проміжку)  $a$  визначаємо з урахуванням геометричних характеристик опори (рис. 8), взятих з норм [1, креслення 10 дод. 10]:

$$a = a_T - 2 \sqrt{\frac{F_d}{1,4\pi\rho_a}} = 0,86 - 2 \sqrt{\frac{133,3 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 3,14 \cdot 1,7 \cdot 10^6}} = 0,54 \text{ м.}$$

Максимальна відстань між колесами основної опори (між центрами їхніх відбитків, рис. 8):

$$a_d = \sqrt{a_T^2 + b_T^2} = \sqrt{0,86^2 + 1,14^2} = 1,43 \text{ м.}$$

За умови виконання

$$t_{tot} = 1,13 \text{ м} \quad a/2 = 0,54/2 = 0,27 \text{ м і}$$

$$t_{tot} = 1,13 \text{ м} < 2a_d = 2 \cdot 1,43 = 2,86 \text{ м}$$

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

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

яка рівнозначна  $F_e = 10^c$ ,

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

Для літака В757-200

$$c = \frac{\lg 4}{\lg \frac{4 \cdot 1,43}{0,54}} \cdot \lg \frac{2 \cdot 1,13}{0,54} + \lg 133,3 = 2,49.$$

Тоді  $F_e = 10^{2,49} = 309,0$  кН.

4. Аналогічно (як це було зроблено для літака В757-200) визначаємо  $F_e = 263,0$  кН для літака Ту-204. Переконаємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття, як і передбачалося.

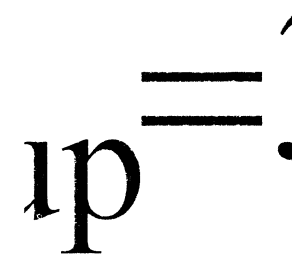


Рис. 8. Розрахункова схема основної опори літака В757-200

є літак В757-200, оскільки він має більше одноколісне еквівалентне навантаження  $F_e$  ( $309,0 \text{ кН} > 263,0 \text{ кН}$ ).

**Примітка.** В пояснювальній записці до виконання курсового проекту обчислення значень  $F_e$  для всіх літаків, які враховуються, потрібно описувати повністю (як це показано вище для літака В757-200).

Перевірка прогину покриття\*

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

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{F_e}{\pi p_a}} = 2 \sqrt{\frac{309,0 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,17 \cdot 10^6}} = 0,58 \text{ м.}$$

6. Середній модуль пружності багатощарової конструкції покриття, включаючи штучну основу,

$$E_{mt} = \frac{E_{ab1}t_1 + E_{ab2}t_2 + E_3t_3 + E_4t_4 + E_5t_5}{t_{tot}} =$$

$$= \frac{12 \cdot 10^2 \cdot 0,05 + 10 \cdot 10^2 \cdot 0,06 + 7 \cdot 10^2 \cdot 0,12 + 3,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 10^2 \cdot 0,5}{1,13} =$$

$$= 3,71 \cdot 10^2 \text{ МПа.}$$

7. Обчисливши відношення

$$\frac{E}{E_{mt}} = \frac{28}{3,71 \cdot 10^2} = 0,075 \quad \text{і} \quad \frac{t_{tot}}{D_e} = \frac{1,13}{0,58} = 1,95,$$

з номограми [1, креслення 7 дод. 10] визначаємо коефіцієнт  $\psi_k = 0,46$ .

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

$$E_{ed} = E_{mt} \psi_k = 3,71 \cdot 10^2 \cdot 0,46 = 1,71 \cdot 10^2 \text{ МПа.}$$

\* В описі розрахунків полегшених покриттів (в курсовому проекті – це щебеневі покриття, оброблені бітумом).

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

$$\lambda_d = 0,9 \frac{p_a}{E_{ed}} = 0,9 \frac{1,17}{1,71 \cdot 10^2} = 0,0062.$$

9. Використовуючи дані про інтенсивність руху літаків В757-200 і Ту-204 (які включені у розрахунок), згідно з нормами [1, п. 5.65] знаходимо приведену повторюваність прикладань  $N_r$  розрахункового навантаження. Значення  $N_r$  визначається за формулою [1, формула 29]:

$$N_r = \sum_{i=1}^{n_j} N_{i(ооб)} n_{ai} k_{ni} = 8,2 \cdot 1 \cdot 1,0 + 15,1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 15,8 \approx 16 \text{ зл/добу.}$$

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 літака (В757-200).

