

УДК 656.71-046.32 (045)

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.34.2>

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ СПРОМОЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

**Дубик Олександр Миколайович¹, Чемакіна Октябрина Володимирівна²,
Чернишова Оксана Сергіївна³, Осовський Іван Миколайович⁴,
Кудрявець Євген Сергійович⁵**

¹ кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,

Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
Київ, Україна,

e-mail: oleksandr.dubyk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0001-8082-7603

² кандидат архітектури, доцент, заступник декана з наукової роботи факультету наземних споруд і аеродромів,

Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
Київ, Україна,

e-mail: oktiabrjna.chemakina@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0003-2934-2752

³ кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
Київ, Україна,

e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

⁴ аспірант кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
Київ, Україна,

e-mail: 5177530@stud.nau.edu.ua, orcid: 0009-0003-8294-6990

⁵ студент факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
Київ, Україна,

e-mail: 1132@stud.nau.edu.ua, orcid: 0009-0003-5313-1178

Анотація. У статті наведено методику та результати визначення несучої спроможності конструкцій жорстких аеродромних покриттів за методом ACR-PCR за допомогою програмного комплексу FAARFIELD 2.1.1. Проведено чисельні експерименти з визначення несучої спроможності аеродромних покриттів жорсткого типу з використанням методу ACR-PCR.

Мета роботи полягає у розробці рекомендацій щодо розрахунку, конструювання та визначення несучої спроможності конструкцій аеродромних покриттів з використанням методу ACR-PCR.

Методологія. Методи дослідження: аналіз літературних джерел, статистичних і експериментальних даних стосовно найбільш поширених повітряних суден, які експлуатуються на аеродромах України, а також реального розкладу пасажирських повітряних суден аеропортів України в довоєнний період.

Результати. Виконано розрахунок конструкції аеродромного покриття на дію навантажень від найбільш поширених повітряних суден, які експлуатуються на аеродромах України. Проведено чисельні експерименти щодо визначення несучої спроможності аеродромних покриттів з використанням методу ACR-PCR та розроблено моделі руйнування аеродромного покриття. Розраховано показники

залишкового ресурсу покриття CDF повітряних суден: загальний індекс CDF і частка кожного повітряного судна у формуванні максимального значення CDF.

Наукова новизна. У статті розроблена модель руйнування аеродромного покриття, запропоновано комплексний підхід при оцінці несучої спроможності аеродромних покриттів, що дозволяє підбирати конструкції покриттів з урахуванням найкритичніших за впливом повітряних суден та заданого терміну експлуатації. Отримані результати корисні для планування розвитку аеропортів України, повоєнного відновлення інфраструктури.

Практична значущість. Результати роботи можуть застосовуватися для оцінки несучої спроможності аеродромних покриттів, раціональному підборі конструкцій покриттів під час планування капітального ремонту та реконструкції злітно-посадкових смуг аеродромів.

Ключові слова: мережа аеродромів, аеродромні покриття, несуча здатність, метод ACR-PCR, CDF (комплексний показник залишкового ресурсу конструкції покриття).

ВСТУП

Роль і місце аеродромної мережі України визначається здатністю базуватись на ній авіації, щоб забезпечити обороноздатність та безпеку нашої держави як у воєнний, так і в повоєнний час.

Розвинута аеродромна мережа забезпечує не тільки інтереси національної безпеки України, але й має надзвичайно важливе значення для подальшого розвитку та укріплення економічного та оборонного потенціалу нашої країни.

Сучасна аеродромна мережа аеродромів державної та цивільної авіації включає в себе аеродроми зі штучними злітно-посадковими смугами.

Україна вже майже три роки перебуває в стані повномасштабної війни. За цей час зруйновано значна кількість об'єктів транспортної інфраструктури. На сьогоднішній день відомо про пошкодження та руйнування в 19-ти цивільних аеропортах України. В традиційних умовах експлуатації до основних причин виникнення дефектів та пошкоджень конструкцій аеродромних покриттів можна віднести:

- вплив навантажень від повітряних суден, які обумовлюють виникнення вертикальних та горизонтальних напружень в конструктивних шарах покриття;

- механічний і тепловий вплив газових потоків реактивних двигунів літаків або теплових машин під час видалення льоду з поверхонь;

- дія природних факторів, зокрема температури й вологості повітря, добових і сезонних коливань температури, опадів, промерзання та надмірного зволоження ґрунту;

- експлуатація покриттів із перевищенням допустимих навантажень;

- недостатнє ущільнення основ, використання неякісних матеріалів або низький рівень будівельних робіт;

- недотримання правил експлуатації аеродромних покриттів, а також несвоєчасне чи неякісне виконання ремонтних робіт.

Слід додати, що в Україні до сих пір є чинний нормативний документ [1], якому в 2025 році вже буде 40 років. Підходи та методи розрахунку і конструювання аеродромних покриттів, які наведені в нормативному документі [1], є застарілими та не можуть бути застосовані при визначенні несучої спроможності конструкцій аеродромних покриттів, оскільки за 40 років змінились матеріали та технології, а також розширився парк повітряних суден.

Ситуація, яка склалась в Україні, характеризується не повною відповідністю технічного стану конструкцій аеродромних покриттів вимогам безпеки польотів. Така ситуація зумовлена низькою якістю верхнього шару покриттів аеродромів державної та цивільної авіації, невідповідністю конструктивних параметрів вимогам нормативних документів.

