

УДК 539.3

**ВІДТВОРЕННЯ ФУНКЦІЇ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В ПРИЗЕМНОМУ
ШАРІ АТМОСФЕРИ РЕГІОНУ****Богдан Гера***Львівський факультет Дніпропетровського державного
технічного університету залізничного транспорту*

Важливі науково-прикладні задачі (поширення забруднень в атмосфері, оцінка вітроенергетичного потенціалу території та ін.) для розв'язання потребують знання функції швидкості вітру в приземному шарі атмосфери. Головним джерелом отримання метеорологічних параметрів у цьому шарі є метеорологічні станції та пости. Поширення їхніх даних з точок вимірювань на решту території ускладнене тим, що у примежовому шарі атмосфери, особливо його приземній частині, великий вплив на рух повітря має його взаємодія з неоднорідною підстильною поверхнею. Швидкість і напрям вітру на сусідніх метеорологічних станціях можуть суттєво відрізнятися, особливо, якщо ці станції розміщені в різних ландшафтних зонах. Тому у разі відтворення функції швидкості вітру треба користуватися критеріями, які враховують фізичні властивості метеорологічних полів, зокрема залежність швидкості вітру від характеристик підстильної поверхні. Методика інтерполяції профілю середньої швидкості приземного вітру з урахуванням його залежності від шорсткості поверхні землі викладена в [1], а в праці [2] її поширено на модель температурно стратифікованого примежового шару. Ми розглянемо розвиток математичної моделі відновлення та методики обчислення функції швидкості приземного вітру в регіональному масштабі.

Проаналізуємо задачу відтворення територіального розподілу швидкості вітру в приземному шарі атмосфери, використовуючи дані з наявної мережі метеорологічних станцій та картографічної інформації про характеристики динамічно неоднорідної підстильної поверхні.

Уведемо в плані розглядуваного регіону, що займає двовимірну область D , систему координат xOy і позначимо точками (x_n, y_n) $n = \overline{1, N}$ місця розташування метеорологічних станцій. За вимірюваннями, які проводять на метеорологічних станціях, для кожної з них матимемо значення метеорологічних параметрів, у тому числі швидкості вітру та його напрямку на висоті флюгера. Наше завдання полягає у відтворенні (об'єктивному аналізі) векторної функції швидкості вітру в приземному шарі атмосфери області D залежно від горизонтальних координат x, y та висоти z , якщо відомі значення її компонент у точках нерегулярної сітки (x_n, y_n) .

Підстильна поверхня в області, над якою шукатимемо розподіл швидкості вітру, вважаємо неоднорідною. Це приводить до змін швидкості і напрямку вітру. Проте зі зростанням висоти вихори турбулентності, викликані взаємодією потоку, що набігає з поверхнею Землі, слабшають і на верхній межі примежового шару напруження турбулентного тертя, що суттєво впливають на рух приземного повітря, становлять близько 1% від їхніх

приземних значень. Це дає змогу під час розв'язування багатьох задач нехтувати впливом поверхні на рух вільної атмосфери і користуватися моделлю геострофічного вітру. Отже, якщо за значеннями компонент швидкості приземного вітру отримати складові геострофічного вітру на рівні межі прилежого шару, тобто на висоті $z = H$, то швидкість вітру на цьому рівні може відновлюватись з узгодженням її компонент у рамках балансових співвідношень вільної атмосфери, що значно спрощує задачу.

Розрахункова схема задачі відновлення має такі кроки:

- а) отримання значень швидкості геострофічного вітру у точках вимірювань;
- б) інтерполяцію та узгодження з рівнянням нерозривності вектора швидкості вітру на рівні прилежого шару в регіоні;
- в) перерахунок швидкості вітру у приземний шар з урахуванням шорсткості підстильної поверхні.

На першому кроці у разі обчислення зміни швидкості вітру з висотою враховують закономірності руху повітря у прилежому шарі, що випливають з теорії подібності. Маючи картографічну інформацію, дані про швидкість вітру, тиск та температуру в околі метеостанцій, визначаємо для кожної з них внутрішні (динамічну швидкість u_* , та параметр, що визначає температурну стратифікацію атмосфери μ), а також зовнішні параметри прилежого шару (шорсткість поверхні z_0 , числа Ro і S). Тоді в рамках наближення, що дає теорія подібності, отримуємо швидкість геострофічного вітру $|G_n|$ і кут α_{0n} – відхилення його напрямку від приземного.

Отримані компоненти швидкості на верхній межі прилежого шару будемо ототожнювати з опосередкованими даними вимірювань швидкості в точках з координатами (x_n, y_n, H) . Їх використовуватимемо на другому кроці розрахункової схеми для відтворення функцій компонент швидкості $U(x, y)$, $V(x, y)$ в області D , які відповідають висоті $z = H$. Таку задачу можна ставити як задачу варіаційного числення в такому формулюванні: знайти компоненти швидкості $U(x, y)$, $V(x, y)$, що задовольняють рівняння нерозривності та мінімізують функціонал середньоквадратичного відхилення шуканих компонент функції швидкості геострофічного вітру від компонент, отриманих під час об'єктивного аналізу поля швидкості на основі спостережуваних значень G_{nx} , G_{ny} у точках (x_n, y_n) , $n = \overline{1, N}$.

Відтворену таким чином функцію швидкості вітру $\mathbf{V} = (U, V)$, відомості про покриття земної поверхні та рельєф місцевості далі використовують для знаходження параметрів прилежого шару атмосфери та профілю швидкості вітру для довільної точки розглядуваної області D .