Таблиця 10

Обчислення приведеної повторюваності прикладань розрахункового навантаження літака В757-200

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]	$N_{i(ооб)} = \frac{N_{i(пик)}}{365}$ , зл/добу	$n_{ai}$
В757-200	1,17	0,58	1,0	1,0	1,0	8,2	1
Ту-204	1,372	0,49	0,84	1,17	0,5	15,1	1

10. Граничний відносний прогин покриття  $\lambda_u$  приймаємо з [1, графік "а" креслення 8 дод. 10] для суглинку, враховуючи тиск повітря в пневматиках коліс розрахункового типу літака  $p_a = 1,17 \text{ МПа}$  і приведену повторюваність прикладання навантаження  $N_r = 16 \text{ зл/добу}$ :

$$\lambda_u = 6,4 \cdot 10^{-3}.$$

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

$$\lambda_d = 0,0062 < \gamma_c \lambda_u = 1,0 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} = 0,0064 \text{ (на 3,2\%)},$$

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.

**Примітка.** В розрахунках нежорстких покриттів розбіжність між числовими значеннями  $\lambda_d$  і  $\lambda_u$  може допускатися у межах 5 % (розбіжність обчислюється відносно значення  $\lambda_u$ ).

Перевірка міцності асфальтобетонних шарів покриття на розтяг при згинанні\*

12. Згідно з нормами [1, п. 5.64] при  $t_{ab} = t_1 + t_2 = 0,05 + 0,06 = 0,11$  м знаходимо одноколісне еквівалентне навантаження від розрахункового літака В757-200, на яке повинен виконуватися зазначений розрахунок міцності асфальтобетонних шарів. Для цього перевіряємо умову

$$t_{ab} = 0,11 \text{ м} < \frac{a}{2} = \frac{0,54}{2} = 0,27 \text{ м}.$$

Результат перевірки показує, що шукане значення одноколісного еквівалентного навантаження потрібно визначити як

$$F_c = F_d = 133,3 \text{ кН}.$$

13. Аналогічно визначаємо  $F_c = 115,8$  кН для літака Ту-204. Переконуємося, що розрахунковим типом літака для даного покриття при перевірці міцності асфальтобетонних шарів на розтяг при згинанні є літак В757-200, оскільки він має більше розрахункове навантаження  $F_c$  (133,3 кН > 115,8 кН).

14. Для знайденого значення  $F_c = 133,3$  кН за формулою [1, формула 28] визначаємо

$$D_{c1} = 2 \sqrt{\frac{F_c}{\pi p_a}} = 2 \sqrt{\frac{133,3 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,17 \cdot 10^6}} = 0,38 \text{ м}.$$

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

\* Ця перевірка виконується лише для асфальтобетонних покриттів.

$$E_{ab} = \frac{E_{ab1} t_1 + E_{ab2} t_2}{t_{ab}} =$$

$$= \frac{12 \cdot 10^2 \cdot 0,05 + 10 \cdot 10^2 \cdot 0,06}{0,11} = 10,91 \cdot 10^2 \text{ МПа}.$$

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

$$E_m = \frac{E_3 t_3 + E_4 t_4 + E_5 t_5}{t_3 + t_4 + t_5} =$$

$$= \frac{7 \cdot 10^2 \cdot 0,12 + 3,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 10^2 \cdot 0,5}{0,12 + 0,4 + 0,5} = 2,93 \cdot 10^2 \text{ МПа}.$$

17. Обчисливши відношення

$$\frac{E}{E_m} = \frac{28}{2,93 \cdot 10^2} = 0,096 \quad \text{і} \quad \frac{t_{tot}}{D_c} = \frac{1,13}{0,58} = 1,95,$$

з номограми [1, креслення 7 дод. 10] знаходимо  $\psi_k = 0,5$ . Після цього визначаємо еквівалентний модуль пружності шарів покриття під асфальтобетоном з ґрунтовою основою включно

$$E_c = E_m \psi_k = 2,93 \cdot 10^2 \cdot 0,5 = 1,47 \cdot 10^2 \text{ МПа}.$$

18. Обчисливши відношення

$$\frac{E_{ab}}{E_c} = \frac{10,91 \cdot 10^2}{1,47 \cdot 10^2} = 7,42 \quad \text{і} \quad \frac{t_{ab}}{D_{c1}} = \frac{0,11}{0,38} = 0,29,$$

з номограми [1, креслення 9 дод. 10] знаходимо питому напругу розтягу при згинанні в нижньому шарі асфальтобетону

$\bar{\sigma}_r = 1,74$ , яка відповідає значенню  $p_a$ .