Україна з 28 листопада 2024 року переходить від методу ACN (класифікаційне число повітряного судна) – PCN (класифікаційне число аеродромного покриття) до методу ACR (класифікаційний параметр повітряного судна) – PCR (класифікаційний параметр аеродромного покриття) [12; 14]. Про метод ACR-PCR у вітчизняних нормативних документах навіть не згадується.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначенню несучої спроможності конструкцій аеродромних покриттів присвячені статті та публікації Гамеляка І. П., Родченка О. В.,

Цихановського В. К. та ін. [2–18]. Результати розглянутих наукових досліджень підкреслюють, що визначення несучої спроможності конструкцій аеродромних покриттів має важливе значення для забезпечення їхньої надійності, довговічності та безпеки експлуатації. Несуча спроможність є критичною характеристикою, яка визначає здатність покриття витримувати статичні та динамічні навантаження, що виникають під час руху повітряних суден, а також вплив природних і техногенних факторів. Висока несуча спроможність гарантує, що покриття витримає вагу сучасних літаків без виникнення тріщин, деформацій чи руйнувань, та забезпечуючи безпеку польотів. Правильне визначення несучої спроможності дозволяє оптимізувати конструкцію покриття, зменшуючи витрати на будівництво та обслуговування без втрати надійності. В свою чергу врахування навантажень від повітряних суден, а також кліматичних і сезонних впливів, дозволяє уникнути передчасного зношування та подовжити термін служби покриття. Аеродромні покриття мають відповідати зростанню ваги й розмірів сучасних повітряних суден, що робить важливим постійний контроль і оцінку їх несучої спроможності. Несуча спроможність повинна визначатися відповідно до міжнародних і національних нормативів, що забезпечує уніфікований підхід до проектування та експлуатації покриттів.

МЕТА

Метою даного дослідження є надання рекомендацій щодо розрахунку, конструювання та визначення несучої спроможності конструкцій аеродромних покриттів з використанням методу ACR-PCR. Завданнями дослідження є:

- проведення чисельних експериментів щодо визначення несучої спроможності аеродромних покриттів з використанням методу ACR-PCR;
- розроблення моделі руйнування аеродромного покриття.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення несучої спроможності конструкції аеродромних покриттів виконується за методом ACR-PCR. Оновлена інформація про метод визначення несучої спроможності ACR-PCR для представлення несучої спроможності покриття наведено в [14]. Метод ACR-PCR відповідно до [14] також передбачає представлення наступної інформації про кожне покриття:

- а) тип покриття;

- б) категорія основи;
- в) максимально допустимий тиск в пневматику;
- г) використовуваний метод оцінювання покриття.

В методі ACR-PCR використовуються чотири стандартних значення ґрунтової основи. Категорії ґрунтової основи використовуються як для жорстких, так і нежорстких аеродромних покриттів.

Категорії міцності ґрунтової основи:

- код А – висока міцність; характеризується $E=200$ МПа і включає в себе всі значення E , які дорівнюють чи перевищують $E=150$ МПа, для жорстких і нежорстких аеродромних покриттів;

- код В – середня міцність; характеризується $E=120$ МПа і включає в себе всі значення E , які дорівнюють чи перевищують $E=100$ МПа, але строго менші ніж 150 МПа для жорстких та нежорстких покриттів;

- код С – низька міцність; характеризується $E=80$ МПа і представляє діапазон значень E , який дорівнює чи перевищує 60 МПа, але строго менше ніж 100 МПа, для жорстких і нежорстких покриттів;

- код D – дуже низька міцність; характеризується $E=50$ МПа і представляє собою всі значення E строго менші, ніж 60 МПа, для жорстких і нежорстких покриттів.

ACR повітряного судна чисельно визначається як подвійне приведенне одноколісне навантаження, виражене в сотнях кілограмів. Тиск у пневматиках одного колеса встановлюється в розмірі $1,5$ МПа. Крім того, приведенне одноколісне навантаження є функцією модуля ґрунтової основи [12; 14].

В основу методу ACR-PCR покладена концепція CDF, що являє собою комплексний показник залишкового ресурсу структури покриття. Він виражається у вигляді відношення багаторазового прикладання навантаження до допустимого навантаження до руйнування циклу навантаження:

$$CDF = \frac{\text{прикладененавантаження}}{\text{навантаженнядоруйнування}} \quad (1)$$

Якщо $CDF=1$, то для ґрунтової основи покриття має бути використаний весь його залишковий ресурс.

Якщо $CDF < 1$, ґрунтова основа покриття буде мати деякий ресурс втоми, і значення CDF буде показувати частину використаного ресурсу.

Якщо $CDF > 1$, то це означає, що покриття буде забезпечувати рух, але зруйнується. Проектна товщина заснована на припущенні, що руйнування пройде при $CDF=1$.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

За модель жорсткого аеродромного покриття прийнято двошарову конструкцію, що складається з жорсткого бетонного покриття, укладеного на жорстку основу, загальною товщиною 850 мм. Конструктивна схема наведена на рис. 1, з якого видно, що верхній шар товщиною 400 мм споруджується з високоміцного бетону класу В 40 (Втб 4,8/60), верхній шар товщиною 300 мм влаштовується з «пісного» бетону класу В7,5, а у якості жорсткої основи пропонується застосування цементогрунту М75 товщиною 150 мм.

