

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕСІЧЕНОСТІ РЕЛЬЄФУ ЛИЖНИХ БІГОВИХ ТРАС

© Бахмат О., 2009

Определение оптимальных нагрузок для тренировок является важной задачей. Для лыжных гонщиков степень нагрузки в первую очередь определяется рельефом. В статье представлен метод определения уровня пересеченности рельефа беговых трас.

It is a very important task to define optimal training conditions. They mostly depend on the relief for the cross-country skiers. In the article the method of the territory crossing level determination is given.

Постановка проблеми. Лижні перегони вважаються найбільш популярним та масовим видом лижних змагань. Вони входять у програми всіх зимових Олімпіад. Дистанції можуть бути від 500 м до 50 км, а для спеціально підготовлених учасників – до 70 км. Відповідно до Інструкції з вимог до бігових трас, їх необхідно прокладати по пересіченій місцевості, по-можливості залісненій. При цьому штучне втручання та перетворення природних форм ландшафту повинні бути мінімальними; співвідношення загальної довжини рівних ділянок, підйомів та спусків повинне становити 1/3:1/3:1/3. Будівельні норми містять такі вимоги: траси для лижних перегонів і перегонів із стрільбою (біатлон) прокладаються по пересіченій місцевості і мають відповідні до правил змагань з лижних перегонів та біатлону перепади висот, підйоми, рівні ділянки та спуски.

Отже, складність дистанції визначається не тільки її довжиною, перепадом висот – параметрами, що легко визначаються, – але й мірою пересіченості рельєфу місцевості. В даній статті запропоновано спосіб визначення міри пересіченості рельєфу ділянки, а також порівняння трас відносно вказаного чинника.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Рельєф місцевості можна трактувати як відображення випадкового процесу на конкретний момент. Відповідно вивчення його структури резонно проводити фізично обґрунтованими методами (Пузаченко и др., 2002). Розглядаючи рельєф земної поверхні як реалізацію випадкового процесу, його можна досліджувати класичним методом спектрального аналізу. В такому випадку рельєф, виражений матрицею або регулярною сіткою абсолютних висот, трактується як двомірна система хвиль із зафіксованими на даний момент часу гармоніками. Серед публікацій на дану тематику можна виділити (Котлов, Пузаченко, 2006), де розв'язана задача побудови просторової ієрархічної моделі рельєфу Руської рівнини з використанням двомірного спектру Фур'є для визначення необхідних параметрів. Також спектральний аналіз було використано у комплексі з іншими математичними засобами з метою виявлення просторових зв'язків морфометрії рельєфу з геологічною структурою (Мкртчян, Чупило, 2008.).

Одним із актуальних напрямків досліджень у сфері спорту стало, зокрема, визначення обсягу річних тренувальних навантажень на різних етапах багаторічного тренування лижників, а також обґрунтування проведення тренувань у різних кліматичних умовах та на територіях, що характеризуються різним ступенем складності з метою регулювання інтенсивності навантаження (Бурла, 2007).

Постановка завдання. При складанні проектів трас для змагань, а особливо тренувань, потрібно оцінити пересіченість рельєфу місцевості і таким чином задати рівень фізичного навантаження для спортсменів. Отже, необхідно розробити методику визначення міри пересіченості рельєфу для бігових лижних трас. Використання вказаного чинника дозволить визначити відповідність трас до вимог інструкції, а також врегулювати фізичні навантаження.

Виклад основного матеріалу. Для практичного дослідження було вибрано дві п'ятикілометрові бігові траси (рис.1). Траса №1 розташована на північний захід від смт. Ворохта (П'ятихатки) Івано-Франківської області; траса №2 прокладена на північно-західних околицях м. Івано-Франківськ (Дем'янів Лаз). Перша траса використовувалася для проведення змагань державного рівня, друга – місцевого рівня, а також для проведення тренувань. Обидві траси закладені із дотриманням основних вимог щодо бігових трас.

