

## Розробка математичної моделі поширення звукових хвиль від вітроенергетичних установок з урахуванням інтерференції

*Пархоменко О.М., Харківська національна академія міського господарства*

Використання «зелених видів енергії» веде до скорочення витрат на паливо-енергетичні ресурси та зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище. Але аналіз літературних даних показує, що вітроенергетичні установки (ВЕУ) генерують підвищений рівень шуму та інфразвуку.

Досягти зниження підвищених рівней шуму можливо:

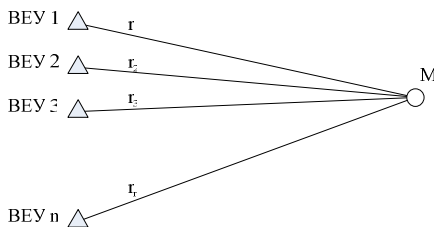
- в джерелі шуму (шляхом вдосконалення конструкцій обладнання та використанням малозумних матеріалів);
- на шляху розповсюдження (екрани, використання захисних кожухів);
- в самому приймачі – людина, навколишнє середовище (індивідуальні засоби захисту, акустичні екрани).

Для прогнозування рівня шуму та процесу моделювання забудови вітрополя, нами було розроблено математичну модель та відповідне програмне забезпечення.

Математична модель включає в себе декілька моделей: перша – враховує поширення звукової хвилі від ВЕУ до будь-якої точки простору, а також враховує фази коливання звукової хвилі від кожної ВЕУ (інтерференція); друга – допомагає знайти імовірний рівень шуму у будівлі з урахуванням послаблення звукової хвилі, яка проходить крізь стінку будівлі.

Розглянемо більш детально першу модель. Насамперед, хотілось би зазначити, що нам необхідно отримати математичну модель для звукової хвилі, яка поширюється у відкритому просторі від джерела шуму до приймача. Основною задачею математичної моделі є здатність спрощення етапів розв'язання математичних задач.

Умовно задамося, що вітроелектрична станція (ВЕС) складається з  $n$  ВЕУ. Вони знаходяться на різній відстані від точки  $M$  (рисунок).



Схематичне зображення розміщення ВЕУ відносно т. М

Напишемо математичну модель для знаходження розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ з урахуванням інтерференції звукової хвилі. Виходячи з рівняння хвилі

$$u = \frac{u_0}{r} \cos(\omega t - kr), \quad (1)$$

для кожної ВЕУ отримаємо:

$$u_1 = \frac{A_1}{r_1} \sin(\omega t - kr_1); \quad u_2 = \frac{A_2}{r_2} \sin(\omega t - kr_2);$$

$$u_3 = \frac{A_3}{r_3} \sin(\omega t - kr_3); \dots; \quad u_n = \frac{A_n}{r_n} \sin(\omega t - kr_n),$$

де  $A_1 = P_1 \cdot r_0, \dots, A_n = P_n \cdot r_0$  вимірний рівень звукового тиску, Па·м;  $r_0$  – мінімальна відстань випромінювання від джерела шуму (радіус вітроколеса) м;  $P_1 \dots P_n$  – рівень звукового тиску в Па, знаходиться з

$L = 20Lg(p_i / p_0)$ ,  $p_i = p_0 \cdot 10^{\frac{L}{20}}$ ;  $r_i$  – відстань від  $i$ -ої ВЕУ до приймача, м;  $\omega$  – кутова швидкість,  $\omega = 2\pi f$ , Гц;  $t$  – момент часу, с;  $k$  – хвильовий вектор,  $k = 2\pi / \lambda$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі  $\lambda = c / f$ ,  $c$  – швидкість розповсюдження звукової хвилі у повітрі,  $c = 344$  м/с;  $r_n$  – відстань від ВЕУ до приймача.

Запишемо рівняння інтерференції в т. М з урахуванням окремих хвиль:

$$u = \left[ \left( \frac{P_1 \cdot r_0}{r_1} \sin(\omega t - kr_1) \right) + \left( \frac{P_2 \cdot r_0}{r_2} \sin(\omega t - kr_2) \right) + \left( \frac{P_3 \cdot r_0}{r_3} \sin(\omega t - kr_3) \right) + \dots + \left( \frac{P_n \cdot r_0}{r_n} \sin(\omega t - kr_n) \right) \right].$$

Кінцевою задачею є створення універсальної моделі, за допомогою якої, незалежно від кількості ВЕУ можна було б оцінити інтерференцію в будь-якій точці простору. Запишемо формулу для деякої кількості ВЕУ ( $n$ ), встановлених на ВЕС:

$$u = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{A_i}{r_i} \sin(\omega t - kr_n) \right]. \quad (2)$$

Рівень шуму в т. М розрахуємо наступним чином:

$$L = 20Lg \frac{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{A_i}{r_i} (\omega t - kr_n) \right]}{p_0}. \quad (3)$$

Виходячи з вищенаведеного, найбільш ефективним рішенням зменшення рівня шуму від ВЕУ є зниження його величини як комплексного показника.

Розроблена модель дозволяє прогнозувати рівень шуму для ВЕС, що будуються та при реконструкції вже існуючих ВЕС. Своєчасне зменшення впливу шуму на працюючий персонал допоможе керівництву ВЕС скоротити витрати на медичне обслуговування персоналу та знизити вплив шуму на сельбищні території. Зниження рівня шуму дозволить більш широко використовувати ВЕУ.