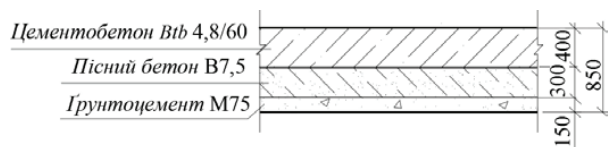


Рис. 1. Проектна конструкція аеродромного покриття

Сучасні аеропорти України здатні приймати повітряні судна коду 4D і нижче відповідно до ICAO: Boeing 737 (-300 / -900), B767 (-200/ -300), B757 (-200/ -300), Ту-204, E190, Ту-154, А320, Ан-70, Ан-124, Ан-148, Іл-62, Ан-140, Іл-76.

Для кожного аеропорту потрібно виконати розрахунок виходячи із 10 000 зльотів/рік або 27,397 зльотів/добу.

Прийнята кількість зльотів на рік розрахункових літаків представлена табл. 1.

Розрахунок конструкції аеродромного покриття жорсткого типу проводиться

на моделі (рис. 1) за допомогою програмного комплексу FAARFIELD 2.1.1, принципи роботи якого викладено в [11; 16–18]. Змодельована конструкція жорсткого аеродромного покриття представлена на рис. 2. В дослідженні виконувався розрахунок запропонованої конструкції покриття жорсткого типу на дію навантажень від літаків. При цьому інформація про інтенсивність руху повітряних суден, вплив від яких розглядався, представлена на рис. 3. Розрахунок виконувався для повітряних суден, які найчастіше експлуатувалися на аеродромах цивільної авіації України.

Слід відмітити, що в нормативному документі [1] відбиток колеса, рівновеликого площі відбитку пневматика коліс, передається у вигляді круга. Але в дійсності відбиток колеса має вигляд еліпса з великою та малою піввіссю [12; 14]. Параметри опор літаків, що експлуатуються на аеродромі, зведені до табл. 2.

Таблиця 1
Повітряні судна для розрахунку впливу навантажень на конструкцію покриття

Тип повітряного судна	Кількість зльотів повітряного судна на рік
B737-800	2920
B737-500	2190
E190	1095
E195	365
Ан-124	730
A320	730
CRJ9	730
B737-300	365
A319	365
A321neo	510

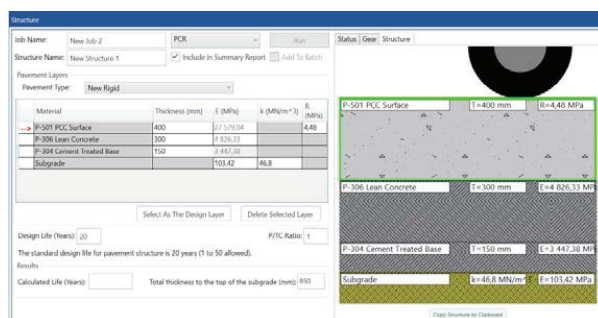


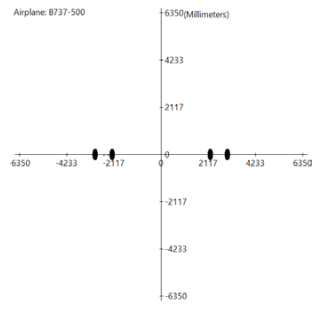
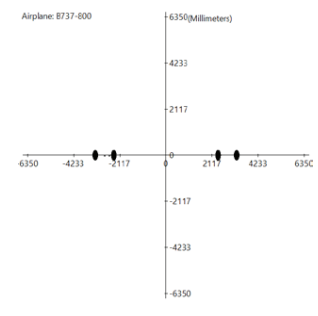
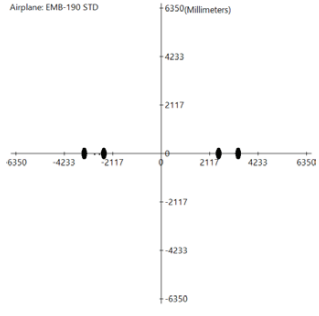
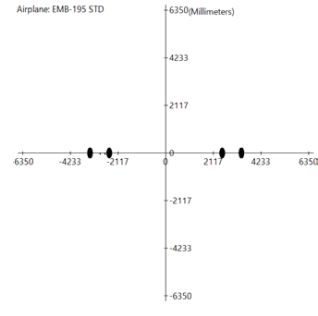
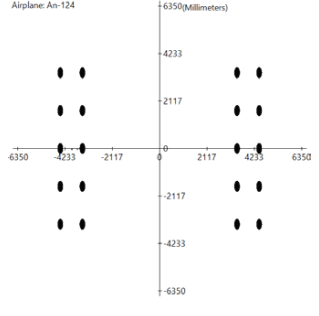
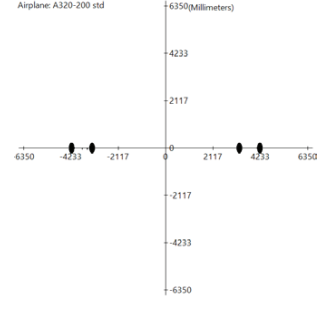
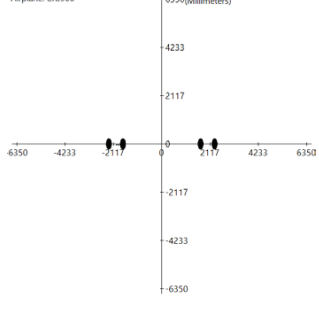
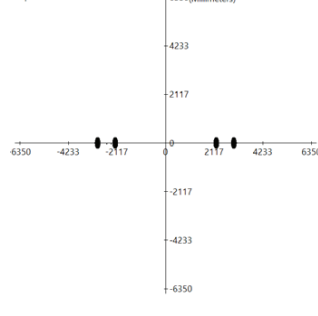
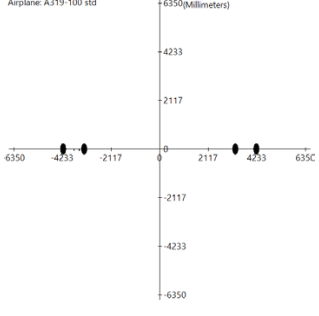
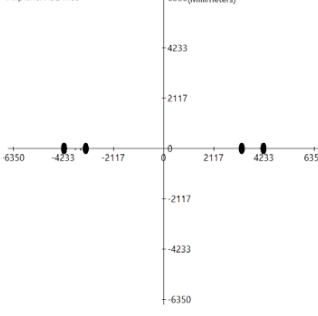
Рис. 2. Змодельована конструкція жорсткого аеродромного покриття

