

УДК 621.313.21.001.4(045)

<sup>1</sup>В. М. Синеглазов, д-р техн. наук, проф.,  
<sup>2</sup>В. В. Козирський, д-р техн. наук,  
<sup>3</sup>М. І. Трегуб, канд. техн. наук

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТЕЙ ВІТРОУСТАНОВОК ДЛЯ ПУСКУ ТА РОБОТИ ЗА МАЛИХ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ

<sup>1</sup>Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: [iesy@nau.edu.ua](mailto:iesy@nau.edu.ua)

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України,

<sup>3</sup>Білоцерківський національний аграрний університет

*Наведено теоретичні та практичні методи вдосконалення лопатей вітроустановок з горизонтальною віссю обертання для підвищення показників пуску та роботи в разі малих швидкостей вітру, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність їх використання в сільському господарстві.*

**Ключові слова:** вітроустановка, оптимальний пусковий кут установа, змінна геометрія лопаті, пусковий момент, енергоефективність.

**Актуальність.** У системі сталого енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва необхідно суттєво збільшити обсяги використання беземісійної поновлюваної енергії, зокрема вітрової, яка традиційно використовувалася в сільському господарстві протягом багатьох століть. Але для більшості сільських місцевостей України середньорічна швидкість вітру близька до 4 м/с [2], за якої відповідно висновків багатьох авторів, наприклад [1; 4], застосування вітроустановок вважається недоцільним. Однак багатовіковий досвід використання сільських вітряків на Україні спростовує такі однозначні висновки, бо порівняно з технічними можливостями минулих століть натеper є нові високотехнологічні матеріали, досконаліші механізми, електротехнічні та електронні засоби для забезпечення більш енергоефективного перетворення й використання вітрової енергії.

**Стан проблеми** Сучасні потужні вітроустановки (ВУ), виготовлені на базі високих технологій, досі не знаходять безпосереднього застосування у сільському господарстві в першу чергу через їх великомасштабність, високі ціни та низьку енергоефективність на більшості території України. Оскільки сільське господарство України вирізняється віддаленістю угідь від електромереж та невеликими потужностями технологічних енергоспоживачів, то перспективними також вважаються [2] автономні вітроенергетичні системи, які повинні мати високу енергоефективність у широкому діапазоні швидкостей вітру. Проте саме такі енергоефективні автономні вітроенергетичні комплекси сьогодні залишаються менш розвиненими, ніж потужні високотехнологічні ВУ, розраховані на використання вищих вітроенергетичних потенціалів. Сучасні теоретичні методи розрахунків оптимальних форм лопатей спрямовані на мінімізацію втрат від аеродинамічного гальмування потоку та кінцевих і профільних завихрень, але такі форми і просторова геометрія для пуску та роботи у разі малих швидкостей вітру виявляються далекими від оптимальних.

**Основний зміст роботи** Для оцінювання доцільності пуску і роботи за невеликих швидкостей вітру розглядався типовий [1] графік середньорічної швидкості вітру 4 м/с та сумісно побудований графік імовірної річної тривалості роботи  $T_p$  ВУ (рис. 1).

Якщо проаналізувати графік повторюваності миттєвих швидкостей вітру для місцевості (наприклад, Київської області) із середньорічною швидкістю 4 м/с [2] і одночасно зобразити розрахункову залежність річної роботи ВУ в разі різних пускових швидкостей (рис. 1), то стає очевидним, що мінімізація пускових швидкостей суттєво збільшує тривалість роботи.

Наприклад, коли пускова швидкість вітру  $v_n$  буде становити 1,5 м/с, то ВУ працюватиме близько 8100 год, або безперервно близько 338 діб на рік. За пускової швидкості вітру 4 м/с,

найбільш реальної для більшості ВУ, річна тривалість роботи ймовірно буде становити вже 5200 год, а безперервно близько 217 діб. З графіка також видно, що за номінальної розрахункової швидкості вітру, наприклад, 8 м/с, яку вибирають [1] на певній місцевості, ВУ працюватиме з номінальною потужністю тільки 500 год протягом року, або безперервно лише 21 добу. Звідси зрозуміло, чому використання вітроенергетичної системи на територіях із середньорічною швидкістю вітру близько 4 м/с вважається [4] економічно недоцільним, оскільки коефіцієнт використання встановленої потужності (КВП) буде надто низьким.