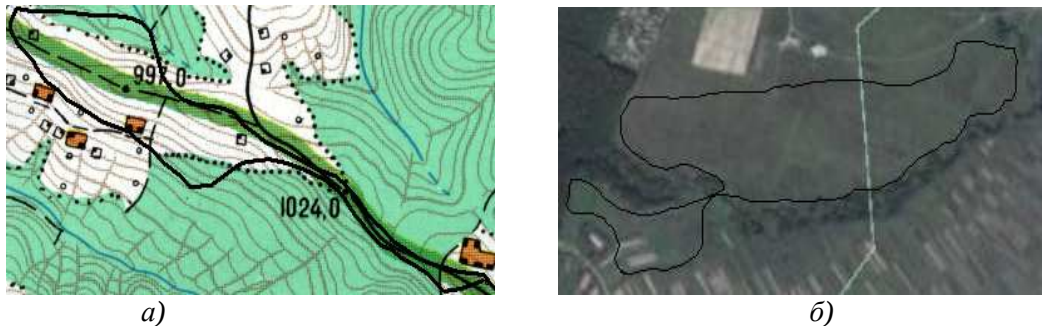


Рис. 1. Схематичне зображення трас: а) траса №1, б) траса №2

На першому етапі підготовлено картографічні матеріали на смт. Ворохта та м. Івано-Франківськ, відскановано відповідні карти масштабу 1:50000, з висотою січення рельєфу 10м. Схеми трас надано Івано-Франківським коледжем фізичного виховання.

З метою створення ЦМР та візуалізації оцифровано рельєф за отриманими растрами, використовуючи програмний пакет Surfer 8.00. На дві ділянки створено регулярну сітку grid з кроком 100м. Візуалізація трас показана на рисунку 2. На основі отриманих grid- файлів, а також оцифрованих схем трас, побудовано поздовжні профілі трас (рис. 3). Для досліджень використано частини обох трас довжиною 4500м в плані.

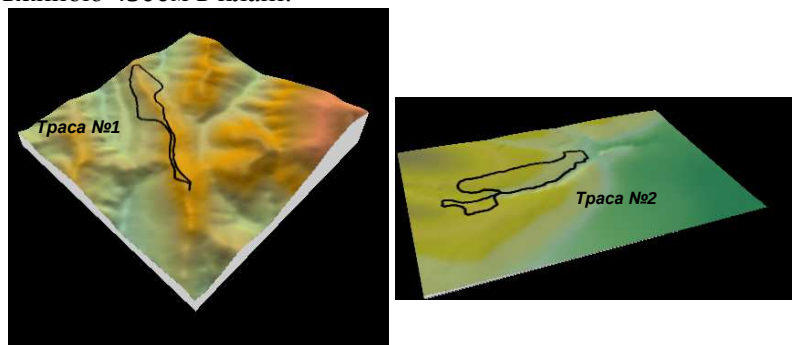


Рис. 2. Візуальне зображення трас

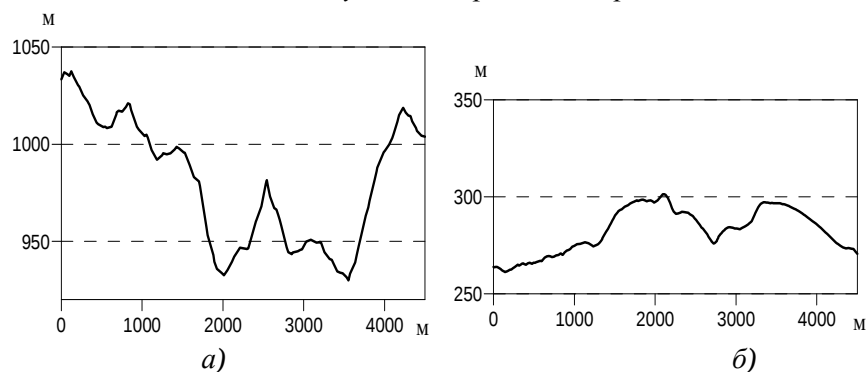


Рис. 3. Поздовжні профілі трас: а) траса №1, б) траса №2

Для наступного застосування спектрального аналізу потрібно дискретизувати безперервний випадковий сигнал, яким можна вважати профіль траси (Рудий та ін., 2007). Знайдено значення

висот точок на профілях з кроком 100 м у відповідності до величини квадрата сітки grid. В результаті отримано два набори даних по 46 точок в кожному наборі. Згідно теорії спектрального аналізу (Бендат, Пирсол, 1974) вибірка даних повинна відповідати умовам стаціонарності. Тому вихідні дані перед аналізом потрібно перетворити шляхом вилучення тренду із ряду, а також зменшенням кожного значення ряду на середнє арифметичне, яке по суті є циклом нульової частоти, а отже, константою. Всі обчислення виконані в середовищі програми Statistica 7.0. Кінцева формула для проведення розрахунків спектральної щільності, використовуючи дискретні значення профільної лінії (Рудий та ін., 2007):

$$s_d(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} s_d(n\Delta t) e^{-ian\Delta t}, \quad (1)$$

де $s_d(\omega)$ - спектральна щільність, $s_d(n\Delta t)$ - дискретні значення профільної лінії, N - кількість точок профільної лінії, Δt - інтервал дискретизації в часовій області, ω - кутова частота.