Airplane Name	Gross Tail Weight (kg)	Annual Departures	Total Departures	CDP Contributions	CDP Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GV on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm²)	ACR Thick (mm)	ACR Thick in (B)
B737-500	60 781	2 190	43 800	0	0	0	1337,58	0,95	290	464	105 836	0	0
B737-800	79 242	2 200	58 800	0	0	0	1406,53	0,95	333	517	151 216	0	0
EMB-190 STD	47 550	1 095	21 900	0	0	0	1013,33	0,95	296	474	110 189	0	0
EMB-195 STD	48 950	365	7 300	0	0	0	1061,79	0,95	292	468	107 373	0	0
Ан-124	397 995	730	14 600	0	0	0	1337,58	0,95	332	531	138 669	0	0
A320-200-60d	73 900	730	14 600	0	0	0	1378,95	0,95	315	504	134 821	0	0
CRJ900	38 555	730	14 600	0	0	0	1116,95	0,95	253	405	80 396	0	0
B737-300	63 563	365	7 300	0	0	0	1306,95	0,95	291	466	108 234	0	0
A319-100-60d	64 400	365	7 300	0	0	0	1192,79	0,95	316	506	125 749	0	0
A321neo	97 400	510	10 200	0	0	0	1203,06	0,95	347	534	122 504	0	0

Рис. 3. Інформація про інтенсивність руху повітряних суден, які прийняті до розрахунків моделі аеродромного покриття жорсткого типу

Таблиця 2

Параметри опор літаків

1	2	3	4
Марка літака B737-500	Геометричні характеристики 	Марка літака B737-800	Геометричні характеристики 
EMB-190 STD		EMB-195 STD	
An-124		A320-200 std	
CRJ900		B737-300	
A319-100 std		A321neo	

Результати розрахунків несучої спроможності конструкції аеродромного покриття жорсткого типу представлені на рис. 4.

Як видно з рис. 4 аеробус А321neo є найкритичнішим повітряним судном, тому в табл. 3 наведено максимальні значення АCR для різних кодів ґрунтових основ.

Так, за результатами розрахунку, при заданому терміні експлуатації аеродромного покриття жорсткого типу 20 років, рекомендована товщина верхнього шару покриття із важкого цемент бетону складає 322 мм (див. рис. 4) за умови ґрунтової основи з кодом В.

Таблиця 3

Максимальні значення АCR для різних кодів ґрунтових основ для літака марки А321neo

Код ґрунтової основи	ACR	Код ґрунтової основи	ACR
A	642,7	C	686,1
B	668,4	D	704,2

Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	PDF Contributions	PDF Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GW on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm ²)	ACR Thick (mm) (A)
B737-500	60 781	2 190	0	43 800	0	0	3.87	1337.58	0.922	290	464	105 836	264
B737-800	79 242	2 500	0	58 400	0	0	3.56	1406.53	0.936	323	517	131 218	307
EMB-190 STD	47 950	1 095	0	21 900	0	0	3.85	1013.53	0.95	296	474	110 189	218
EMB-195 STD	48 950	365	0	7 300	0	0	3.9	1061.79	0.95	292	468	107 373	221
Avi-124	397 995	730	0	14 600	0.02	0.02	3.62	1337.58	0.95	332	531	138 603	297
A320-200 std	73 900	730	0	14 600	0	0	3.72	1378.95	0.938	315	504	124 821	292
CRJ900	38 555	730	0	14 600	0	0	4.17	1116.95	0.95	253	405	80 396	208
B737-300	61 503	365	0	7 300	0	0	3.88	1385.85	0.908	291	466	106 724	269
A319-100 std	64 400	365	0	7 300	0	0	3.73	1192.79	0.926	316	506	125 749	259
A321neo	97 400	510	0	10 200	0	0	3.37	1503.06	0.946	347	554	150 924	351