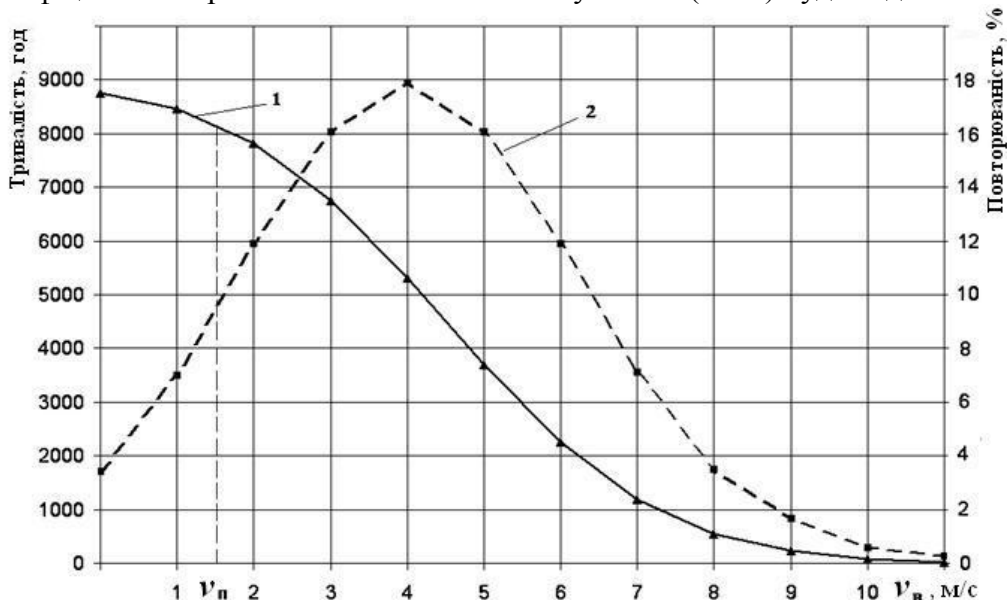


Рис. 1. Розрахункова річна тривалість роботи ВУ (1) та повторюваність вітру (2) на місцевості із середньорічною швидкістю вітру 4 м/с (за даними М. М. Поморцева [1])

Аналізуючи наявні резерви підвищення енергоефективності вітродвигунів у нижньому діапазоні швидкостей вітру, слід звернути увагу на те, що існуючі теоретичні положення аеромеханічного розрахунку були перенесені з теорії аеродинаміки крила і гвинта літака. Однак в авіаційній аеродинаміці деякі питання вітроенергетики були менш актуальними. Це стосується передусім оптимізації геометричних форм і просторових положень вітросприймальної поверхні лопаті для отримання максимального крутного моменту при пуску з нерухомого стану. Очевидно, цим пояснюється дуже суттєве незбігання теоретичних розрахунків і експериментальних значень моментів пуску та роботи за мінімальної швидкості, наведених [1] на графічному зображенні розрахункових та експериментальних характеристиках відносних крутних моментів чотирилопатевої моделі вітродвигуна. Найбільше незбігання розрахункових та експериментальних значень у момент розгону можна пояснити більш суттєвим впливом складової динамічного тиску вітру, а не лише аеродинамічної (підіймальної) сили рухомої лопаті. Там же показано, що величина пускового моменту приблизно в 5 разів менша від максимального робочого значення крутного моменту навіть для чотирилопатевої моделі вітродвигуна. За меншої кількості лопатей різниця між пусковим і максимальним робочим моментами буде ще більша, що є причиною гірших пускових показників (приємності) [1] більшості швидкохідних дво- і трилопатевоїх вітродвигунів.

Наведені аргументи дали підставу стверджувати, що необхідно більш детально теоретично й експериментально дослідити вплив просторових положень вітросприймальної поверхні лопатей на пусковий крутний момент вітродвигуна з нерухомого стану. Це стосується впливу положення лопаті відносно напрямку вітру, що можна оцінити величиною кута заклинення для отримання максимального пускового крутного моменту. Оскільки в момент пуску з нерухомого стану не відбувається обертового руху лопаті і вектор відносної швидкості повітряного потоку збігається з напрямком вітру, то кут атаки буде дорівнювати пусковому куту встановлення передньої вітросприймальної площини ділянки лопаті

відносно осі обертання ротора, колінеарної до вектора швидкості вітру. На вітросприймальну поверхню лопаті діятиме сила динамічного тиску вітру, пропорційна квадрату його швидкості [1], а від цієї розподіленої сили виникають її складові, серед яких моментотворювальна буде лежати в площині обертання. Для теоретичного аналізу виділимо елементарну ділянку лопаті та зобразимо план сил і положення вітросприймальної поверхні під певним кутом  $\gamma$  до напрямку вітру, як показано на рис. 2.