Розраховано значення коефіцієнтів періодограми та спектральної щільності (в таблиці 1 подано розрахунки для перших 40 значень частоти) для 250 точок із частотним інтервалом $\Delta \nu = 0.002 \text{ Гц}$. За результатами розрахунків на рисунках 4а, 4б подано графіки спектральної щільності S як функції частоти f (Бендат, Пирсол, 1974).

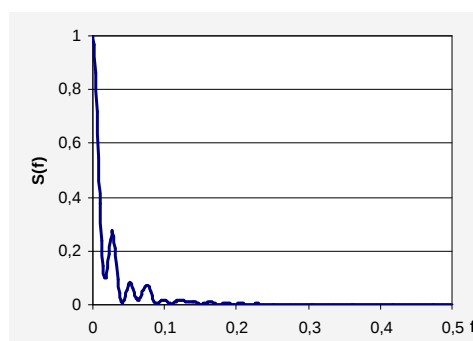
Відомо, що чим вища міра пересіченості рельєфу, тим пологіший графік спектральної щільності. Отримані результати відповідають цьому твердженню. Як видно з рисунка 4в, значення спектральної щільності зменшується на один порядок на частоті $f = 0.054 \text{ Гц}$ для траси №1 та відповідно на частоті $f = 0.035 \text{ Гц}$ для траси №2. Вказані значення частот визначено по наближених кривих спектральної щільності, отриманих в результаті використання вагової функції Хеммінга з шириною вікна згладжування 29. Частота, на якій значення спектральної щільності зменшується в 10 раз, може бути визначена як числовий критерій пересіченості рельєфу.

Таблиця 1
Результати обчислення спектральних характеристик
для трас №1 та №2

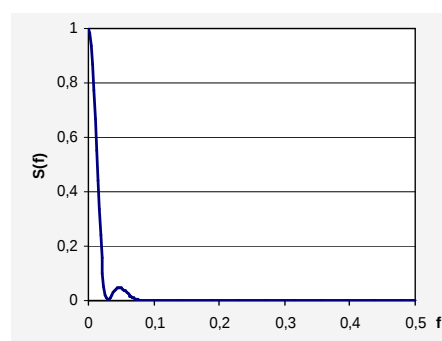
№	Частота	Період	Періодограма		Спектр. щільність	
			№1	№2	№1	№2
0	0,000		19574,47	3445,15	19029,26	3403,69
1	0,002	500,000	18852,69	3390,75	18354,95	3350,92
2	0,004	250,000	16813,45	3231,85	16448,19	3196,73
3	0,006	166,667	13808,64	2980,85	13633,39	2953,00
4	0,008	125,000	10342,77	2656,87	10376,17	2638,05
5	0,010	100,000	6969,59	2283,66	7188,79	2274,69
6	0,012	83,333	4181,69	1887,12	4528,80	1887,82
7	0,014	71,429	2317,47	1492,66	2713,48	1501,96
8	0,016	62,500	1505,07	1122,86	1867,74	1138,98
9	0,018	55,556	1654,04	795,60	1915,57	816,33
10	0,020	50,000	2494,02	522,93	2614,54	545,92
11	0,022	45,455	3649,21	310,70	3623,12	333,71
12	0,024	41,667	4729,71	158,86	4583,90	180,02
13	0,026	38,462	5417,91	62,48	5202,76	80,44
14	0,028	35,714	5530,79	13,07	5306,48	27,04
15	0,030	33,333	5045,77	0,10	4867,54	9,86
16	0,032	31,250	4087,18	12,49	3992,97	18,29
17	0,034	29,412	2879,92	39,85	2883,31	42,28
18	0,036	27,778	1684,38	73,35	1773,93	73,20
19	0,038	26,316	729,83	106,25	874,59	104,36

