

УДК 525.7

Ю.А. Олійник¹, В.А. Бородавка¹, В.Ф. Слободянюк²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРІВ ВИПАДКОВОЇ ФУНКЦІЇ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

Пропонується методика визначення характеристик швидкості вітру з урахуванням показників, які необхідно заздалегідь задавати для об'єктивної оцінки випадкових параметрів швидкості вітру.

середня швидкість вітру, пульсації швидкості вітру, пориви вітру, прискорення вітру

Вступ

При розрахунках вітрового навантаження, інженер використовує характеристики випадкової швидкості вітру. Але він не знає, як ці характеристики знаходяться і тому не можемо впевнено сказати, наскільки вірно вони відповідають інженерним розрахункам. Необхідно знати, як знаходяться характеристики швидкості вітру та окремо параметрів швидкості вітру, щоб бути впевненим, що ми вірно з математичної та технічної точки зору будемо знаходити характеристики випадкової сили вітру.

Постановка завдання. Для аналізу характеристик параметрів випадкової функції швидкості вітру, необхідно розробити методику обробки випадкових даних швидкості вітру.

Мета статті. Удосконалити математичну модель визначення характеристики випадкової швидкості вітру.

Основна частина

При визначенні сили вітру, інженер використовує середню швидкість вітру, не думаючи, як вона знаходилась і наскільки вірно її значення. Решта характеристик швидкості вітру (наприклад значення пульсацій вітру, поривів вітру) знаходяться з використанням середньої швидкості вітру, тому визначенню середньої швидкості вітру необхідно приділяти велику увагу.

Значення середньої швидкості вітру V розглядається в технічних розрахунках як математичне чекання значення швидкості вітру v_v ($V = M[v_v]$) [1]. Вектор швидкості вітру \vec{V} співпадає по напрямку з вектором горизонтальної складової швидкості вітру \vec{v}_x [1, 2]. Горизонтальна складова швидкості вітру \vec{v}_x ($v_x \geq 0$, м/с) – це векторна величина, що характеризує безперервне в часі зростання чи убавання величини швидкості вітру рівнобіжно площині поверхні Землі [1, 2].

Взагалі, точніше було б говорити о математич-

ному чеканні горизонтальної, вертикальної та бокової складової вектора швидкості вітру. Але, так як горизонтальна складова швидкості вітру найбільша, то в основному вивчалась тільки вона і всі дані відносно значень V мають на увазі, що це середнє значення величини v_x ($V = M[v_x] \approx M[v_v]$).

Вертикальна та бокової складові швидкості вітру вивчаються і використовуються в меншому обсязі при технічних розрахунках. При використанні значення V , інженер приймає, що вектор \vec{V} рівнобіжний площині поверхні Землі і направлений так, щоб сила вітру максимально небезпечно діяла на конструкцію.

При великій чисельності визначених скалярних значень v_x (від ста та більше), будемо зчитати, що статистичні значення v_x прагнуть до своїх ймовірних значень, а значить

$$V = M^*[v_x] \approx M[v_x].$$

Припустимо, у нас є дані величини v_x протягом часу τ_n . Величина v_x визначалася через інтервали часу $\Delta\tau = \tau_{i+1} - \tau_i$ ($\tau_i < \tau_n$) і кожному значенню τ_i відповідає значення v_{xi} (рис. 1, а).

Для V запишемо [3]:

$$V = \frac{\sum_{i=0}^n v_{xi}}{n}. \quad (1)$$

Для знаходження приблизної площини під кривою, яка проходить через крапки значень v_{xi} зложимо прямокутники (см. приклад прямокутників біля значень $0, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_n$ на рис. 1, б):

$$V = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} v_{xi} \Delta\tau}{\tau_n} = \frac{\Delta\tau \sum_{i=0}^{n-1} v_{xi}}{\tau_n} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} v_{xi}}{\frac{\tau_n}{\Delta\tau}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} v_{xi}}{n-1},$$

тобто ми отримали формулу (1) без урахування величини v_{xn} .

