

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ

Павлюк Д.О., Терещук В.П., Лебедев О.С., Шур'яков М.В.
Національний Транспортний Університет, Київ, Україна

В статті розглянуто підхід, що до визначення рівності покриттів за допомогою індексу R.

Ключові слова: злітно-посадкова смуга аеродрому, індекс r , спектральна щільність, рівність, сертифікація аеродрому.

Постановка проблеми.

Відповідно до нормативних документів, які діють в Україні, рівність покриттів нормують за різницею висотних відміток поздовжнього профіля, за кількістю просвітів під 3-х метровою рейкою, за показниками поштовхоміра та причіпних установок типу ПКРС, тощо. Проте усі ці методи не дають змоги охопити весь діапазон частот, який так чи інакше впливає на автомобіль або літак, водія або пілота, та пасажирів [8].

Аналіз останніх досліджень.

Останнім часом у світі набуває популярності оцінка рівності покриття за спектральною щільністю. Спектральна щільність – це графік залежності амплітуди нерівності від довжини хвилі. На основі спектрального аналізу визначається показник рівності штучних покриттів злітно-посадкової смуги - індекс R [2, 3]:

$$R = 6,48 - \frac{4,62 \cdot c}{0,21^{k-2}}, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт, що характеризує рівень спектральної щільності:

$$k = \frac{\lg(y_B) - \lg(y_A)}{\lg(x_A) - \lg(x_B)}, \quad (2)$$

c – коефіцієнт, що характеризує форму спектральної щільності:

$$c = \lg(y_A) + k \cdot \lg(x_A) = \lg(y_B) + k \cdot \lg(x_B), \quad (3)$$

x_A, y_A, x_B, y_B – координати довільних точок A і B на прямій лінії, положення якої найкращим чином «повторює» поведінку кривої спектральної щільності (рис. 5) [3].

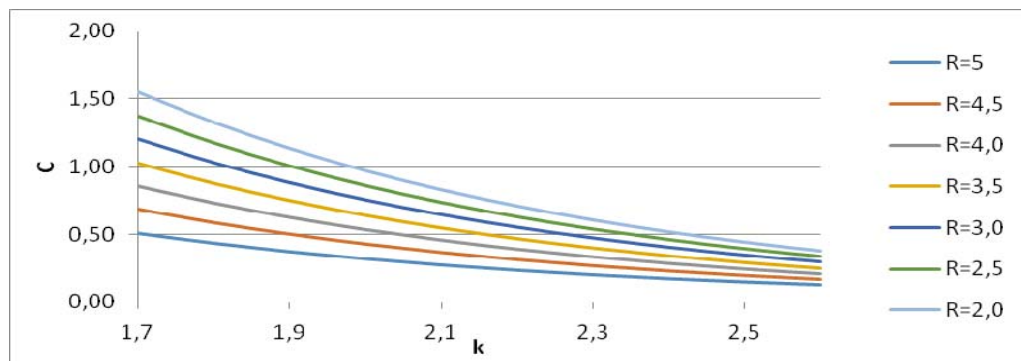
Оцінка якості злітно-посадкової смуги аеродромів за рівністю здійснюється у відповідності з табл. 1. [2, 3].

Таблиця 1

Оцінка рівності за індексом R

R	Характеристика
5,0 і вище	відмінна
4,9-4,6	хороша, ближча до відмінної
4,5-4,0	хороша
3,9-3,6	хороша, ближча до задовільної
3,5-3,0	задовільна
2,9-2,6	задовільна, ближча до критичної
2,5-2,0	критична
2,0 і нижче	незадовільна

Графік залежності між спектральними параметрами c і k наведено на рис. 1 [3].

Рис. 1 – Залежність між спектральними параметрами c і k при різних значеннях індексу R

На розрахунок цього показника впливають темп витрат ресурсів конструкції, вібраційний комфорт екіпажу, а також максимальні навантаження, які діють на літак при наземних режимах руху. В Росії, в ДержНДІ ЦА були проведені роботи з метою виявлення оцінок гранично допустимого рівня нерівностей аеродромних покриттів з врахуванням відповідної комплексності його впливу на процес експлуатації середнього магістрального літака [1].