продовження таблиці 1

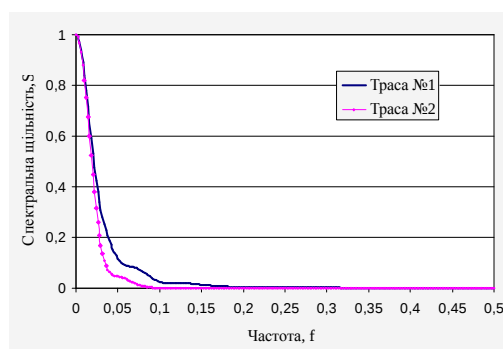
20	0,040	25,000	162,45	134,05	321,65	131,20
21	0,042	23,810	19,50	154,27	153,70	151,10
22	0,044	22,727	233,10	166,12	313,92	163,10
23	0,046	21,739	659,98	170,05	676,05	167,46
24	0,048	20,833	1127,02	167,20	1084,96	165,18
26	0,052	19,231	1618,13	147,23	1529,90	146,31
27	0,054	18,519	1520,43	133,01	1450,39	132,53
28	0,056	17,857	1235,60	117,57	1202,77	117,43
29	0,058	17,241	863,66	101,80	874,55	101,92
30	0,060	16,667	521,73	86,36	569,84	86,68
31	0,062	16,129	309,23	71,76	378,01	72,22
32	0,064	15,625	281,13	58,36	349,48	58,92
33	0,066	15,152	435,89	46,43	484,36	47,06
34	0,068	14,706	720,02	36,14	736,01	36,79
35	0,070	14,286	1046,49	27,54	1027,19	28,19
36	0,072	13,889	1320,96	20,63	1273,32	21,23
37	0,074	13,514	1467,85	15,29	1405,89	15,82
38	0,076	13,158	1449,19	11,32	1389,66	11,75
39	0,078	12,821	1271,81	8,48	1229,41	8,81
40	0,080	12,500	981,79	6,49	965,43	6,72



а)



б)



в)

Рис. 4. Графік спектральної щільності: а) для траси №1, б) для траси №2, в) згладжений графік для траси №1 та №2

Якщо проаналізувати графік спектральної щільності траси №1 (рис. 4а), то можна виділити три піки на частотах 0,028; 0,052; 0,074 Гц. Це свідчить про те, що певні форми рельєфу на місцевості повторюються відповідно через 35,7; 19,2; 13,5м. На графіку спектральної щільності для

траси №2 спостерігається один пік – на частоті 0,046 Гц, тобто періодичність відтворення форм рельєфу – 21,7м.

