

УДК 625.717.02

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДВОШАРОВИХ МОНОЛІТНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Запропоновано удосконалення методу визначення несучої здатності двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття з урахуванням зміни температури впродовж доби і року та розрахункового списку повітряних суден.

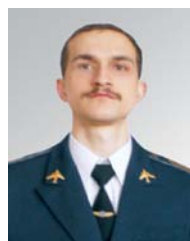
Improvement of method of airport pavement strength is offered for two-layered concrete airfield pavement subject to temperature variations during the day and year and design airplane traffic.

Ключові слова: цементобетонне аеродромне покриття, повітряне судно, основна опора, коефіцієнт накопичення руйнувань від втоми, пора року, температура.

Несуча здатність монолітних двошарових цементобетонних аеродромних покриттів визначається як здатність покриття витримувати навантаження, що прикладене від основних опор літаків. Наразі в аеродромній практиці для отримання даних про несучу здатність аеродромних покриттів використовується метод ICAO (International Civil Aviation Organization) ACN-PCN [1]. Оцінка експлуатаційної придатності покриттів виконується шляхом співставлення класифікаційного числа PCN (Pavement Classification Number), що характеризує несучу здатність конструкції аеродромного покриття, з класифікаційними числами повітряних суден – ACN (Aircraft Classification Number) при визначеній категорії міцності природної ґрунтової основи.

Суть вітчизняного нормативного методу [2] визначення величини PCN, розробленого на основі рекомендацій ICAO, полягає у визначенні величини допустимого нормативного навантаження на чотириколісну стандартну опору, параметри якої встановлено чинними нормами [3], і визначенні числа PCN за графіком для необхідного коду міцності природної основи.

Новий нормативний документ AC 150/5335-5C Федеральної Авіаційної Адміністрації (ФАА) США [4], прийнятий у 2014 р., запроваджує удосконалення методу визначення числа PCN, основна суть якого полягає у розгляді не одного розрахункового повітряного судна чи умовної опори, а розрахункового списку повітряних суден, що експлуатуються в аеропорті. З цього списку вибирається критичне повітряне судно з найбільшим навантаженням на колесо основної опори, а решта повітряних суден враховуються шляхом перетворення їх кількості злітних операцій у еквівалентну кількість злетів критичного повітряного судна. Про-



О.В. Родченко

доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету, к.т.н.

цедура визначення числа PCN реалізована у вигляді програми COMFAA 3.0 та базується на концепції руйнування від втоми.

У роботі Габрієля Базі [5] пропонується удосконалення методу визначення класифікаційного числа PCN шляхом урахування зміни несучої здатності ґрунтової основи впродовж року та дії основних опор літака із найбільшим числом ACN або всіх літаків із розрахункового списку, але поодиночі.

Варто зазначити, що у чинних нормах [2, 3], AC 150/5335-5C [4] та роботі [5] при визначенні числа PCN не враховується вплив коливань температури впродовж доби та пір року на монолітне цементобетонне аеродромне покриття, а розрахунок двошарових покриттів взагалі не передбачений у нормах AC 150/5335-5C [4] та праці Габрієля Базі [5]. У зв'язку з чим виникає необхідність подальшого удосконалення методу визначення числа PCN, що забезпечуватиме раціональне використання двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів та їх безпечну експлуатацію.

Метою дослідження є розроблення теоретичних основ визначення класифікаційного числа двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів (рис. 1) з урахуванням зміни температури впродовж доби та пір року і розрахункового списку повітряних суден.