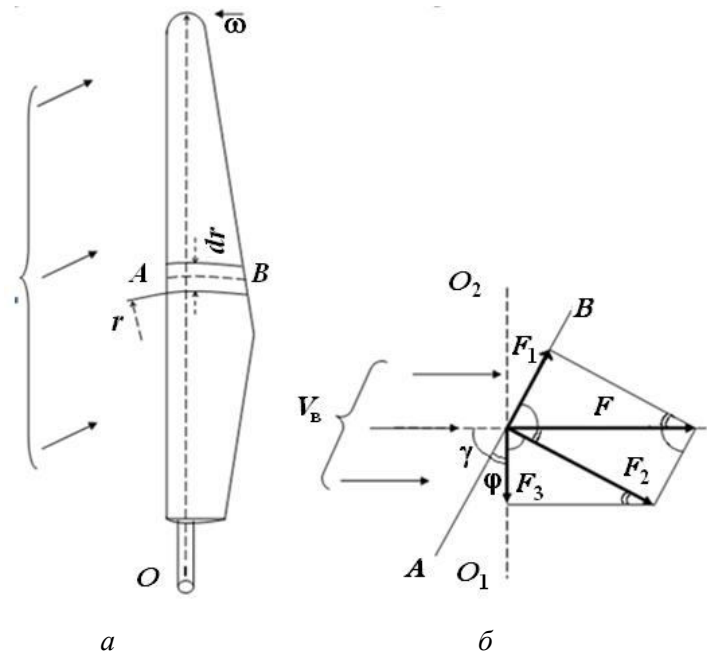


Рис. 2. Схема дії динамічного тиску вітру на вітросприймальну поверхню лопаті: *a* – напрям дії вітру на ділянку лопаті; *б* – план швидкості вітрового потоку та сил на ділянці лопаті при пуску з нерухомого стану

Для визначення оптимального пускового кута встановлення вітросприймальної площини лопаті на довільній відстані  $r$  від осі виділимо елементарну ділянку профільного перетину шириною  $B$  середньої лінії  $AB$  та висотою  $dr$  (рис. 2, *a*). Елементарна вітросприймальна поверхня матиме з певним припущенням трапецієподібну плоску форму з кутом  $\gamma$  встановлення площини до напрямку вітру. Однак у вітроенергетиці традиційно більш інформативним регульованим геометричним параметром вважається [1] кут заклинення  $\varphi$  між передньою вітросприймальною площиною лопаті та площиною її обертання. Сума кутів заклинення і встановлення при пуску з нерухомого стану становить прямий кут. Результуюча  $F$  розподіленої сили вітру, що діятиме на площину виділеної ділянки лопаті, дорівнюватиме [3] добутку половини квадрату швидкості вітру на густину повітря і площу нормальної проекції вітросприймальної поверхні за формулою

$$F = 0,5 \rho v^2 B dr \sin \gamma = 0,5 \rho v^2 B dr \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $F$  – сила динамічного тиску вітру, що діє на елементарну ділянку лопаті, Н;  $v$  – швидкість вітру, м/с;  $\rho$  – густина повітря (за нормальних умов), кг/м<sup>3</sup>;  $B$  – ширина середньої лінії елементарної ділянки лопаті, м;  $dr$  – довжина елементарної ділянки лопаті в радіальному напрямі, м;  $\gamma$  – кут встановлення (пусковий кут атаки), град;  $\varphi$  – кут заклинення лопаті, град.

Вважаючи незмінними моментні значення швидкості вітру і густини повітря та замінивши у виразі (1)  $0,5 \rho v^2 B dr = F_M$ , результуюча сила буде змінюватися залежно від кута встановлення за виразом

$$F = F_M \sin \gamma = F_M \cos \varphi.$$

Вектор результуючої сили  $F$  має дотичну до вітросприймальної площини  $F_1$  та нормальну  $F_2$  складові, які за правилом прямокутних трикутників визначаються так:

$$\begin{aligned} F_1 &= F \sin \varphi = F_M \cos \varphi \sin \varphi; \\ F_2 &= F \cos \varphi = F_M \cos \varphi \cos \varphi = F_M \cos^2 \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Дотична складова  $F_1$  спричиняє певну гальмівну дію, а нормальна складова  $F_2$  утворює моментостворювальну силу  $F_3$ , яка є її проекцією на площину обертання  $O_1 - O_2$  (рис. 2, б), тобто

$$F_3 = F_2 \sin \varphi = F_M \cos^2 \varphi \sin \varphi.$$

Наглядно результуючу силу та нормальну і моментостворювальну складові можна показати графічно (рис. 3).