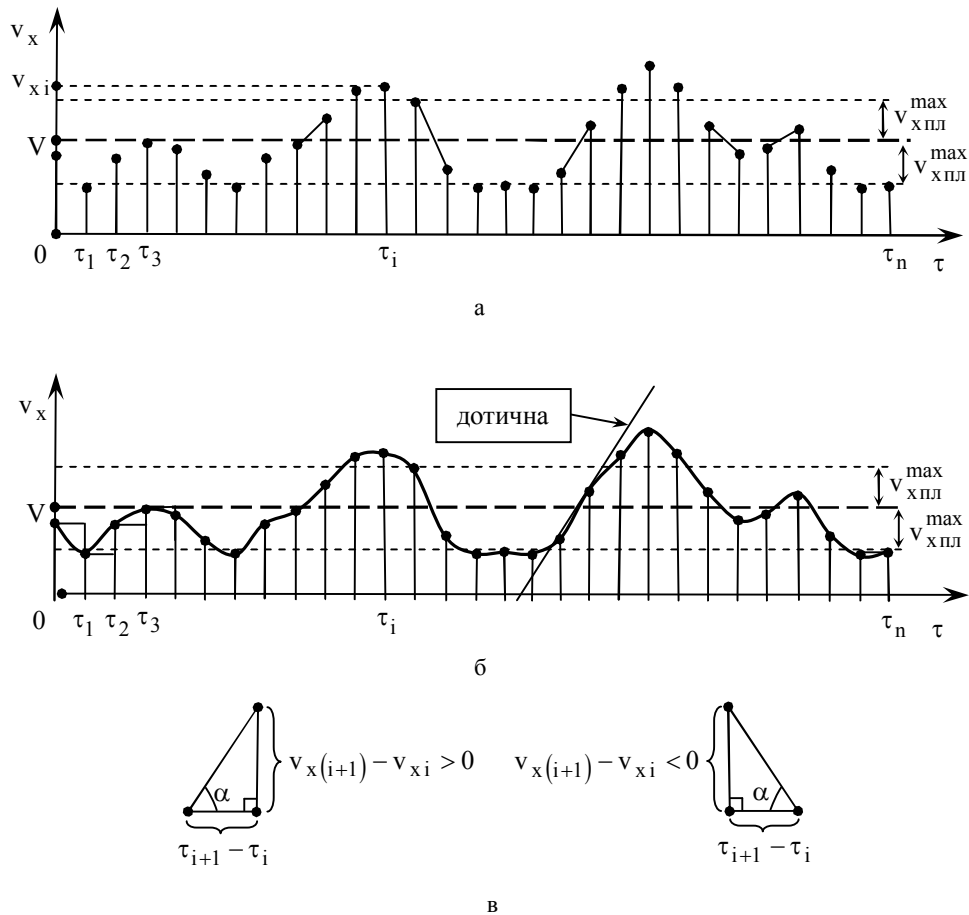


Рис. 1. Значення швидкості вітру

Прийmemo, що знаходити V будемо по формулі (1), щоб урахувати значення v_{x_n} .

Але виникає питання: при яких умовах можливо використовувати формулу (1)? При великому значенні $\Delta\tau$ значення V буде не дуже точним, а площа під кривою (рис. 1, б) при складенні прямокутників буде мати велику похибку. З цього слідує, що необхідно задати умову використання формули (1).

Цією умовою може бути максимальне значення $\Delta\tau$, рівне $\Delta\tau_{\max}$, при якому можна використовувати формулу (1). При $0 < \Delta\tau \leq \Delta\tau_{\max}$, можна користуватися формулою (1), при $\Delta\tau > \Delta\tau_{\max}$, використання формули (1) неможливо і нерационально.

