

*О.В. Родченко, к.т.н., В.І. Довгоп`ятий, Д.І. Довгоп`ята,
І.Б. Євдокімова, І.М. Носуля
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Теоретичні та практичні основи визначення класифікаційного параметра жорсткого аеродромного покриття PCR з використанням штучного інтелекту

За допомогою штучного інтелекту визначено емпіричні формули для розрахунку величини PCR жорсткого аеродромного покриття на основі значення категорійного нормативного навантаження.

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) прийняла метод, який замінить застарілу систему Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number (ACN/PCN). Новий метод, що отримав назву Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating (ACR/PCR), включений до Поправки 15 до Додатку 14 ICAO, Том 1 (ICAO, 2020), і детально описаний в оновленні до Посібника з проектування аеродромів ICAO (ADM), Частина 3 (ICAO, 2022). Метод ACR/PCR набув чинності в липні 2020 року і, як очікується, повністю замінить ACN/PCN 28 листопада 2024 року. Протягом перехідного періоду обидва методи залишатимуться доступними [1].

ACR (класифікаційний параметр літака) визначається як подвоєне значення допустимого навантаження на колеса (DSWL), виражене у сотнях кілограмів, замість тисяч кілограмів, як це було в визначенні ACN. Ця зміна у визначенні призводить до того, що значення ACR (і відповідного PCR) приблизно в десять разів більше за величиною, ніж значення ACN (і відповідного PCN). Це лише питання визначення; це не означає, що можна перетворити ACN в ACR (або PCN в PCR), просто помноживши на десять. Причиною цієї зміни було уникнення можливої плутанини під час звітування (наприклад, випадкове порівняння ACR з PCN), особливо в перехідний період, коли обидві системи використовуються [1].

PCR (класифікаційний параметр аеродромного покриття) визначається як ACR «критичного» або еталонного повітряного судна при його максимальній допустимій злітній масі (MAGW). Таким чином, основна функція методу PCR полягає в ідентифікації критичного повітряного судна та визначенні його MAGW. Після цього можна розрахувати ACR, використовуючи стандартну процедуру ICAO, і призначити його для PCR [1].

У науковій праці [2] на прикладі з аеропорту Південно-Східної Азії обговорено аномалії між проєктною несучою здатністю покриття за методом розрахунку товщини покриття PTD та методом ACN/PCN. Встановлено, що метод ACR/PCR може надавати результати структурної оцінки покриття, які відповідають результатам за методом PTD [2].

У зв'язку із введенням у дію нового методу ICAO ACR/PCR виникла необхідність в адаптації вітчизняної методики визначення PCN до нових

вимог. Суть вітчизняної методики визначення класифікаційного числа аеродромного покриття PCN полягає у визначенні значення максимального категорійного нормативного навантаження, що діє на аеродромне покриття, та встановленні за графіком величини PCN.

За допомогою комп'ютерної програми ICAO ACR визначено класифікаційний параметр ACR для різних значень категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору F_n (табл. 1) для кодів міцності ґрунтової основи (А – висока міцність, В – середня, С – низька, D – дуже низька).

Таблиця 1.

Класифікаційний параметр ACR категорійного нормативного навантаження для коду міцності ґрунтової основи А

F_n , кН	ACR						
300	140,32	500	273,87	700	459,52	900	686,85
310	145,87	510	281,87	710	470,00	910	699,09
320	151,52	520	290,08	720	480,58	920	711,41
330	157,28	530	298,45	730	491,08	930	723,80
340	163,15	540	306,98	740	502,04	940	736,26
350	169,13	550	315,68	750	512,94	950	748,79
360	175,23	560	324,49	760	523,93	960	761,40
370	181,44	570	333,22	770	535,27	970	774,07
380	187,77	580	342,24	780	546,37	980	786,80
390	194,21	590	351,38	790	557,55	990	799,60
400	200,79	600	360,64	800	568,80	1000	812,47
410	207,49	610	370,02	810	580,18	1010	825,40
420	214,31	620	379,52	820	591,70	1020	838,39
430	221,27	630	389,13	830	603,31	1030	851,45
440	228,37	640	398,86	840	615,00	1040	864,57
450	235,61	650	408,70	850	626,77	1050	877,47
460	242,99	660	418,65	860	638,63	1060	891,21
470	250,51	670	428,71	870	650,57	1070	904,30
480	258,15	680	438,88	880	662,58	1080	917,67
490	265,92	690	449,15	890	674,68	1090	931,10

За допомогою штучного інтелекту визначено емпіричні формули (для кожного коду міцності ґрунтової основи) для розрахунку величини PCR на основі значення категорійного нормативного навантаження.