P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GW on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm ²)	ACR Thick (mm) (A)	ACR Thick (mm) (B)	ACR Thick (mm) (C)	ACR Thick (mm) (D)	ACR/A	ACR/B	ACR/C	ACR/D
87	1337.58	0.922	290	464	105 836	264	284	302	320	370.1	387.8	400.2	413.1
56	1406.53	0.936	323	517	131 218	307	333	351	371	502.1	524.5	539.3	555.7
85	1013.53	0.95	296	474	110 189	218	239	254	272	252.1	271.3	285.2	299.6
9	1061.79	0.95	292	468	107 373	221	244	259	274	263.1	281.8	295.5	309.2
62	1337.58	0.95	332	531	138 603	297	376	447	526	465.7	669.5	874.2	1115.6
72	1378.95	0.938	315	504	124 821	292	315	333	351	448.2	469.9	485.7	501.5
17	1116.95	0.95	253	405	80 396	208	226	239	254	230.0	243.9	253.4	263.2
88	1385.85	0.908	291	466	106 724	269	292	307	325	386.6	403.9	416.8	429.2
73	1192.79	0.926	316	506	125 749	259	282	300	318	358.7	380.8	395.9	412.3
37	1503.06	0.946	347	554	150 924	351	376	396	417	642.7	668.4	686.1	704.2

Job Name: New Job 2 | Thickness Design | Run

Structure Name: New Structure 1 | Include in Summary Report | Add to Batch

Pavement Type: New Rigid

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m ³)	R (MPa)
P-501 PCC Surface	322	27 579.04		4.48
P-306 Lean Concrete	300	4 826.33		
P-304 Cement Treated Base	150	3 447.38		
Subgrade			103.42	46.8

Design Life (Years): 20

The standard design life for pavement structure is 20 years (1 to 50 allowed).

Slab Stress: Slab Edge Stress (MPa) 2.6 | Slab Interior Stress (MPa) 2.7

Most Demanding Aircraft: A321neo

Results: Calculated Life (Years): 20.0 | Total thickness to the top of the subgrade (mm): 772

Job Name: New Job 2 | Life | Cancel

Structure Name: New Structure 1 | Include in Summary Report | Add to Batch

Pavement Type: New Rigid

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m ³)	R (MPa)
P-501 PCC Surface	322	27 579.04		4.48
P-306 Lean Concrete	300	4 826.33		
P-304 Cement Treated Base	150	3 447.38		
Subgrade			103.42	46.8

Design Life (Years): 20

The standard design life for pavement structure is 20 years (1 to 50 allowed).

Slab Stress: Slab Edge Stress (MPa) 2.6 | Slab Interior Stress (MPa) 2.7

Most Demanding Aircraft: A321neo

Results: Calculated Life (Years): 20.0 | Total thickness to the top of the subgrade (mm): 772

Рис. 4. Результати розрахунків несучої спроможності конструкції аеродромного покриття жорсткого типу

Також було розраховано показники залишкового ресурсу покриття CDF повітряних суден: загальний індекс CDF і частка кожного повітряного судна у формуванні максимального значення CDF.

Розрахунок CDF для всього парку повітряних суден здійснюється шляхом сумування показників окремих повітряних суден у параметр CDF уздовж поперечної осі, яка перпендикулярна осьовій лінії злітно-посадкової смуги. Максимальне значення CDF становить 1 у разі бокового зміщення на величину 3,75 м.

Наведені на рис. 5 значення CDF базуються на характеристиках повітряних суден, які використовуються для визначення товщини покриття. Відповідно до цих характеристик, 95 % загальної маси повітряного судна припадає на основну опору шасі. Найбільший внесок у максимальні показники CDF здійснює повітряне судно A321neo.

Таким чином, збережене значення PCR для розрахункових умов складає 947,9/R/B. Порівняння значень PCR та ACR наведено на рис. 6.