Для отримання вихідної інформації про подібні впливи були проведені льотні випробування літака на п'яти аеродромах, які радикально відрізнялися один від одного по рівню нерівностей. Загалом було проведено 60 пробігів по штучній злітно-посадковій смугі цих аеродромів з варіюванням швидкості V , центрування \bar{X}_T і маси G літака. Варіювання вказаних параметрів здійснювалося з врахування плану експерименту, який задавався центральним композиційним рототабельним плануванням другого порядку для числа незалежних факторів $n = 5 (G, V, \bar{X}_T, c, k)$ (де k і c – відповідно показник степеню і коефіцієнт залежності спектральної щільності нерівностей аеродромного покриття S (мм²/м) від їх просторової частоти F (1/м): $S = \frac{c}{F^k}$). При цьому традиційно параметри c (мм²·м^{1-k}) і k розглядалися як узагальнені характеристики рівня нерівностей даного аеродромного покриття. Діапазон варіювання кожного із факторів G , V , \bar{X}_T вибирався по можливості так, щоб даний тип відповідав машині в реальній експлуатації, а саме G – від 70 до 98 т, V – від 90 до 200 км/год., \bar{X}_T – від 22 до 28% [1]. Це що стосується експериментального одержання формули (1).

Проведення ж вимірювань наводиться в нормативних документах, зокрема в російських рекомендаціях по експлуатації цивільної авіації, вказується, що «стан рівності поверхні аеродромних покриттів рекомендується характеризувати індексом R . Оцінку рівності рекомендується виконувати методом коротко крокового нівелювання або шляхом використання спеціального причіпного пристрою для вимірювання рівності» [6]. Однак методики проведення вимірювань та обробки результатів з метою визначення цього індексу в нормативній літературі не наводиться.

В роботі [3] більш детально розкрито алгоритм обробки даних під час нівелювання для оцінки рівності конкретної ЗПС. Проте сама стаття містить певні невідповідності, наведений приклад включає в себе різні джерела (графіки не відповідають формулам).

В статті [2] одержано значення індексу R для ЗПС Харківського авіаційного заводу (Харків-Сокольники), який порівнювався з іншими показниками, а саме з міжнародним індексом рівності IRI та інтегральним показником I кривої середньоквадратичного відхилення профілю.

Виклад основного матеріалу.

Через брак інформації автори провели власні теоретичні дослідження спектральної щільності, починаючи з комплексних чисел, рядів Фур'є і закінчуючи теорією сигналів [4, 5].

Об'єктом дослідження для розрахунку стала ЗПС аеродрому Київського авіаційного виробничого об'єднання «Авіант» (рис. 2).



Рис. 2 – Фотографії аеродрому «Авіант»

Польові роботи проводилися в 2006 році. Визначення відміток поздовжнього профілю виконувалося за допомогою нівеліра «Sokkia C4₁₀» та мікрометричної насадки «OM5» (рис. 3)



Рис. 3 - Визначення відміток поздовжнього профілю

з кроком 0,5 м з врахуванням плюсових точок, в яких мали місце різкі перепади поздовжнього профілю. Поздовжній профіль ЗПС у створі, який пролягав по осі льотної смуги та апроксимація поліномом 6 степеню наведені на рис. 4.

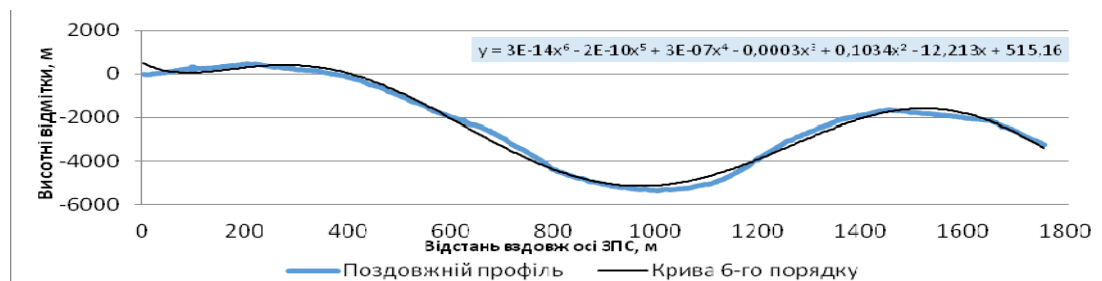


Рис. 4 – Поздовжній профіль ЗПС і його апроксимація кривою 6-го порядку

Розрахунковий графік спектральної щільності нерівностей покриття ЗПС для даного аеродрому наведено на рис. 5.