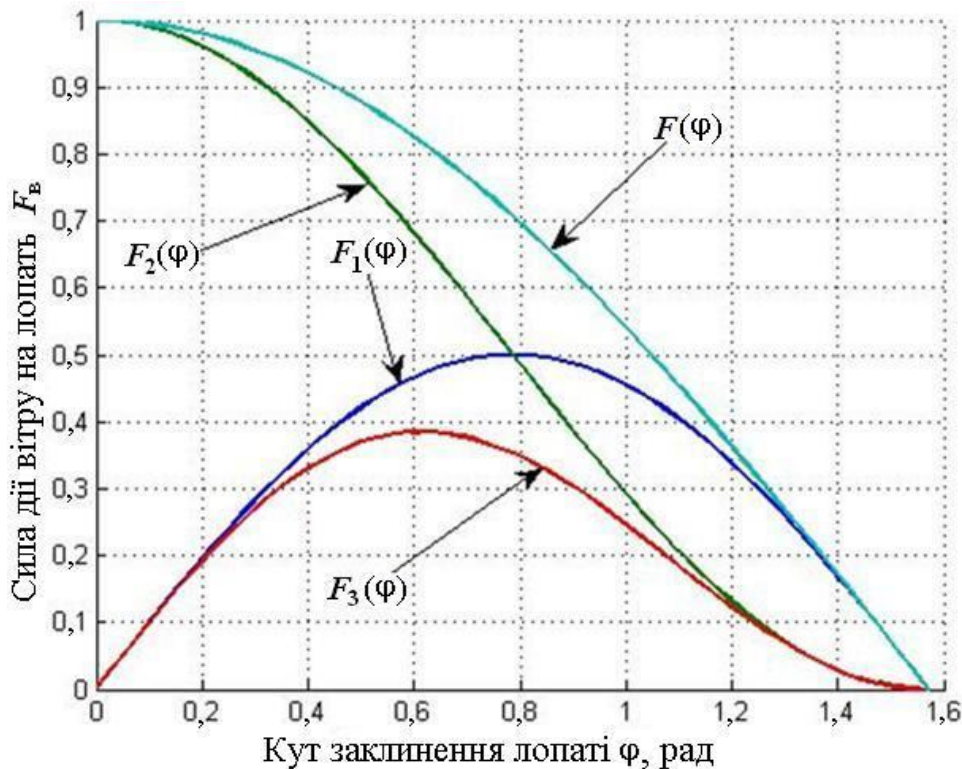


Рис. 3. Відносні значення складових сил, що діють на лопаті залежно від кута заклинення  $\varphi$  вітросприймальної поверхні ділянки лопаті

Дійсно з графіків видно, що максимального значення результуюча сила  $F$  динамічного тиску набуває у разі встановлення площини лопаті перпендикулярно до напрямку вітру, але тоді не буде виникати моментостворювальна сила  $F_3$ , яка має свій виражений максимум. Для визначення оптимального значення кута заклинення площини елементарної ділянки лопаті, за якого виникатиме максимальна моментостворювальна сила  $F_3$ , скористаємося відомим методом комп'ютерної програми Matlab, за допомогою якої визначено, що максимальне значення моментостворювальної сили  $F_3$  буде становити  $0,385 F_M$  за оптимального значення кута заклинення площини елементарної ділянки:

$$\varphi_{\text{опт.}} = 34,6 \text{ град.}$$

Оскільки кут заклинення лопаті до початку руху разом з кутом встановлення  $\gamma$  утворює прямий кут (див. рис. 1), то оптимальне значення кута  $\gamma$  (пускового кута атаки) для отримання максимального пускового моменту буде становити:

$$\gamma = \pi/2 - \varphi = 90 - 34,6 = 55,4 \text{ град.}$$

За такого оптимального значення кута заклинення  $\varphi_{\text{опт.}} = 34,6$  град максимальний пусковий момент матиме не лише елементарна ділянка, але і вся лопаті простої прямокутної

форми без закрутки. Однак лопаті сучасних ВУ мають складну досконалу звужену на периферії форму із закруткою по всій довжині для змінного кута заклинення, обернено пропорційного відстані від осі обертання. Тоді задача ускладнюється, оскільки по довжині лопаті одночасно змінюватимуться ще такі дві величини, як ширина  $B$  і кут  $\varphi$  заклинення, а відповідно і кут встановлення  $\gamma$ . Саме тому в літературі часто вказуються різні значення цього параметра, наприклад, у праці [1] у конструкції пускового механізму передбачено кут близько  $30^\circ$ , а в праці [5] стверджується, що максимальною сила тиску вітру буде за кута атаки  $45^\circ$ . І лише в праці [4] для опису алгоритму роботи ВЕУ серії USW 56-100 вказано стартовий пігчевий кут  $35^\circ$ , однак невідомо, якої ділянки лопаті це стосується. Шляхом експериментальних досліджень [6] було підтверджено для плоских лопатей розраховане теоретично оптимальне значення.