Можливо, що значення $\tau_{i+1} - \tau_i$ неоднакові, тоді можна знайти $\Delta\tau$ як середнє значення:

$$\Delta\tau = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (\tau_{i+1} - \tau_i)}{n-1}.$$

Значення $\Delta\tau_{\max}$ повинно бути задано в державному стандарті і не перевищувати декілька секунд. Наприклад $\Delta\tau_{\max} = 5 \text{ с}$.

При $\Delta\tau > \Delta\tau_{\max}$ знаходження V повинно вестися за допомогою методів інтерполяції, що неважко робити, використовуючи сучасні ЕОМ.

Для використання методів інтерполяції, розбиваємо значення v_{x_i} на k частини по 3 чи 4 крапки в кожному. Наприклад: перша частина: $(v_{x_0}; 0)$, $(v_{x_1}; \tau_1)$, $(v_{x_2}; \tau_2)$, друга частина: $(v_{x_2}; \tau_2)$, $(v_{x_3}; \tau_3)$, $(v_{x_4}; \tau_4)$, третя частина: $(v_{x_4}; \tau_4)$, $(v_{x_5}; \tau_5)$, $(v_{x_6}; \tau_6)$ і так далі. Для кожної частини створюємо інтерполяційну функцію другого чи третього порядку. В результаті отримаємо систему з числом функцій, рівним k . Для нашого прикладу інтерполяції через три крапки, запишемо:

$$S_1 = \begin{cases} f_1(\tau), \text{ при } 0 \leq \tau \leq \tau_2; \\ f_2(\tau), \text{ при } \tau_2 \leq \tau \leq \tau_4; \\ f_3(\tau), \text{ при } \tau_4 \leq \tau \leq \tau_6; \\ \dots \\ f_k(\tau), \text{ при } \tau_{n-2} \leq \tau \leq \tau_n. \end{cases}$$

Далі для кожної з k частин знаходимо площу під кривими функцій $f_i(\tau)$, тобто інтегруємо всі функції $f_i(\tau)$ по часу і отримаємо значення необхідних площин:

$$S_2 = \begin{cases} \int_0^{\tau_2} f_1(\tau) d\tau, \text{ при } 0 \leq \tau \leq \tau_2; \\ 0 \\ \int_{\tau_2}^{\tau_4} f_2(\tau) d\tau, \text{ при } \tau_2 \leq \tau \leq \tau_4; \\ \tau_2 \\ \int_{\tau_4}^{\tau_6} f_3(\tau) d\tau, \text{ при } \tau_4 \leq \tau \leq \tau_6; \\ \tau_4 \\ \dots\dots\dots \\ \int_{\tau_{n-2}}^{\tau_n} f_k(\tau) d\tau, \text{ при } \tau_{n-2} \leq \tau \leq \tau_n. \\ \tau_{n-2} \end{cases} \quad (2)$$

Сума інтегралів від функцій $f_i(\tau)$ (2) дає значення площини S_{v_x} під кривою значень v_{xi} (рис. 1, б). Далі для V запишемо

$$V = \frac{S_{v_x}}{\tau_n} \quad (3)$$

Порівнюючи формули (1) та (3) с геометричної точки зору можна сказати, що V – це відношення площі, яку створюють значення v_x над віссю часу (рис. 1, б) до часу їх спостереження.

Інтерполяція по декількох точках (трьом чи чотирьом) проводиться по причині спрощення визначення функцій $f_i(\tau)$ і далі спрощення знаходження інтегралів від інтерполяційних функцій.

Далі для v_x запишемо [1, 2]:

$$v_x = V + v_{хпл} + v_{хпр},$$

де $v_{хпл}$ – горизонтальні пульсації швидкості вітру, м/с; $v_{хпр}$ – амплітуда горизонтальних поривів вітру, м/с.

Величини $v_{хпл}$ $v_{хпр}$ можуть бути більш чи менш нуля.