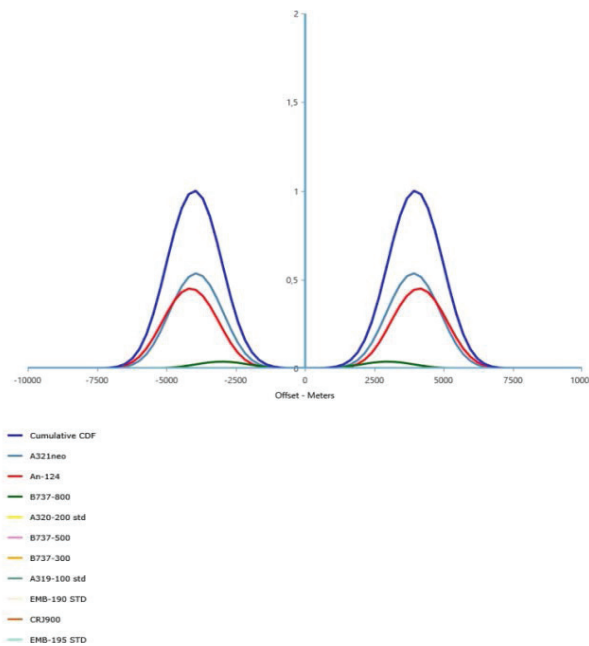


Рис. 5. CDF повітряного судна

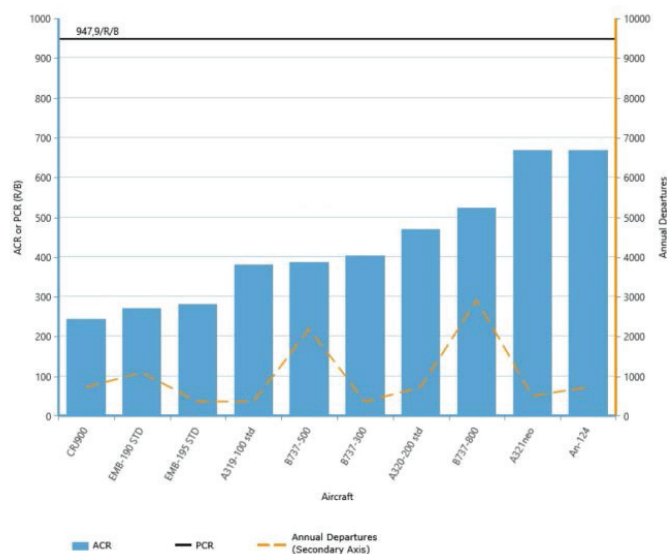


Рис. 6. Порівняння PCR із ACR

Наведене порівняння дозволяє зробити висновок, що для розрахункових повітряних суден для дослідного аеродрому відсутні обмеження за експлуатаційною масою, це пов'язано з тим, що параметр PCR більший за максимальну величину ACR.

ВИСНОВКИ

В програмі FAARFIELD 2.1.1 проведено чисельні експерименти з визначення несучої спроможності аеродромних покриттів з використанням методу ACR-PCR (класифікаційний параметр повітряного судна – класифікаційний параметр покриття), на який Україна має перейти з 28.11.2024. Даний метод визначення несучої спроможності є абсолютно новим для України, де майже 40 років діє застарілий нормативний документ СніП 2.05.08-85.

В якості розрахункової моделі вибрано найбільш поширену тришарову конструкцію аеродромного покриття, де верхнім шаром покриття є важкий цементобетон, нижнім шаром покриття є пісний бетон, а верхнім шаром штучної основи є ґрунтоцементна основа. Така конструкція жорсткого аеродромного покриття є найбільш поширеною в Україні та застосовується на багатьох аеродромах.

Сучасні аеропорти України здатні приймати повітряні судна коду 4D і нижче відповідно до ICAO: A321neo, A319, A320, Boeing 737 (-300 / -900), B767 (-200/ -300), B757 (-200/ -300), Ан-70, Ан-124, Ан-140, E190, E195, CRJ9, Іл-62, Іл-76, Ту-204, ТУ-154.

Тому і розрахунок конструкції аеродромного покриття виконаний на дію навантажень від найбільш поширених повітряних суден, які експлуатуються на аеродромах України, а річна інтенсивність злетів вибрана, виходячи з реального розкладу пасажирських повітряних суден одного з аеропортів України в довоєнний період. При цьому нормативний строк експлуатації жорсткого аеродромного покриття становить 20 років.

В основу методу ACR-PCR покладена концепція CDF, що являє собою комплексний показник залишкового ресурсу структури покриття.

Аеробус A321neo є найкритичнішим повітряним судном, розрахункове значення ACR для якого коливається у межах 642,7...704,2 залежно від коду ґрунтової основи.

Так, за результатами розрахунку, при заданому терміні експлуатації аеродромного

покриття жорсткого типу 20 років, рекомендована товщина верхнього шару покриття із важкого цемент бетону складає 322 мм (див. рис. 4) за умови ґрунтової основи з кодом В.

Для всіх повітряних суден для дослідного аеродрому відсутні обмеження за експлуатаційною масою, це пов'язано з тим, що параметр PCR більший за максимальну величину ACR.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Аеродроми: СНіП 2.05.08-85, М: ЦИТП. 1985. 59 с.

[2] Белятинський А. О., Першаков В. М., Талах С. М., Дубик О. М. Визначення напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів від багатоколісного навантаження надважкого літака. *Вісник ХНАДУ*. Харків: ХНАДУ, 2020. №89. С. 59–66.

[3] Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Давиденко О. О. Комп'ютерне проектування багатошарового асфальтобетонного покриття автомобільних доріг та аеродромів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науковий журнал*. Київ, 2023. Вип. 113. Ч. 1. С. 21–40.

[4] Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Райковський В. Ф. Концепція моніторингу та діагностики штучних аеродромних покриттів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2023. № 1. С. 14–24.

[5] Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Райковський В. Ф. Удосконалення методики оцінювання стану аеродромного покриття. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2023. №2. С. 20–32.

[6] Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М. Система управління техніко – експлуатаційним станом аеродромного покриття. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науковий журнал*. Київ, 2023. Вип. 113. Ч. 2. С. 141–155.

[7] Родченко О. В. Комп'ютерні технології проектування двошарових жорстких аеродромних покриттів. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2020. №2. С. 19–23.

[8] Родченко О.В. Удосконалення методу визначення несучої здатності двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2017. №4. С. 20–23.

[9] Талах С. М., Дубик О. М., Лисницька К. М., Ільченко В. В. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів при взаємодії зі слабкою ґрунтовою основою. *Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць*. Полтава: ПНТУ, 2019. №1 (52). С. 124–132.