Ширина та форма поверхні лопатей сучасних ВЕУ залежно від їх кількості та розмірів для забезпечення мінімального аеродинамічного опору описуються [4] досить складними залежностями. Якщо далі поступово ускладнити задачу визначенням радіуса розміщення оптимального кута елементарної ділянки лопаті однакової ширини з перемінним кутом заклинення по її довжині, то необхідно розв'язати компромісну задачу ще й з функцією крутного моменту, який визначається виразом

$$M_n = \int_0^R F_3(r) dr, \quad (3)$$

де  $M_n$  – пусковий крутний момент однієї лопаті, Н·м;  $R$  – радіус кола, що описує кінець лопаті, м;

Оскільки за такої форми лопаті з рівномірною закруткою зміна кута встановлення обмежуватиметься оптимальним значенням на периферії, що на мінімальній відстані від осі ротора збільшить загальний кут закрутки. Пусковий момент створюється дією динамічного тиску вітру на поверхню всіх лопатей, а кожна лопать створює крутний момент від розподілених сил динамічного тиску вітру на вітросприймальну поверхню по всій її довжині. Епюри сил та моментів за правилами побудови [8] при встановленні під оптимальним пусковим кутом вітросприймальної поверхні кінця лопаті прямокутної форми без закрутки та за її наявності зображено на рис. 4. Епюри пускових моментів, створюваних динамічним тиском вітру на фронтальну площину лопаті будь-якої форми без закрутки та прямокутної форми із закруткою, показують, що оптимальне значення кута заклинювання слід надавати периферійній ділянці, найбільш віддаленій від осі обертання.

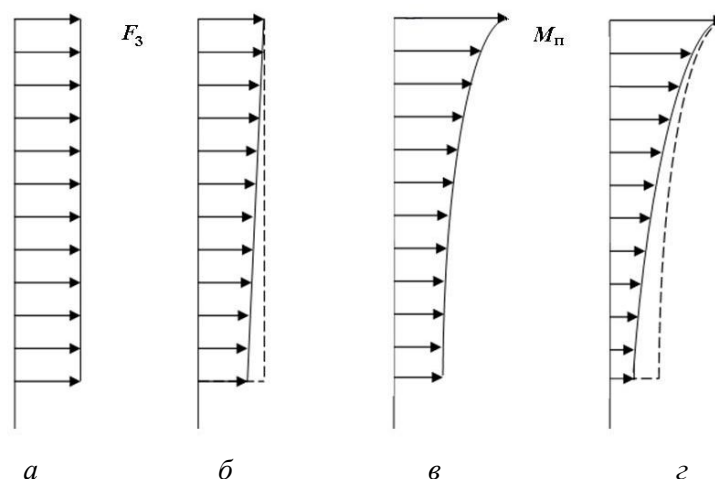


Рис. 4. Епюри сил (а, б) та моментів (в, з) у площині обертання ротора по довжині лопаті:  
а і в – для прямокутної лопаті без закрутки; б і з – прямокутної із закруткою

Тоді в формулу (3) необхідно підставити змінні значення ширини і кута заклинення ділянки лопаті, залежні від радіуса обертання:

$$M_{\Pi} = \int_0^R F_3(r) dr = \int_0^R 0,5 \rho v^2 B(r) dr \cos^2 \varphi(r) \sin \varphi(r), \quad (4)$$

де  $B$  – ширина ділянки лопаті (рис. 5) змінюється по її довжині за законом, визначеним методом пропорційних співвідношень лінійних розмірів трапецієподібного профіля лопаті. Змінна ширина ділянки лопаті визначається універсальною формулою:

$$B = B_0 - (B_0 - b_k)r/R, \quad (5)$$

де  $B_0$  і  $b_k$  – відповідно ширина лопаті в кореневій частині та на периферії;  $R$  – радіус обертання периферійної ділянки кінця лопаті;  $r$  – змінна відстань від осі обертання певної ділянки лопаті.

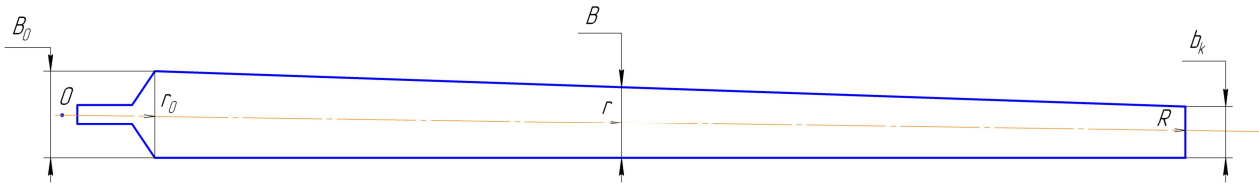


Рис. 5. Схема контурів лопаті змінної ширини;  $O$  – центр осі обертання;  $r_0$  – радіус обертання ділянки лопаті з максимальною шириною  $B_0$ ;  $R$  – радіус обертання кінця лопаті з мінімальною шириною  $b_k$ ;  $r$  – змінний радіус обертання довільної ділянки лопаті змінної ширини  $B$

Наявність крутки вітросприймальної поверхні лопаті зумовлюється [4] необхідністю підтримання оптимального кута атаки по всій її довжині. Для аналізу впливу змінного кута встановлення вітросприймальної поверхні скористаємося спрощеною схемою перетину ділянки лопаті, зображеною на рис. 6.