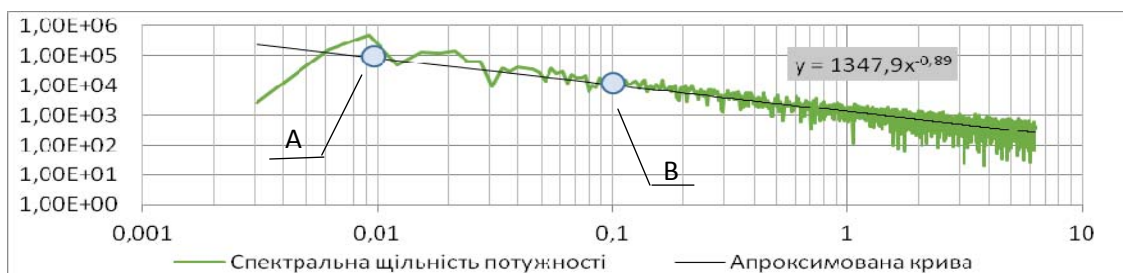


Рис. 5 – Графік спектральної щільності нерівностей аеродромного покриття ЗПС в подвійному логарифмічному масштабі

Значення координат x_A, y_A, x_B, y_B представлено в табл. 2.

Координати довільних точок A і B		
Назва точки/Координата	X	Y
A	0,01	$1347,9 \cdot 0,01^{-0,89} = 81219,01$
B	0,1	$1347,9 \cdot 0,1^{-0,89} = 10463,03$

Провівши необхідні розрахунки і отримавши значення індексу R , що становить 3,92, можна стверджувати, що стан поверхні штучного покриття ЗПС, який мав місце у 2006 році, слід визнати добрим, ближчим до задовільного.

Додатково аналізуючи криву, яка апроксимує профіль (рис. 4), можна зауважити, що на деяких ділянках мають місце значні відхилення ординат точок кривої від реального профілю. З метою удосконалення методики оцінки, ЗПС була розділена на три ділянки довжиною приблизно 500 м. Значення індексу R та його складових для кожної ділянки наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахунок індексу R по ділянках										
№ ділянки	Розміщення ділянки, м		x_A	y_A	x_B	y_B	k	c	R	Характеристика рівності
	Від	До								
1	0	514	0,1	1876,01	1	351,75	0,727	2,55	4,87	добра, ближча до відмінної
2	515	1026,5	0,1	2272,61	1	335,37	0,831	2,53	4,60	добра
3	1027	1538,5	0,1	1622,84	1	357,5	0,657	2,55	5,03	відмінна

Через менші значення відхилень висотних відміток від лінії Тренда ми отримали три ділянки з характеристиками високої якості покриття, що підтверджує правдивість наших припущень.

Для порівняння визначили індекс R для покриття першої правої смуги руху дороги М-03 (Київ-Харків-Довжанський - ПК 190+00,00-192+55,00) (рис. 6).

Поздовжній профіль автомобільної дороги та його апроксимація наведені на рис. 6.