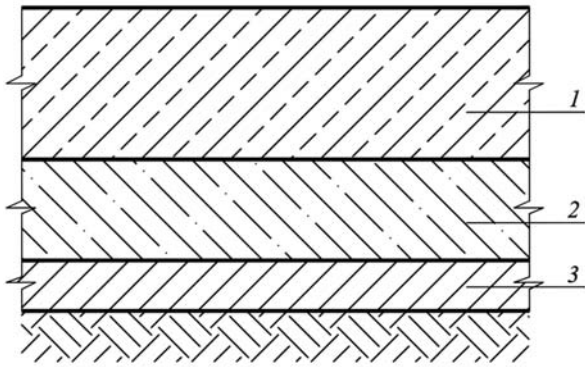


Рис. 1. Двошарове монолітне цементобетонне аеродромне покриття:

1 – верхній шар з монолітного цементобетону; 2 – нижній шар з пісного бетону; 3 – укріплена штучна основа

При визначенні величини класифікаційного числа жорсткого покриття пропонується використовувати концепцію руйнування від втоми, що виражається терміном «ступінь нагромадження руйнувань від втоми» D . Величина D визначається як відношення кількості прикладених повторень навантажень від колісних опор повітряного судна до допустимої кількості їх повторень до відмови покриття. Для додавання руйнувань від втоми, що виникають у цементобетонній плиті, використовується гіпотеза лінійного додавання пошкоджень Майнера.

Ступінь нагромадження руйнувань від втоми для верхнього D та нижнього шару D' монолітного цементобетонного покриття при визначенні класифікаційного числа аеродромного покриття пропонується визначати з урахуванням зміни температури впродовж року за формулами:

$$D = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 D_{ij}; \quad (1)$$

$$D' = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 D'_{ij},$$

де i – пора року (1 – зима, 2 – весна, 3 – літо, 4 – осінь); j – час доби (1 – день; 2 – ніч).

У свою чергу, доданки у формулах (1) визначаються за формулами:

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{365 N_{ijk} T}{n_i C_{ijk} P_k}; \quad (2)$$

$$D'_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{365 N'_{ijk} T}{n_i C'_{ijk} P_k},$$

де m – кількість літаків у розрахунковому списку; N_{ijk} – кількість злітних операцій k -го повітряного судна, основну опору якого замінено на

чотириколісну стандартну опору, за i -ту пору року в j -й час доби; n_i – кількість днів у порі року; T – розрахунковий термін експлуатації покриття; C_{ijk} – кількість допустимих проходів k -го повітряного судна до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару двошарового покриття; C'_{ijk} – кількість допустимих проходів k -го повітряного судна до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару двошарового монолітного цементобетонного покриття; P_k – коефіцієнт, що виражає відношення кількості зльотів k -го повітряного судна, основну опору якого замінено на чотириколісну стандартну опору, до кількості проходів за смугою охоплення, є аналогом коефіцієнта PCR, наведеного у чинних нормах ФАА з проектування аеродромних покриттів [6].

Кількість допустимих проходів чотириколісної стандартної опори до відмови покриття за критерієм розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні плити пропонується визначати за формулами, отриманими на основі праці [7]:

$$C_{ijk} = 10^{12[1-f_1]}; \quad (3)$$

$$C'_{ijk} = 10^{12[1-f_2]},$$

де f_1 – рівень відносного напруження, тобто відношення розрахункового напруження, що виникає на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару аеродромного покриття, до допустимого напруження; f_2 – рівень відносного напруження, тобто відношення розрахункового напруження, що виникає на нижній поверхні нижнього шару покриття, до допустимого напруження.

Відношення f_1 визначається за допомогою наступного виразу:

$$f_1 = \frac{(\sigma_{k,\max} + \sigma_{T,ij}) k_p}{k_r k_t R_{28}}, \quad (4)$$

де $\sigma_{k,\max}$ – максимальне розрахункове розтягувальне напруження на нижній поверхні верхнього шару при дії навантажень від чотириколісної стандартної опори k -го повітряного судна, МПа; $\sigma_{T,ij}$ – розтягувальне температурне напруження на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару, МПа; k_p – коефіцієнт,

що враховує ймовірність суми середніх значень випадкових величин $\sigma_{k,\max}$ та $\sigma_{T,ij}$; k_r – поправковий коефіцієнт, що враховує групу ділянок аеродромних покриттів; k_t – коефіцієнт, що враховує зростання міцності цементобетону у часі; \bar{R}_{28} – середнє значення міцності бетону верхнього шару двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа.