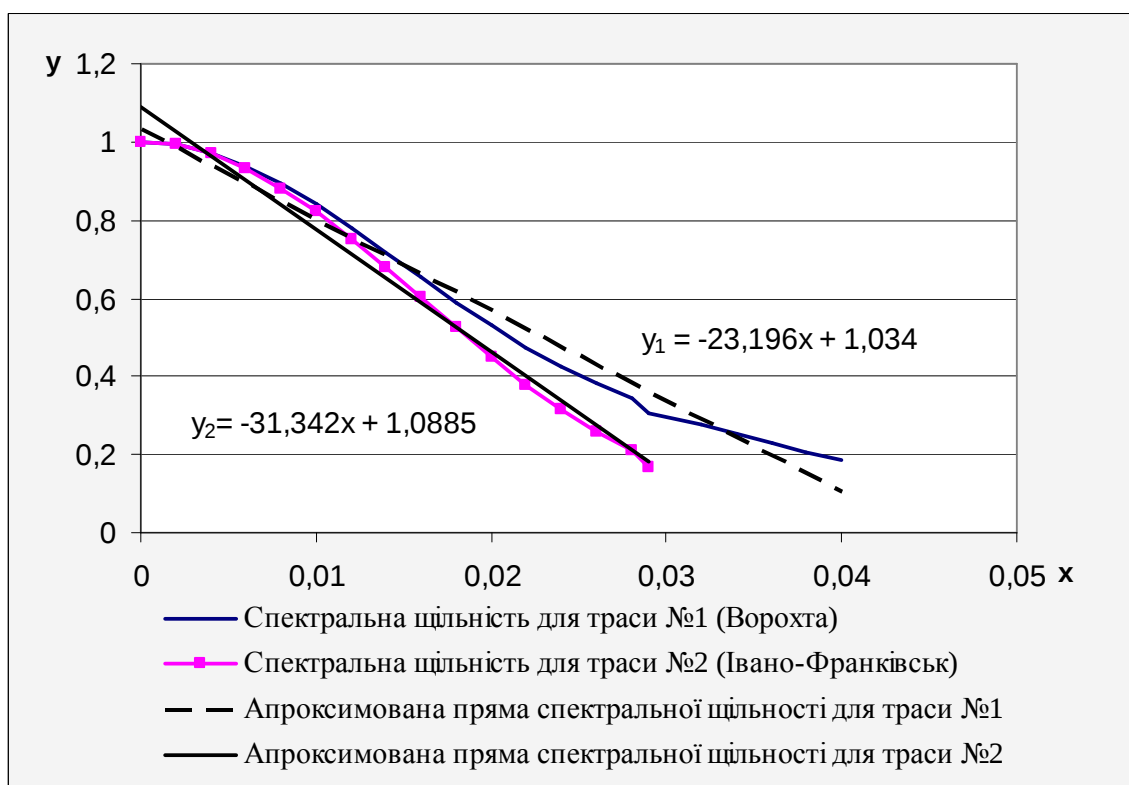


Рис. 5. Наближення графіків спектральних щільностей прямими та виведення їх рівнянь

На наступному етапі були апроксимовані основні частини згладжених графіків спектральної щільності обох трас прямими (рис.5) та визначені рівняння, що їх задають. Класичне рівняння прямої, відоме з аналітичної геометрії:

$$y = kx + b ,$$

$$k = \operatorname{tg} \alpha .$$
(2)

Коефіцієнт k при змінній x визначає кут нахилу прямої до осі абсцис. Тому можна вважати, що саме цей коефіцієнт із рівняння апроксимованої прямої характеризує міру спадання графіка спектральної щільності, а, отже, і ступінь пересіченості рельєфу. Апроксимовані прямі спектральної щільності для трас, а також рівняння, що їх задають, визначені в програмі Excel. Для траси №1 та траси №2 отримали наступні рівняння відповідно:

$$y_1 = -23.196x + 1.034,$$

$$y_2 = -31.342x + 1.0885.$$
(3)

Висновки. Отримані результати дають можливість виконати оцінку трас для лижних перегонів. За спектральними характеристиками можна визначити ступінь складності траси.

Частоту, на якій значення спектральної щільності зменшується на порядок, можна вважати першим числовим критерієм пересіченості рельєфу. Значення спектральної щільності зменшується на один порядок на частоті $f = 0.054 \text{ Гц}$ для траси №1, а для траси №2 відповідно на частоті $f = 0.035 \text{ Гц}$.

Другим числовим параметром може бути коефіцієнт k з рівняння апроксимованої прямої спектральної щільності. Зокрема для траси №1 (Ворохта) коефіцієнт k становить -23,196, для траси №2 (Івано-Франківськ) k дорівнює -31,342.

Отже, більша міра пересіченості рельєфу і відповідно складність траси для лижних перегонів №1 у смт. Ворохта у порівнянні з трасою №2 в м. Івано-Франківську підтверджується числовими параметрами.

Приведену методику можна також застосовувати при проектуванні нових трас.

1.Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974. – 464 с. 2.Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди [Електронний ресурс]: ДБН В.2.2-13-2003. Затверджено Наказом Держбуду України № 184 від 10 листопада 2003. 3.Бурла А. Обсяг тренувальних навантажень у річному циклі тренувань юних біатлоністів [Текст] / Антон Бурла, Артем Бурла, Анатолій Кудренко, Юрій Лянной // Молода спортивна наука України. – Київ, 2007. – С. 72-77. 4.Котлов И.П. Структура рельефа Русской равнины как ландшафтообразующего фактора [Текст] /И.П. Котлов, Ю.Г. Пузаченко // Ландшафтное планирование: общие основания, методология, технология. Тр. Междунар. школы-конф. “ Ландшафтное планирование ”. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – С.166–172. 5.Мкртчян А.С. Геоінформаційний аналіз просторових зв'язків морфометрії рельєфу з геологічною структурою (на прикладі західної частини Вододільно-Верховинських і Полонинських Карпат) [Текст] / А.С. Мкртчян, Г.Р. Чупило // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики : збірн. наук. праць. – Київ, 2008. – С. 250–261. 6.Пузаченко Ю.Г. Анализ иерархической организации рельефа [Текст] / Ю.Г. Пузаченко, И.А. Онуфреня, Г.М. Алещенко // Известия РАН, сер. Географ. №4. 2002. – С. 29-38. 7.Рудий Р. Числові критерії складності гірськолижних трас [Текст] / Р. Рудий, О. Кравець, Я. Кравець, О.Бахмат // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Л., 2007. – С. 162-166. 8.FIS Cross-Country Homologation Manual. 4th Edition, May 2008. International Ski Federation.