Виникає питання: як для горизонтальної складової швидкості вітру відрізнити пульсації вітру від амплітуди поривів вітру? Тобто на рис. 1, а і на рис. 1, б необхідно вказати, де ділянки пульсації, а де ділянки поривів вітру.

Для рішення цього питання будемо діяти поетапно. Перший етап - це призначення максимальної величини $v_{хпл}$, рівної $v_{хпл}^{max}$. Всі значення модуля $|v_x|$, більші ніж величина

$$|v_x| = V + |v_{хпл}^{max}|$$

відносяться до поривів вітру, а значення $|v_x|$ між V та $V + |v_{хпл}^{max}|$ відносяться до пульсацій вітру (рис. 1, а, б).

Величина $v_{хпл}^{max}$ повинна мати значення, яке погоджується з величиною V , тобто складати від V деякий процент $N_{хпл}$:

$$v_{хпл}^{max} = \frac{N_{хпл}}{100} V.$$

Значення $N_{хпл}$ повинно задаватися державними стандартами і не може перевищувати 100 %. Наприклад $N_{хпл} = 30\%$.

Другий етап – це призначення початку та кінця пульсацій та поривів. В загалі всі значення v_x діляться на три відрізки: $v_x = V + v_{хпл}$, коли нема пориву вітру і $v_x = V + v_{хпр}$, коли порив вітру відраховується зі значення $v_x = V$, $v_x = V + v_{хпл} + v_{хпр}$, коли порив вітру відраховується зі значення $v_x = V + v_{хпл}$.

Знайдемо значення часу τ_V , при яких $v_x = V$. При аналізі v_x , коли $0 < \Delta\tau \leq \Delta\tau_{max}$, з'єднуємо крапки, які створюють відрізки, перетинаючи значення V (рис. 1, а). Далі знаходимо кут нахилу α цих відрізків к осі 0τ (рис. 1, в):

$$\text{tg } \alpha = \frac{|v_{x(i+1)} - v_{xi}|}{\tau_{i+1} - \tau_i};$$

$$\alpha = \text{arctg} \left(\frac{|v_{x(i+1)} - v_{xi}|}{\tau_{i+1} - \tau_i} \right).$$

При зростанні v_x і перетинанні значення V (рис. 2) для τ_V запишемо:

$$\tau_V = \tau_i + (V - v_{xi}) \text{tg } \alpha,$$

а при убунанні v_x і перетинанні значення V (рис. 2), отримаємо:

$$\tau_V = \tau_i + (v_{xi} - V) \text{tg } \alpha.$$

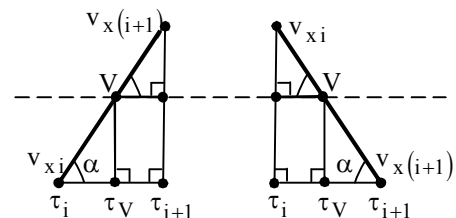


Рис. 2. Параметри вітру для визначення τ_V

При знаходженні τ_V для функцій інтерполяції $f_i(\tau)$ ($\Delta\tau > \Delta\tau_{max}$), які перетинають значення V , рішаємо рівняння $f_i(\tau) = V$ відносно τ .

Для визначення початку і кінцю горизонтального пориву вітру, коли $v_x = V + v_{хпл}$ (порив починається с пульсації), необхідно розглянути горизонтальне прискорення вітру.

Горизонтальне прискорення вітру a_x – це відношення зміни горизонтальної швидкості вітру к часу цієї зміни:

$$a_x = \frac{v_x(i+1) - v_x i}{\tau_{i+1} - \tau_i}$$

Для функцій інтерполяції $f_i(\tau)$ запишемо:

$$a_x(\tau) = \frac{f_i(\tau)}{d\tau}$$

Далі призначимо максимальну величину модулю a_x , рівну $a_{хпл}^{max}$, і задамо умову, що при

$$|a_x| \leq a_{хпл}^{max} \quad (-a_{хпл}^{max} \leq a_x \leq a_{хпл}^{max})$$

діють пульсації вітру, а при

$$|a_x| > a_{хпл}^{max}$$

діють пориви вітру.