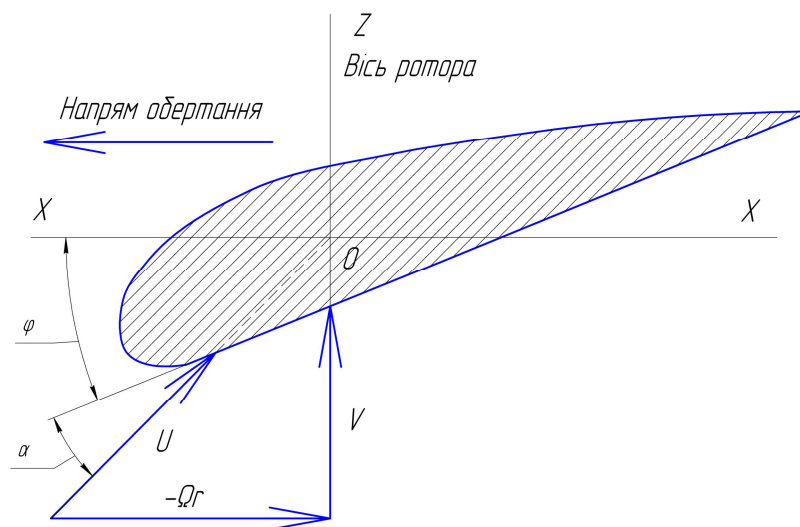


Рис. 6. Спрощена схема перетину ділянки рухомої лопаті та напрями векторів швидкості вітру  $V$ , колової швидкості лопаті  $\Omega r$ , відносної швидкості вітрового потоку  $U$

Як видно з трикутника векторів швидкостей, у разі зменшення радіуса обертання по довжині лопаті від периферії до кореневої частини необхідно для збереження оптимального кута атаки поступово збільшувати кут заклинення. В сумі кут заклинення  $\varphi$  і кут атаки  $\alpha$  становлять загальний кут, який називають [4] кутом притікання вітрового потоку, який можна уявляти як кут між відносною швидкістю  $U$  і площиною  $X - X$  обертання лопатей ротора. Оскільки трикутник векторів швидкостей прямокутний, то кут притікання визначається тригонометричною залежністю від радіуса обертання певної ділянки:

$$(\varphi + \alpha) = \text{arctg } \Omega R / V = \text{arctg } Z,$$

де  $\Omega = 2\pi n$  – кутова швидкість обертання ротора, рад/с;  $R$  – радіус обертання кінців лопатей ротора, м;  $Z$  – коефіцієнт швидкохідності ротора, відн. од.

Таким чином за допомогою відомого закону вигинається площина вітросприймальної поверхні лопаті при виготовленні. Однак ніколи цей кут біля осі обертання лопаті не роблять прямим, а найчастіше [4] обмежуються значенням близько 0,5 рад. Графічне зображення закону зміни кута закрутки площини лопаті ротора з коефіцієнтом швидкохідності 12 показано на рис. 7.

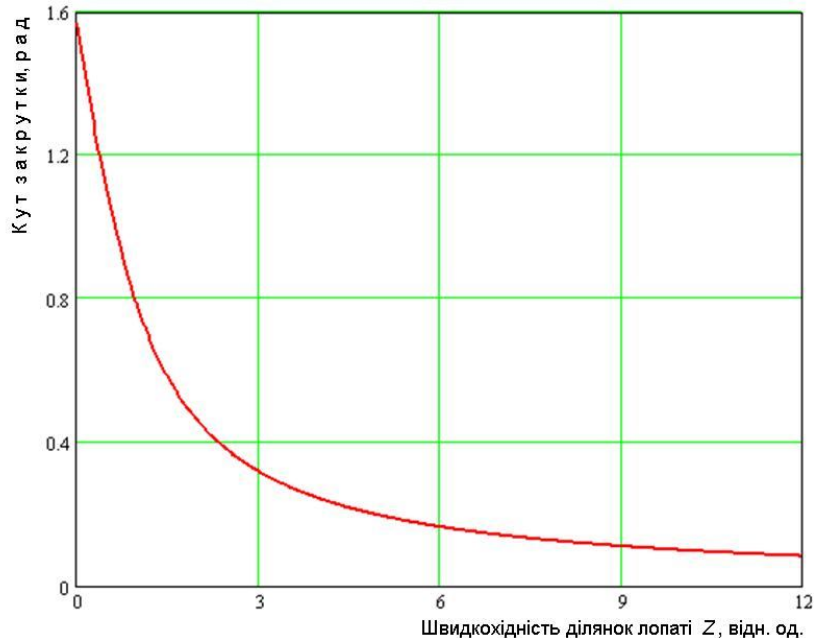


Рис. 7. Залежність кута закрутки площини вітросприймальної поверхні лопаті на різних ділянках від осі обертання