19. Найбільша напруга розтягу при згинанні в нижньому шарі асфальтобетону

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p_a = 1,74 \cdot 1,17 = 2,04 \text{ МПа}.$$

20. Виконавши необхідні проміжні обчислення (табл. 11), за формулою [1, формула 29] знаходимо приведену повторювальність

прикладання  $N_r$  розрахункового навантаження, яка враховується при перевірці міцності асфальтобетонних шарів.

$$N_r = \sum_{i=1}^n N_{i(об)} n_{ai} k_{ni} = 8,2 \cdot 2 \cdot 1,0 + 15,1 \cdot 2 \cdot 0,7 = 37,5 \approx 38 \text{ зл/добу.}$$

Таблиця 11

Обчислення приведеної повторювальності прикладань розрахункового навантаження літака В757-200

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]	$N_{i(об)} = \frac{N_{i(ржк)}}{365}$ , зл/добу	$n_{ai}$
В757-200	1,17	0,38	1,0	1,0	1,0	8,2	2
Ty-204	1,372	0,33	0,87	1,17	0,7	15,1	2

В табл. 11 значення  $D_{ei}$  і  $D_{ed}$  повинні відповідати тим, що визначаються за методикою обчислення значення  $D_{ei}$  в п. 14 розрахунку.

21. За даними [1, табл. 2 дод. 9] при значенні  $N_r = 38 < 50$  зл/добу і розрахунковій температурі асфальтобетону плюс  $15^\circ\text{C}$  (в III дорожньо-кліматичній зоні) приймаємо розрахунковий опір щільного асфальтобетону із суміші марки II в нижньому шарі на розтяг при згинанні  $R_d = 2,1$  МПа.

22. Перевіряємо умову [1, формула 27]

$$\sigma_r = 2,04 \text{ МПа} < \gamma_c R_d = 1,0 \cdot 2,1 = 2,10 \text{ МПа (на 2,9 \%)}.$$

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

**Примітка.** При перевірці міцності асфальтобетонних шарів покриття на розтяг при згинанні вимагається виконання умови [1, формула 27]  $\sigma_r \leq \gamma_c R_d$ . Якщо за результатами розрахунку реалізується умова  $\sigma_r < \gamma_c R_d$ , числове значення  $\sigma_r$  повинно якнайменше відрізнятися від значення  $\gamma_c R_d$  (хоча розбіжність зазначених величин може бути і більшою, ніж 5%).

Зразок оформлення титульного аркуша пояснювальної записки до курсового проєкту

Напис, який робиться у верхній частині титульного аркуша:

Національний авіаційний університет

Напис, який робиться у середній частині титульного аркуша:

Пояснювальна записка  
до виконання курсового проєкту  
"Розрахунок та конструювання  
аеродромних покриттів"

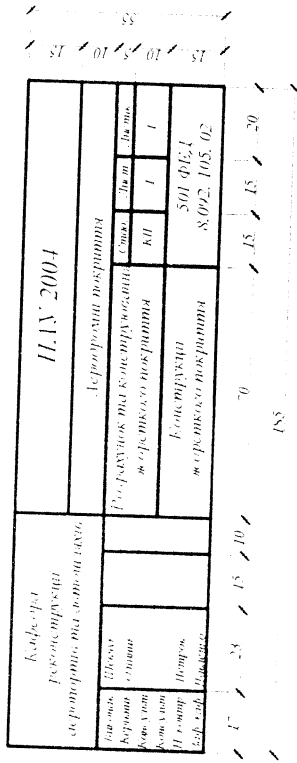
Виконав: студент групи 402 П.В. Шевчук

Керівник: доц. О.М. Олійник

Напис внизу титульного аркуша:

Київ 2005

Зразок основного напіву креслення курсового проекту



Технічні характеристики лігтаків

Тип літака	Максимальна злітна маса, т	Порятки-підвішання на основній опорі, шт	Число коліс на основній опорі, шт	Відстань між центрами відвіток коліс, м	Число осей на основній опорі, шт	Висота підвішки, м	Висота підвішки, м
Ан-225 "Мрія"	600,0	2766,4	14	1,01	7	1,71	1,15
Ан-124-100	398,0	1835,1	10	1,01	5	1,71	1,1
Ан-22	225,0	1013,1	6	1,25	3	2,5	0,5
Ан-70т	112,0	499,0	6	0,73	3	2,5	0,75
Ан-12	61,0	277,4	4	0,49	2	1,23	0,75
Ан-74	34,8	157,0	2		2	1,3	0,65
Ан-72	31,2	140,8	2		2	1,3	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		1		0,45
Ан-28	6,5	26,9	1		1		0,5
Ан-2	5,25	22,1	1		1		0,3
ІІ-96	231,0	718,4	4	1,1	2	1,49	1,08
ІІ-86	216,4	662,3	4	1,25	2	1,49	0,93
ІІ-76ГД	191,0	440,3	4	0,64	1		0,96
				0,82			
				0,64			

## Закінчення дод. 3

Тип літака	Максимальна злітна маса, т	Нормативне навантаження на основну опору літака $F_n$ , кН	Число коліс на основній опорі $n_k$	Відстань між центрами відбитків коліс основної опори, м		Число осей на основній опорі $n_a$	Внутрішній тиск повітря в пневматиках основної опори $p_a$ , МПа
				у поперечному напрямку $a_T$	у поздовжньому напрямку $b_T$		
Лі-62М	168,0	774,6	4	0,8	1,65	2	1,08
Лі-114	22,75	106,0	2	0,6		1	0,588
Ту-154Б	98,0	433,6	6	0,62	1,03	3	0,932
					0,98		
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-Б4	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
ДС-10-40	253,1	936,1	4	1,37	1,63	2	1,17
ДС-10-10	196,4	908,5	4	1,37	1,63	2	1,28
ДС-8-63	162,4	758,3	4	0,81	1,4	2	1,3
ДС-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
Грайдепт 3	68,3	305,1	4	0,3	-	1	1,14
				0,65			
				0,3			
F28.Мк2000НТР	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, Лі-62М, В747-200С, В747-200F, ДС-10-10, ДС-10-40, L-1011-500; категорія I – Лі-96, А300-Б4, В767-300, В707-320С, ДС-8-63; категорія II – Ан-22, Лі-86, Лі-76Т, Лі-76ТД, Ту-204, Ту-154Б, В727-200, В757-200, ДС-9-82; категорія III – Ан-70т, В737-200, Грейдепт-3; категорія IV – Ан-12, Ан-72, Ан-74, Ан-32, Ту-134А, Як-42, F28.Мк2000НТР; категорія V – Ан-140, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Лі-114, Як-40, F27.Мк500; категорія VI – Ан-38, Ан-28, Ан-2.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СНиП 2.05.08-85. Аеродроми. – М.: ЦИТП Госстроя ССРСР, 1985. – 59 с.
2. БЛОХИН В.И., БЕЛИНСКИЙ И.А., ЦИПРИАНОВИЧ И.В., БИЛЕУШ А.И. Аеродроми гражданской авиации (вертикальная планировка, водоотвод и дренаж, аеродромные покрытия). Учебник для вузов. – М.: Воздуш. трансп., 1996. – 400 с.

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ .....	3
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ .....	8
Розрахунок та конструювання аеродромних покриттів .....	8
Вимоги до оформлення матеріалів курсowego проекту .....	14
Контроль виконання курсowego проекту та його захист .....	15
ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ .....	15
Приклад 1. Розрахунок одношарового бетонного покриття на піщаній штучній основі .....	15
Приклад 2. Розрахунок одношарового армобетонного покриття на ґрунтоцементній штучній основі .....	22
Приклад 3. Розрахунок двошарового бетонного покриття на піщаній штучній основі .....	27
Приклад 4. Розрахунок асфальтобетонного покриття .....	33
Додаток 1 .....	41
Додаток 2 .....	42
Додаток 3 .....	43
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	45

Навчально-методичне видання

## РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Методичні рекомендації  
до курсowego проектування  
для студентів спеціальності  
8.092105 “Автомобільні дороги та аеродроми”

Укладачі: БЄЛІНСЬКИЙ Ігор Олександрович  
ПЛІШ Ігор Михайлович  
БІЛЕУШ Анатолій Іванович

Технічний редактор *А.І. Лавринович*  
Коректор *Л.М. Романова*

Підп. до друку 30.01.06. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Офс. друк. Ум. фарбовідб. 13. Ум. друк. арк. 2,79. Обл.-вид. арк. 3,0.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 20-1. Вид №56/ IV.

Видавництво НАУ  
03680. Київ-680, проспект Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002