Відношення f_2 визначається за допомогою наступного виразу:

$$f_2' = \frac{(\sigma'_{k,\max} + \sigma'_{T,ij})k_p}{1,28 k_r k_t \bar{R}'_{28}}, \quad (5)$$

де $\sigma'_{k,\max}$ – максимальне розрахункове розтягвальне напруження на нижній поверхні нижнього шару аеродромного покриття при дії навантажень від чотириколісної стандартної опори k -го повітряного судна, МПа; $\sigma'_{T,ij}$ – розтягвальне температурне напруження на нижній поверхні нижнього шару покриття, МПа; \bar{R}'_{28} – середнє значення міцності бетону нижнього шару на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа.

Для денного періоду доби температурні напруження виникають на нижній поверхні цементобетонної плити у зоні її крайових ділянок. Вночі відбувається зниження температури поблизу крайових та кутових ділянок цементобетонної плити аеродромного покриття і температурне напруження є стискувальним і не враховується у формулах (4) та (5), тому коефіцієнт k_p приймається таким, що дорівнює одиниці.

Величина нормативного навантаження на чотириколісну стандартну опору k -го повітряного судна визначається за емпіричною формулою, отриманою на основі графічних даних для коду міцності ґрунтової основи C [2],

$$F_{n,k} = 46,522 \cdot ACN_{C,k}^{0,673} - 40,8751, \quad (6)$$

де $ACN_{C,k}$ – число ACN k -го повітряного судна для коду міцності ґрунтової основи C .

Якщо ступінь нагромадження руйнувань від втоми цементобетонного аеродромного покриття D або D' більше одиниці, то необхідно зменшити величину злітної маси повітряного судна із найбільшим кодом ACN. Якщо D або D' менше одиниці, то можна збільшити масу літаків у межах значень, запропонованих розробниками. Як величина PCN приймається величина ACN повітряного судна із найбільшою злітною масою у розрахунковому списку.

Проведено тестове визначення величини класифікаційного числа PCN за запропонованим методом для двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття ЗПС на штучній основі, укріпленій в'язучим, що розташоване на $50^{\circ}23'$ п.ш., з урахуванням розрахункового списку повітряних суден, що експлуатуються (табл. 1). Вихідні дані: аеродромне покриття ЗПС – цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні $B_{tb}4.4$; товщина верхнього шару 0,42 м; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згинанні $B_{tb}1.6$, товщина – 0,20 м; штучна основа – ґрунтоцемент завтовшки 0,15 м та з модулем пружності 1500 МПа. Коефіцієнт постелі природної ґрунтової основи 40 МН/м³. Покриття спроектовано на дію категорії 1 нормативного навантаження, розрахункове число прикладення нормативного навантаження – 200000.

Таблиця 1

Розрахунковий список повітряних суден

Повітряне судно	Злітна маса, т	Кількість операцій за рік	ACN для коду C
A321-100	83,400	5000	57
A330-200	202,900	2000	61
B737-500	60,781	10000	40
B737-800	79,243	10000	54
B767-200ER	179,623	2000	62
B747-400	397,800	2000	74

Розподіл злітних операцій літаків за порами року та часом доби наведено у таблиці 2. Вибрано варіант при цілодобовому здійсненні злітних операцій.

Для зими та літа середня тривалість дня приймається на основі даних для січня та липня (табл. 10–17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010), не враховуючи дві години після сходу і дві години до заходу сонця для січня місяця та чотири години після сходу і три до заходу сонця для липня, тобто середня тривалість дня приймається як годинний інтервал, на який припадає 95 % добової сонячної радіації. Для весни та осені середня тривалість дня (для квітня та жовтня) може бути визначена на основі рекомендацій Дмитрієва М.М. [8]. Від отриманої розрахункової тривалості дня необхідно відняти 5 годин.