Оскільки частота обертання різновіддалених від центра ділянок лопаті однакова, то для фіксованої швидкості вітру наведену залежність можна звести до однакового аргументу, як і змінну ширину ділянки лопаті у формулі (4). Для цього у формулу (5) підставимо заміну абсолютних значень швидкохідності  $Z$  ділянок лопаті на відстані  $r$  від осі обертання на відносні значення  $(r/R)$ , тоді вираз набуде вигляду

$$(\varphi + \alpha) = \text{arcctg } Z = \text{arcctg } Z_k (r/R),$$

де  $Z_k$  – швидкохідність периферійної ділянки на кінці лопаті.

Оскільки в нерухомому стані немає колової швидкості, то кут заклинення буде визначати положення вітросприймальної площини відносно напрямку вітру. Тоді пусковий кут заклинення по довжині лопаті

$$\varphi(r) = [\text{arcctg } Z_k (r/R)] - \alpha.$$

З урахуванням загального аргументу математична модель крутного моменту лопаті під час пуску з нерухомого стану визначають залежністю:

$$M_{\text{п}} = \int_0^R F_3(r) dr = \int_0^R 0,5\rho v^2 [B_0 - (B_0 - b_k)r/R] \cos^2[\text{arcctg } Z_k (r/R) - \alpha] \sin[\text{arcctg } Z_k (r/R) - \alpha] dr. \quad (6)$$

У цій математичній моделі пускового моменту лопатевого ротора ВУ з певним коефіцієнтом швидкохідності враховуються всі можливі варіанти форм і розмірів профіля вітросприймальної площини. Однак прийняті спрощені умови обмежують застосування виразу (6) лише для пуску з нерухомого стану і на початку розгону вітродвигуна. Значення  $Z_k$  визначені конструкцією лопатей і всього ротора, розрахованого на певну частоту обертання

за розрахункової швидкості вітру. Отже, математична модель (6) дозволяє визначити оптимальне просторове положення лопатей під час пуску з нерухомого стану для отримання максимального пускового крутного моменту ротора ВУ.

Ця модель дозволяє визначати оптимальне геометричне положення під час пуску і для лопатей геометрично змінної форми лопатевого ротора з підвищеним пусковим моментом [7]. Конструкцію лопаті адаптивно змінної геометричної форми з підвищеним пусковим крутним моментом схематично зображено на рис. 8.

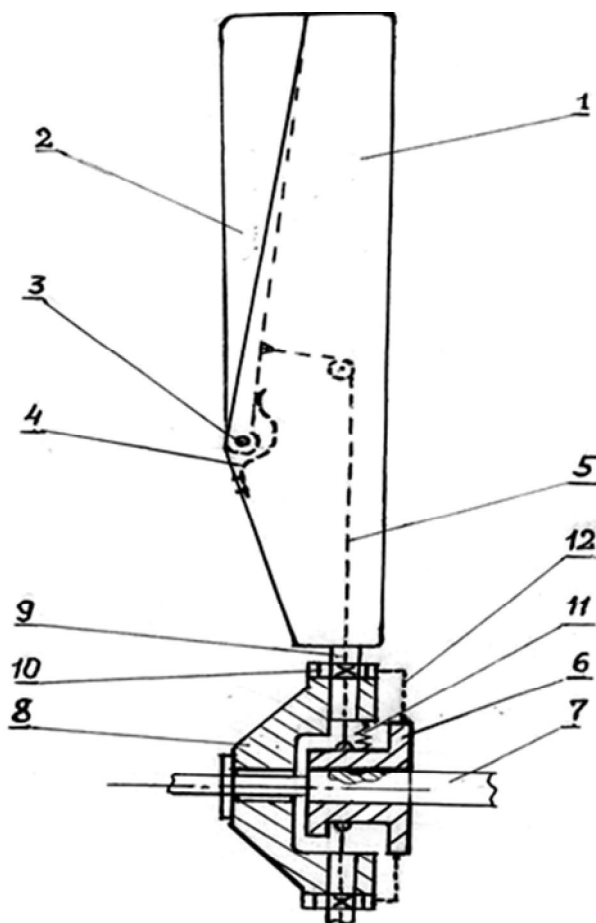


Рис. 8. Будова лопаті змінної геометричної форми: 1 – площина лопаті; 2 – висувний закрилок; 3 – вісь висувного закрилка; 4 – пружина; 5 – тросова тяга; 6 – маточина ротора; 7 – вал; 8 – цапфа лопатей; 9 – вісь лопаті; 10 – механізм повороту лопаті; 11 – розпірна пружина; 12 – тяга повороту лопаті