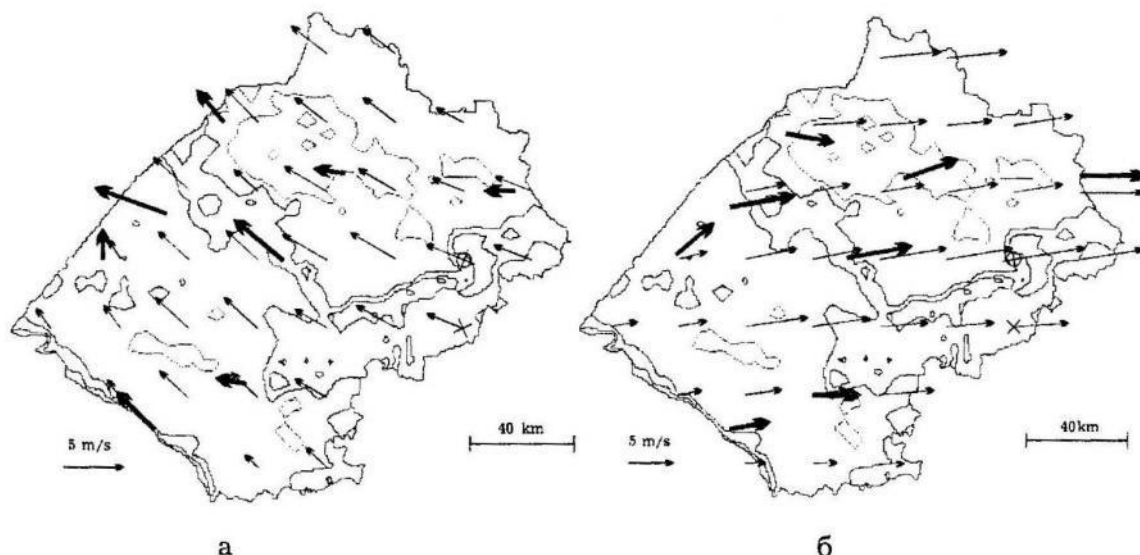
Зі збільшенням висоти z від поверхні землі зростає і площа ділянки, шорсткість з якої впливає на потік повітря. Позначимо для довільної точки (x, y) через D_H область, покриття поверхні якої впливає на швидкість вітру на висоті H . Нехай для довільної точки D_H складається з підобластей, що мають однорідну підстильну поверхню. Шорсткість поверхні j однорідної ділянки території D_H позначимо z_{0j} , а відповідну їй динамічну швидкість – u_{*j} . Тоді локальні турбулентні напруження визначимо за формулою

$\tau_{0j} = \rho u_{*j}^2$, а усереднене значення турбулентних напружень тертя запишемо у вигляді

$$\tau_0 = \sum_{j=1}^J \chi^{(j)} \tau_{0j} \equiv \rho \sum_{j=1}^J \chi^{(j)} u_{*j}^2.$$

Тут коефіцієнти $\chi^{(j)}$ ($\sum_{j=1}^J \chi^{(j)} = 1$) пропорційні до частини території з шорсткістю z_{0j} , що потрапила в D_H . Узагальнена динамічна швидкість, що відповідає напруженням τ_0

$$u_* = \left(\sum_{j=1}^J \chi^{(j)} u_{*j}^2 \right)^{1/2}.$$



Знаючи характер зміни функції швидкості вітру з висотою, знаходимо узагальнену шорсткість поверхні для області D_H . Зокрема, при стратифікації прилежого шару, близькій до нейтральної, коли має місце логарифмічний профіль швидкості вітру у приземному шарі, отримаємо

$$z_0 = h \exp \left[- \left(\sum_{j=1}^J \chi^{(j)} \ln^{-2} \left(\frac{h}{z_{0j}} \right) \right)^{1/2} \right].$$

Рельєф місцевості враховуємо шляхом введення макрошорсткості z_{0H} , значення якої залежить від перепадів висот. Шорсткість мікронеоднорідностей z_0 і макрошорсткість z_{0H} використовуємо для розрахунків турбулентних напружень, за якими отримуємо динамічну швидкість, ефективну шорсткість Z_0 , значення і напрям швидкості вітру.

Для числових розрахунків та досліджень використовували синоптичні та картографічні дані Львівської та сусідніх областей. Досліджували вплив

урахування вимірювань кожної метеостанції на відновлення значень швидкості вітру в області. Обчислено вітроенергетичний потенціал у деяких її точках. Для ілюстрації результатів на рисунку показано відтворені значення швидкості вітру у рівнинній частині Львівської області на висоті 10 м у точках регулярної сітки (тонкі стрілки) за даними про швидкість на метеостанціях (товсті стрілки) при південно-східному (а) та західному (б) потоках. Відображено також лінії рівня рельєфу місцевості. Врахування рельєфу на відновлення швидкості вітру видно у разі порівняння векторів, отриманих у точках, позначених $\times$ та $\otimes$, які є недалеко, однак у різних ландшафтних зонах.

1. Джолов Г., Георгиева Е., Йорданов Д. Отчитане динимиката на планетарния граничен слой при интерполацията на приземния вятър // Българско геофизично списание. – 1988. – Т. 14, № 2. – С. 3–11.
2. Wieringa J. Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed average // Quart. J. R. Met. Soc. – 1986. – Vol. 112. – P. 867–880.

THE REPRODUCTION OF WIND VELOCITY FUNCTION IN A NEAR THE GROUND LAYER OF ATMOSPHERE OF A REGION

Bogdan Gera

*Lviv faculty of the Dnipropetrovsk state technical university
of a railway transportation*

In the paper the mathematical model of the problem about reproduction near the ground wind velocity function is constructed. The possibility of obtaining correct results for the different landscape zones when the measuring are only in some parts of a territory is shown.

Стаття надійшла до редколегії 24.11.1999