Величина $a_{хпл}^{max}$ повинна надаватися державним стандартом. Наприклад, $a_{хпл}^{max} = 1 \text{ м/с}^2$, а так як $a_x = \text{tg} \alpha$, то $\text{tg} \alpha = 1$ і $\alpha = 45^\circ$. При $\alpha > 45^\circ$ виникає порив вітру (рис. 3).

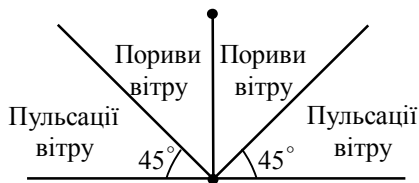


Рис. 3. Области пульсацій та поривів вітру

При аналізуванні пульсацій та поривів вітру можливо користуватись як значенням a_x , так і значенням кута α .

Наприклад, для кожних відрізків часу $\Delta\tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$ можна скласти ряд значень прискорень a_x , що показано в табл. 1 $\Delta\tau_i$

Таблиця 1

Значення величини a_x

	$\Delta\tau_0$	$\Delta\tau_1$	$\Delta\tau_2$	$\Delta\tau_3$	$\Delta\tau_4$	$\Delta\tau_5$...	$\Delta\tau_{n-1}$
a_x	-1,2	0,9	0,7	-0,2	-0,4	-0,3	...	0,1

Для $a_x(\tau) = f_i(\tau)/d\tau$ можна створити табл. 1, задаючи час через задані дослідником відрізки $\Delta\tau$. При цьому α – це кут нахилу дотичної к кривій $f_i(\tau)$ в точці, де визначено значення a_x (рис. 1, б).

Після визначення τ_V и a_x , можна визначити кордони появи і зникнення поривів вітру. Це надасть можливість в майбутньому детальніше вивчити параметри пульсацій та поривів вітру, в тому числі їх часові параметри.

Запропонована обробка даних швидкості вітру може далі доповнюватись і вдосконалюватись, так як пульсації вітру і особливо пориви вітру повинні вивчатись дуже ретельно. Крім дії сили вітру на міцні властивості конструкцій та систем, можлива дія поривів і пульсацій вітру на процеси коливань пружних систем та елементів.

Висновки

Розроблено методику обробки статистичних даних швидкості вітру для визначення характеристик параметрів випадкової функції швидкості вітру. Методику показано для горизонтальної складової швидкості вітру, але вона може бути використана і для визначення характеристик параметрів вертикальної та бокової складової випадкової функції швидкості вітру.

Для аналізу параметрів горизонтальної складової швидкості вітру необхідно задати державними стандартами наступні величини:

- $\Delta\tau_{max}$ – максимальне значення часу між двома послідовними крапками заміру швидкості вітру (дозвіл на використання формули (1) при $\Delta\tau \leq \Delta\tau_{max}$), с;
- $N_{хпл}$ – процент значення пульсації від 100 % величини середньої швидкості вітру V ($N_{хпл} < 100$ %), %;
- $a_{хпл}^{max}$ – максимальне прискорення горизонтальних пульсацій швидкості вітру, м/с.

Список літератури

1. Прокопов В.А., Олейник Ю.А., Пугач В.В., Тихонов И.М. *Определение вероятности возникновения средней скорости ветра в заданном интервале значений // Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2006. – Вип. 6 (55). – С. 146-152.
2. Деменко М.П., Прокопов В.О., Олійник Ю.А. *Визначення чисельного значення та ймовірності виникнення максимальних швидкостей вітру з урахуванням поривів вітру // Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил.* – Х.: ОНДІ ЗС, 2006. – Вип. 2 (4). – С. 170-174.
3. Вентцель Е.С. *Теория вероятностей.* – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.

Надійшла до редколегії 10.04.2007

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.О. Прокопов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.