Відповідно до результатів розрахунку за запропонованим методом класифікаційне число PCN аеродромного покриття становить 74. Повний код PCN матиме такий вигляд: PCN 74/R/C/X/T. Обмеження злітної маси повітряних суден із розрахункового списку відсутні.

Таблиця 2

Кількість злітних операцій повітряних суден за порами року та часом доби

Пора року	Час доби	Кількість злітних операцій					
		A321-100	A330-200	B737-500	B737-800	B767-200EK	B747-400
Зима	День	309	123	617	617	123	123
	Ніч	924	370	1849	1849	370	370
Весна	День	368	147	736	736	147	147
	Ніч	892	357	1784	1784	357	357
Літо	День	506	202	1012	1012	202	202
	Ніч	755	302	1510	1510	302	302
Осінь	День	364	146	728	728	146	146
	Ніч	882	353	1764	1764	353	353
Всього за рік		5000	2000	10000	10000	2000	2000

Таблиця 3

Порівняльний розрахунок числа PCN

Метод	PCN	Обмеження за злітною масою	Обмеження кількості злітних операцій
МОС НГЭА	61	Не визначаються	B767-200ER (10 операцій за добу), B747-400 (2 операції за добу), для інших літаків без обмежень
КП «Аеродром 380»	61	Не визначаються	B767-200ER (10 операцій за добу), B747-400 (2 операції за добу), для інших літаків без обмежень
COMFAA (AC 150/5335-5C)	64	Для всіх літаків у розрахунковому списку	Не визначаються
Розроблений метод	74	Без обмежень (див. табл. 2)	Без обмежень (див. табл. 2)

Результати розрахунку величини класифікаційного числа двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття, отримані на основі методики [2], комп'ютерної програми «Аеродром 380», програми COMFAA [4] та розробленого методу, наведено у таблиці 3.

Висновки.

1. Запропоновано формули для визначення коефіцієнта нагромадження руйнувань від утоми для двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття при дії колісного навантаження від розрахункового списку

повітряних суден і зміни температури впродовж доби та пір року.

2. Отримано формули для визначення кількості допустимих проходів чотириколійної стандартної опори до моменту відмови покриття за критерієм розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні плит верхнього та нижнього шару.

3. Число PCN, визначене за розробленим методом, на 21,3 % більше ніж при розрахунку за чинним нормативним методом [2], за комп'ютерною програмою «Аеродром 380» на 15,6 % більше ніж за програмою COMFAA (AC 150/5335-5C).

[1] Руководство по проектированию аэродромов. Часть 3. Покрyтия // Рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Док № 9184. – 1983. – 348 с.
 [2] Методика оценки соответствия нормам годности и эксплуатации в СССР ГА (МОС НГЭА СССР), 1992. – 144 с.
 [3] СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.
 [4] Advisory Circular 150/5335-5C. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2014. – 113 p.
 [5] Gabriel Bazy Mechanistic-Empirical PCN Procedure/ Gabriel Bazy // Airport Pavement Working Group Meeting. Atlantic City, April, 2012. – Atlantic City, 2012. – 34 p.

[6] Advisory Circular 150/5320-6F. Airport Pavement Design and Evaluation, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2016. USA Standard.
 [7] Степушин А.П. К обоснованию сроков службы жёстких аэродромных покрытий из цементобетона / А.П. Степушин // Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений аэропортов: сб. науч. трудов МАДИ (ТУ). – М., 2001. – С. 12–28.
 [8] Дмитрієв М. М. Визначення крайових умов на поверхні аеродромного покриття для постановки завдання моделювання його теплового поля / М.М. Дмитрієв, О.М. Папченко, О.Б. Деркачов, І.А. Рутковська // Вісник НАУ. – 2008. – №1. – С. 161–164.

Надійшла 06.06.2017 р.