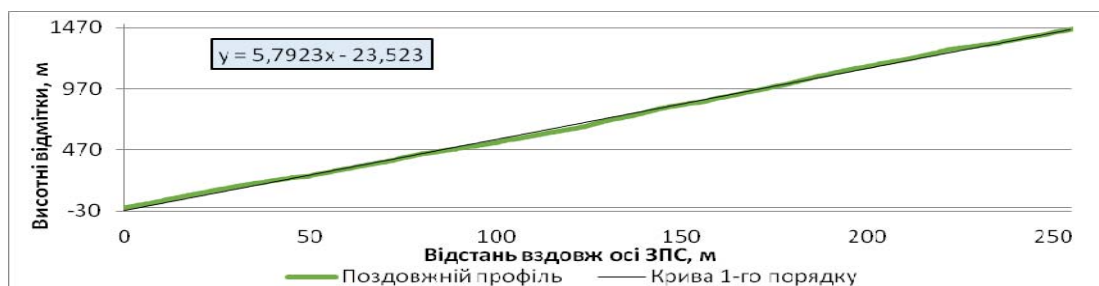


Рис. 6 – Поздовжній профіль ділянки дороги і його апроксимація кривою 6-го порядку
Розрахунковий графік спектральної щільності нерівностей покриття для даної ділянки автомобільної дороги побудований на рис. 7.



Рис. 7 – Графік спектральної щільності нерівностей дороги Київ-Харків-Довжанський (ПК 190+00,00-192+55,00) в подвійному логарифмічному масштабі

Результати показали, що індекс R на даній ділянці становить 5,12, що свідчить про відмінну якість покриття.

Висновок.

1. Був проведений аналіз рівності покриття для аеродрому київського авіаційного виробничого об'єднання «Авіант», що становить 3,92 та на ділянці дорозі М-03 (Київ-Харків-Довжанський), де індекс R дорівнює 5,12.

2. Надана відповідна оцінка для злітно-посадкової смуги та автомобільної дороги, що характеризує стан покриття для кожного випадку.

3. Для удосконалення методики було запропоновано розглядати профіль окремими невеликими ділянками, оскільки якість апроксимації суттєво впливає на показник рівності.

1. Филиппов В. П. Нормирование уровня ровности аэродромных покрытий с учетом его комплексного влияния на средний магистральный самолет. / В. П. Филиппов // Научный вестник МГТУ ГА. – М.: №187, 2013. – С. 1-7.

2. Горб А. А. Определение индекса ровности методом наземного лазерного сканирования. / А. А. Горб, А. И. Горб // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: № 21, 2011. – С. 145-149.

3. Канунников О. В. Определение индекса ровности R по высотным отметкам продольного профиля ИВПШ. / О. В. Канунников, И.В. Groшев, А. А. Штрейхер // Аэропорты прогрессивные технологии., 2002. - № 1 (14)

4. Дубовик В. П. Вища математика: Навчальний посібник / В. П. Дубовик, І. І. Юрик // – К.: А.С.К., 2006. – 648 С.

5. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. / С. И. Баскаков // Высшая школа, 1988. – 466 С.

6. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации: РЭГА РФ – 94. - Офіц. вид. — М: «Воздушный транспорт»: Минтранс России, 1994. – 124 с. – (Нормативный документ Минтранс России. Руководство)

7. Роев Ю. Д. Оцінка нерівностей штучних покриттів аеропортів. / Ю. Д. Роев // Геопрофі. №3 – М: Информационное агентство «ГРОМ», 2006 – С. 15-17.

8. Савенко В. Я. Недоліки оцінки рівності поверхні дорожніх покриттів, яку використовують в Україні. / В. Я. Савенко, В. В. Філіппов, Д. І. Кіяшко, Р. В. Смолянчук, Н. В. Смірнова // Автошляховик України. – К: Держ. автотр. наук. досл. і проектн. ін-т, 2011. - №6. – С. 24-31.

Павлюк Д.А., Терещук В. П. Лебедев А. С., Шур'яков М. В.. Применение спектральной плотности для оценки качества покрытий . В статье рассмотрен подход, к определению ровности аэродромного покрытия с помощью индекса R.

Ключевые слова: взлетно-посадочная полоса аэродрома , индекс R, спектральная плотность, равенство, сертификация аэродрома.

Pawluk D. Tereshchuk V. Lyebyedev O., Shur'yakov M..Application spectral density to assess the quality coatings. The article deals with approach to the definition of equality airport paving using index R.

Keywords: runway airfield index r, spektral density, equality, certification airfield.

Стаття надійшла в редакцію 07.05.2014 р.