На лопаті 1, що має оптимізовану форму і профіль для швидкостей вітру, близьких і вищих від розрахункових номінальних, установлений підпружинений висувний закрилок 2, який механічно зв'язаний з маточиною на валу ротора. Без достатнього за швидкістю вітру в нерухомому стані закрилок повністю висунутий з паза лопаті, а вся лопать повернута на оптимальний (2) пусковий кут заклинення. Таким чином запропонована [7] конструкція лопатевого ротора з адаптивно змінною геометрією лопатей, встановлених з оптимальним пусковим кутом заклинення, дозволяє забезпечувати пуск та роботу за мінімально достатніх швидкостей вітру, на яких більшість сучасних швидкохідних ВУ залишаються нерухомими. Певне конструктивне ускладнення вітрогенератора при цьому може бути прийнятним передусім для малогабаритних ВУ, де це можна досить просто реалізувати.

**Висновки.** Для підвищення ефективності використання малошвидкісних вітрів необхідно збільшити пусковий крутний момент установлюванням вітросприймальної поверхні лопатей ротора з оптимальним пусковим кутом заклинення, який для всіх їхніх



форм без закрутки та прямолінійних і розширених на кінцях за наявності закрутки становить  $34,6^\circ$  на периферійній ділянці.

Оптимальне значення пускового кута заклинення лопатей, звужених на периферії за наявності закрутки за конструктивно визначеного коефіцієнта швидкохідності можна визначити за допомогою розробленої математичної моделі пускового крутного моменту.

Суттєво підвищити пусковий момент і підтримувати максимальне значення робочого моменту за мінімальних швидкостей вітру можна застосуванням запропонованої конструкції лопатевого ротора з адаптивно змінною геометричною формою лопатей.

### Список літератури

1. *Фатеев Е. М.* Ветродвиатели и ветроустановки/ Е. М. Фатеев. – М.: Сельхозиздат. 1957, – 536 с.
2. *Ясенецький В. А.* До питання розробки і використання вітроенергетичних установок невеликої потужності / В. А. Ясенецький, В. П. Клименко // Техніка АПК. – 2005. – №2. – С. 10 – 11.
3. *Неисчерпаемая энергия.* Ветроэлектрогенераторы: учебник: в 2 кн. / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков. нац. аэрокосм. ун-т. «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, – 2003. – Кн. 1. – 400 с.
4. *Неисчерпаемая энергия.* Ветроэнергетика: учебник: в 2 кн. / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков. нац. аэрокосм. ун-т. «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. – Кн. 2. – 519 с.
5. *Жданович Л. О.* Шляхи підвищення ефективності малої вітроенергетики / Л. О. Жданович // Нова тема. – К., 2010. – №2(25). – С. 42 – 46.
6. *Трегуб М. І.* Підвищення енергоефективності лопатевого ротора сільськогосподарських вітроустановок / М. І. Трегуб, В. П. Клименко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. – 2009 – Вип. 13 (27). – Кн. 2. – С. 416 – 423.
7. *Декларат. пат. №41311* МПК F03D1/00, F03D 3/02 // Лопатевий ротор вітроустановки / В. В. Козирський, М. І. Трегуб, заяв. 22.01. 2009, опубл. 12. 05.2009, Бюл. №9.
8. *Фролов К. В.* Теория механизмов и машин: учеб. для втузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др. / под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.

V. M. Sineglazov, V. V. Kozyrskiy, M. I. Tregub

#### **Оптимизация геометрических параметров лопастей ветроустановок для пуска и работы при малых скоростях ветра**

Приведены теоретические и практические методы усовершенствования лопастей ветроустановок для улучшения показателей пуска и работы при малых скоростях ветра, что позволяет повысить энергетическую эффективность их использования в сельском хозяйстве.

V. M. Sineglazov, V. V. Kozyrskiy, M. I. Tregub

#### **Optimization of geometrical parameters of blades of vinturbines for starting and work at small speeds of wind**

The theoretical and practical methods of improvement of blades of vinturbines are resulted for the improvement of indexes of starting and work at small speeds of wind, that allows to promote energy efficiency of their use in agriculture.