Штучний інтелект – це галузь комп'ютерних наук, що займається створенням машин і програм, що здатні виконувати завдання, які можуть включати розпізнавання мови, прийняття рішень, вирішення проблем, планування тощо [3,4].

Однією зі сфер, де ШІ має глибокий вплив, є регресійний аналіз. Розглянемо поліноміальну модель регресії. Припустимо, що маємо результати n пар незалежних спостережень. Суть задачі полягає у визначенні згладжувальної

кривої, що „найкращим” чином проходить через задану множину точок. Найпоширенішим методом при розв’язанні подібних задач є метод найменших квадратів, що відноситься до числових методів [5].

Визначимо невідомі параметри поліноміальної моделі регресії $PCR = a \cdot F_n^2 + b \cdot F_n + c$ для даних у табл. 1. Для вирішення цієї задачі використано ChatGPT. ChatGPT – це мовна модель, розроблена компанією OpenAI на основі архітектури Generative Pre-trained Transformer. ChatGPT надав відповідь у вигляді програмного коду мовою Python. Для запуску програмного коду та отримання відповіді було використано онлайн ресурс replit.com.

Модель поліноміальної регресії із визначеними параметрами для коду міцності ґрунтової основи A має вигляд:

$$PCR_A = 0,0005 \cdot F_n^2 + 0,285 \cdot F_n + 3,0699. \quad (1)$$

За аналогією було отримано емпіричні формули для інших кодів міцності ґрунтової основи:

- для коду B

$$PCR_B = 0,0004 \cdot F_n^2 + 0,5764 \cdot F_n - 61,8983; \quad (2)$$

- для коду C

$$PCR_C = 0,00037 \cdot F_n^2 + 0,75123 \cdot F_n - 87,3057; \quad (3)$$

- для коду D

$$PCR_D = 0,00032 \cdot F_n^2 + 0,897 \cdot F_n - 97,23. \quad (4)$$

Висновки

Отримано емпіричні формули для визначення класифікаційного параметра жорсткого аеродромного покриття PCR для чотирьох кодів міцності ґрунтової основи за допомогою розробленої ChatGPT програми.

При визначенні величини PCR за отриманими емпіричними формулами розбіжність із результатами, отриманими у комп’ютерній програмі ICAO ACR, знаходиться у межах від 3 до 5% (для коду міцності ґрунтової основи A), 3–7% (для коду міцності ґрунтової основи B), 1–3% (для коду міцності ґрунтової основи C), 1–3% (для коду міцності ґрунтової основи D).

Список літератури

1. Federal Aviation Administration (FAA), Standardized Method Of Reporting Airport Pavement Strength-PCR, *Advisory Circular No 150/5335-D*, U.S. Department of Transportation, 2022.

2. Sun, J., Oh, E., Chai, G., Ma, Z., & Bell, P. (2024). Comparison between ACN–PCN and ACR–PCR for rigid airport pavement with case study. *Road Materials and Pavement Design*, 1–13.

3. Abambres, M., & Ferreira, A. (2017). Application of ANN in Pavement Engineering: State-of-Art. *Mechanical Engineering eJournal*.

4. Abed, A., Thom, N.H., Campos-Guereta, I., & Airey, G. (2022). Improved Multi-layer Analysis of Pavement Response Using Neural Networks to Optimize Numerical Integration. *International Journal of Pavement Research and Technology*.

5. John Wolberg (2006). *Data Analysis Using the Method of Least Squares*. Springer, Berlin, Heidelberg. 250 p. https://doi.org/10.1007/3-540-31720-1_2