[10] Цихановський В. К. Уточнений чисельний розрахунок жорстких аеродромних покриттів на слабких ґрунтових основах з урахуванням неоднорідності матеріалу і особливостей стикових елементів плит. *Опір матеріалів і теорія споруд:*

наук.-техн. зб. Київ. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Київ: КНУБА, 2006. Вип. 79. С. 92–100.

[11] Airport Design Software. URL: https://www.faa.gov/airports/engineering/design_software

[12] Annex 14: Aerodromes. Volume I : Aerodromes Design and Operations. 9th Edition. July 2022 (Додаток 14: Аеродроми. Том 1: Проектування та експлуатація аеродромів. Дев'яте видання. Липень 2022). URL: <https://news.mcaa.gov.mn/uploads/bookSubject/2022-10/63587f6c9ed35.pdf>

[13] Brill D., Kawa I., Ricalde L. Comparative Study of Rigid Pavement Thickness Designs Using FAARFIELD. URL: https://www.researchgate.net/profile/Lia-Ricalde/publication/228827909_Comparative_Study_of_Rigid_Pavement_Thickness_Designs_Using_FAARFIELD/links/56674d1208ae8905db8ba608/Comparative-Study-of-Rigid-Pavement-Thickness-Designs-Using-FAARFIELD.pdf

[14] Doc 9157 Aerodrome Design Manual. Part 3: Pavements. 3rd Edition. 2022 (Unedited) (Посібник із проектування аеродромів. Частина 3: Покриття. Третє видання. 2022. (Без змін)). URL: <https://www.scribd.com/document/718551321/Aerodrome-Design-Manual-Part-3-Pavements-Док-9157-Part-3-Edition>

[15] Dubyk O. Improving the monitoring of the operational and technical condition of rigid airfield pavements. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2021. № 2 (57). С. 59–67.

[16] Evaluation of Airfield Pavements Using FAARFIELD. URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480953.008>

[17] FAARFIELD 2.1.1. URL: <https://www.airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Safety-Papers-Publications/Airport-Safety-Detail/ArtMID/3682/ArticleID/2841/FAARFIELD-20>

[18] Kawa I., Brill, D., Hayhoe, G., Kawa B. FAARFIELD – new FAA airport thickness design software. URL: https://www.researchgate.net/publication/228950995_FAARFIELD-NEW_FAA-AIRPORT_THCKNESS_DESIGN_SOFTWARE

REFERENCES

[1] Ajerodromy: SNiP 2.05.08–85 (1985). [Airfields]. M: TsYTP. 59 s.

[2] Bieliatynskiy, A. O., Pershakov, V. M., Talakh, S. M., & Dubyk, O. M. (2020). Vyznachennia napruzhenno-deformovanoho stanu zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv vid bahatokolisnoho navantazhennia nadvazhkoho litaka [Determination of the stress-strain state of rigid airfield pavements under multi-wheel load of a super-heavy aircraft]. *Visnyk KhNADU*. Kharkiv: KhNADU. №89. С. 59–66 [in Ukrainian].

[3] Hamelyak, I. P., Dmytrychenko, A. M., & Davydenko, O. O. (2023). Komp'yuterneprojektuvannya bahatosharovoho asfal'tobetonnoho pokryttya avtomobil'nykh dorih ta aerodromiv [Computer-aided design of multilayer asphalt concrete pavement for roads and airfields]. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo: naukovyy zhurnal*. Kyiv. Vyp. 113. CH. 1. S. 21–40 [in Ukrainian].

[4] Hamelyak, I. P., Dmytrychenko, A. M., & Raykovs'kyy, V. F. (2023). Kontseptsiya monitorynhu ta diahnostryky shtuchnykh aerodromnykh pokryttiv [Concept of monitoring and diagnostics of artificial airfield pavements]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. №1. S. 14–24 [in Ukrainian].

[5] Hamelyak, I. P., Dmytrychenko, A. M., & Raykovs'kyy, V. F. (2023). Udoskonalennya metodyky otsynuyvannya stanu aerodromnoho pokryttya [Improving the methodology for assessing the condition of airfield pavement]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. №2. S. 20–32 [in Ukrainian].

[6] Hamelyak, I. P., & Dmytrychenko, A. M. (2023). Systema upravlinnya tekhniko – ekspluatatsiynym stanom aerodromnoho pokryttya [Management system for the technical and operational condition of the airfield pavement]. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo: naukovyy zhurnal*. Kyiv. Vyp. 113. CH. 2. S. 141–155 [in Ukrainian].

[7] Rodchenko, O. V. (2020). Komp'yuterni tekhnolohiyi projektuvannya dvosharovykh zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv [Computer technologies for designing two-layer rigid airfield pavements]. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*. №2. S. 19–23 [in Ukrainian].

[8] Rodchenko, O. V. (2017). Udoskonalennia metodu vyznachennia nesuchoi zdatnosti dvosharovykh monolitnykh tsementobetonnykh aerodromnykh pokryttiv [Improvement of the method for determining the bearing capacity of two-layer monolithic cement-concrete airfield pavements]. *Industrial construction and engineering structures*. №4. S. 20–23 [in Ukrainian].

[9] Talakh, S. M., Dubyk, O. M., Lysnytska, K. M., & Ilchenko, V. V. (2019). Chyselne modeliuвання napruzhenno-deformovanoho stanu zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv pry vzaiemodii zi slabkoiu gruntovoiu osnovoiu [Numerical modeling of the stress-strain state of rigid airfield pavements in interaction with a weak soil base]. *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo: zb. nauk. prats. Poltava: PNTU*. №1 (52). S. 124–132 [in Ukrainian].

[10] Tsykhanovs'kyy, V. K. (2006). Utochnenny chysel'nyy rozrakhunok zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv na slabkykh hruntovykh osnovakh z urakhuvannyam neodnorodnosti materialu i osoblyvostey stykovykh elementiv plyt [Refined numerical calculation of rigid airfield pavements on weak soil bases with consideration of material heterogeneity and peculiarities of slab joints]. *Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekhn. zb.* Kyiv: KNUBA. Vyp. 79. S. 92–100 [in Ukrainian].

[11] Airport Design Software. Retrieved from: https://www.faa.gov/airports/engineering/design_software [in English].

[12] Annex 14: Aerodromes. (2022). Volume I : Aerodromes Design and Operations. 9th Edition. Retrieved from: <https://news.mcaa.gov.mn/uploads/bookSubject/2022-10/63587f6c9ed35.pdf> [in English].

[13] Brill, D., Kawa, I., Ricalde, L. (2010). Comparative Study of Rigid Pavement Thickness

Designs Using FAARFIELD. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Lia-Ricalde/publication/228827909_Comparative_Study_of_Rigid_Pavement_Thickness_Designs_Using_FAARFIELD/links/56674d1208ae8905db8ba608/Comparative-Study-of-Rigid-Pavement-Thickness-Designs-Using-FAARFIELD.pdf [in English].

[14] Doc 9157 Aerodrome Design Manual. (2022). Part 3: Pavements. 3rd Edition. 2022 (Unedited) Retrieved from: <https://www.scribd.com/document/718551321/Aerodrome-Design-Manual-Part-3-Pavements-Doc-9157-Part-3-Edition> [in English].

[15] Dubyk, O. (2021). Improving the monitoring of the operational and technical condition of rigid airfield pavements. *Academic journal. Industrial*

Machine Building, Civil Engineering. № 2 (57). C. 59-67 [in English].

[16] Evaluation of Airfield Pavements Using FAARFIELD. Retrieved from: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480953.008> [in English].

[17] FAARFIELD 2.1.1. Retrieved from: <https://www.airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Safety-Papers-Publications/Airport-Safety-Detail/ArtMID/3682/ArticleID/2841/FAARFIELD-20> [in English].

[18] Kawa, I., Brill, D., Hayhoe, G., Kawa, B. (2007). FAARFIELD – new FAA airport thickness design software. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/228950995_FAARFIELD-NEW_FAA_AIRPORT_THCKNESS_DESIGN_SOFTWARE [in English].

ABSTRACT

Dubyk O., Chemakina O., Chernyshova O., Osovskiy I., Kudriavets Ye. Methodology for determining the load-bearing capacity of airfield pavement structures

The article presents the methodology and results of determining the load-bearing capacity of rigid airfield pavements structures using the ACR-PCR method with the FAARFIELD 2.1.1 software package. Numerical experiments were carried out to determine the load-bearing capacity of rigid airfield pavements using the ACR-PCR method.

Purpose. *The aim of the work is to develop recommendations for the calculation, design and determination of the load-bearing capacity of airfield pavement structures using the ACR-PCR method.*

Methodology. *Research methods: analysis of literary sources, statistical and experimental data on the most common aircraft operated at Ukrainian airfields, as well as the actual schedule of passenger aircraft at Ukrainian airports in the pre-war period.*

Results. *The design of the airfield pavement was calculated for the action of loads from the most common aircraft operating at Ukrainian airfields. Numerical experiments were conducted to determine the load-bearing capacity of airfield pavements using the ACR-PCR method and models of airfield pavement destruction were developed. Indicators of the residual service life of aircraft pavement CDF were calculated: the total CDF index and the share of each aircraft in the formation of the maximum CDF value.*

Scientific novelty. *The article develops a model of airfield pavement destruction, proposes an integrated approach to assessing the bearing capacity of airfield pavements, which allows selecting pavement designs taking into account the most critical aircraft and a given service life. The results obtained are useful for planning the development of Ukrainian airports and post-war infrastructure rehabilitation.*

Practical significance. *The results of the work can be used to assess the bearing capacity of airfield pavements, rational selection of pavement structures when planning major repairs and reconstruction of airfield runways.*

Keywords: *railroad crossings, traffic safety, safety indicators, interchanges at different levels, economic efficiency, environmental performance, travel time, traffic size, road, railroad, intersection.*

AUTHOR`S NOTE:

Dubyk Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Aviation Transport Infrastructure Department, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.dubyk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0001-8082-7603

Chemakina Oktiabrina, Candidate of Architecture, Associate Professor, Deputy Dean for Scientific Work of the Faculty of Ground Structures and Airfields, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: oktiabryna.chemakina@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0003-2934-2752

Chernyshova Oksana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Aviation Transport Infrastructure Department, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

Osovsky Ivan, Postgraduate Student at the Aviation Transport Infrastructure Department, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: 5177530@stud.nau.edu.ua, orcid: 0009-0003-8294-6990

Kudriavets Yevhen, Student at the Faculty of Ground Structures and Airfields, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: 1132@stud.nau.edu.ua, orcid: 0009-0003-5313-1178