

УДК 620.92

ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПУСКУ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІТРОУСТАНОВОК ДЛЯ РОБОТИ ЗА НИЗЬКОЇ ШВИДКОСТІ ВІТРІВ

М.І.Трегуб, канд. техн. наук

Білоцерківський національний аграрний університет

В статті наведена математична модель пускового крутного моменту лопаті трапецієподібної форми із закруткою поверхні та розглянуті принципові й конструктивні схеми вітроелектрогенераторів для ефективного використання низькошвидкісних вітрів.

Ключові слова: безредукторна вітроустановка, оптимальний пусковий кут устанавлення, пусковий момент.

Проблема. Система сталого енергозабезпечення аграрного виробництва передбачає суттєве збільшення обсягів 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 [1], за якої відповідно висновків багатьох авторів, наприклад [1],[4], застосування там вітроустановок (ВУ) вважається недоцільним. Однак багатовіковий досвід використання сільських вітряків в Україні спростовує такі однозначні висновки, бо порівняно з технічними можливостями минулих століть тепер є нові високотехнологічні матеріали, досконаліші механізми, електротехнічні та електронні засоби для забезпечення більш енергоефективного перетворення й використання вітрової енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні високотехнологічні ВУ великої потужності в країнах Євросоюзу та США головним чином розраховані [1] на паралельну роботу з електроенергетичною системою і ефективні при використанні більш високого вітроенергетичного потенціалу, ніж наявний на більшості території України. Отриманий нині досвід застосування імпортованих до України таких ВУ, навіть на місцевостях з найбільш високою середньорічною

© М.І. Трегуб.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 95. 2011.

швидкістю вітру, показав [1] низький коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) та надто великі терміни окупності, що підтверджує необхідність їх конструктивного удосконалення з метою кращого адаптування до місцевих умов. Аналогічні проблеми є і при використанні малопотужних автономних вітроелектричних установок (АВЕУ) як вітчизняного, так і закордонного виробництва, які задовільно працюють лише при швидкостях вітру, більших ніж 7 – 8 м/с. Таким чином можна вважати досі недостатньо вирішеною технічну проблему ефективного використання низькошвидкісних вітрів. Основними напрямками вирішення цієї технічної проблеми вважаються [3] підвищення пускових показників та зменшення стадій видових і параметричних перетворень прийнятої лопатевим ротором вітрової енергії. Однак при цьому були обгрунтовані оптимальні пускові параметри лише для лопатей простої прямокутної форми без закрутки поверхні.

Мета дослідження. Обгрунтувати напрями вдосконалення АВЕУ для підвищення енергоефективності використання низькошвидкісних вітрів шляхом підвищення пускових показників оптимізованих трапецієподібних форм лопатей із закруткою та визначити кращі типи і конструктивні схеми вітроелектрогенераторів.

Методи досліджень. Розробку математичної моделі пускового крутного моменту трапецієподібної вигнутої лопаті виконано за результатами вивчення джерел науково-технічної інформації та їх аналізу і узагальнення. Теоретично оцінені технічні можливості підвищення енергетичного ККД електрогенераторів на стадії електромеханічного перетворення вітрової енергії (ВЕ).

Результати досліджень. Пусковий крутний момент лопатевого ротора ВУ створюється динамічним тиском вітру на лопаті, але він у кілька разів [2] менший від номінального крутного моменту під час обертання. 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 оптимального пускового просторового положення лопаті ускладнюється, оскільки по всій її довжині одночасно змінюватимуться такі дві величини, як ширина B і кут φ заклинення, а відповідно і кут встановлення. Саме тому в літературі часто вказуються різні значення цього параметра, наприклад, [2] в конструкції пускового механізму передбачено кут близько 30° , а в [5] стверджується, що максимальна сила тиску вітру буде при куті атаки 45° і лише в [1] при описі алгоритму роботи ВЕУ серії USW 56-100 вказано близький до обгрунтованого

в [3] стартовий питомий кут 35° , однак невідомо, якої ділянки лопаті він стосується. Шляхом експериментальних досліджень [6] було підтверджено для плоских лопатей, розраховане теоретично, оптимальне значення кута заклинення.

Ширина та форма поверхні лопатей сучасних ВЕУ залежно від їх кількості та розмірів для забезпечення мінімального аеродинамічного опору описуються [1] 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 вирішити компромісну задачу ще й з функцією крутного моменту, який визначається виразом:

$$M_n = \int_0^R F_3(r) dr, \quad (1)$$

де M_n - пусковий крутний момент однієї лопаті, Н м; R - радіус кола, що описує кінець лопаті, м; F_3 - моментотворююча складова сили динамічного тиску на лопать, Н; r - змінний радіус обертання довільної ділянки лопаті, м.

Оскільки при вказаній формі 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 вітрсприймаючу поверхню по всій її довжині.

Проекція всіх типів лопатей сучасних швидкохідних ВУ має форму видовженої трапеції з більшою основою біля осі обертання, а меншої на периферії. У найбільш відомих конструкціях тихохідних ВУ проекція профілю лопаті також має форму трапеції, але навпаки з більшою основою на периферії. Для врахування всіх цих можливих варіантів запропонована універсальна математична залежність зміни ширини профілю лопаті по всій її довжині. Так, якщо B - ширина ділянки лопаті (рис.1) змінюється по її довжині за законом, визначеним методом пропорційних співвідношень лінійних розмірів трапецієподібного профілю лопаті, тоді змінна ширина ділянки лопаті визначається універсальною формулою:

$$B = B_0 - (B_0 - b_k)r/R, \quad (2)$$

де B_0 і b_k відповідно ширина лопаті в кореневій частині та на перифе-

рії; R – радіус обертання периферійної ділянки кінця лопаті; r – змінна відстань від осі обертання певної ділянки лопаті.

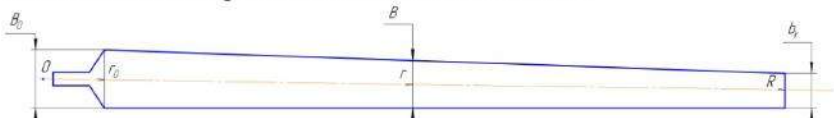


Рис.1. Схема контурів лопаті змінної ширини: O – центр осі обертання; r_0 – радіус обертання ділянки лопаті з максимальною шириною B_0 ; R – радіус обертання кінця лопаті з мінімальною шириною b_k ; r – змінний радіус обертання довільної ділянки лопаті змінної ширини B

Таким чином функція змінної ширини лопаті виражена через її геометричний параметр довжини. Однак для трапецієподібної форми профілю лопаті залишається справедливим висновок [2], що максимальний пусковий крутний момент буде при такому ж куті встановлення, як і для плоскої прямокутної форми профілю лопаті. Значно складніше дати математичну модель пускового крутного моменту лопаті з криволінійною поверхнею, які характерні для всіх сучасних ВУ.

Наявність крутки вітросприймаючої поверхні лопаті викликана [2] необхідністю підтримання оптимального кута атаки по всій її довжині. Для аналізу впливу змінного кута встановлення вітросприймаючої поверхні скористаємося спрощеною схемою перетину ділянки лопаті, зображеною на рис.2.

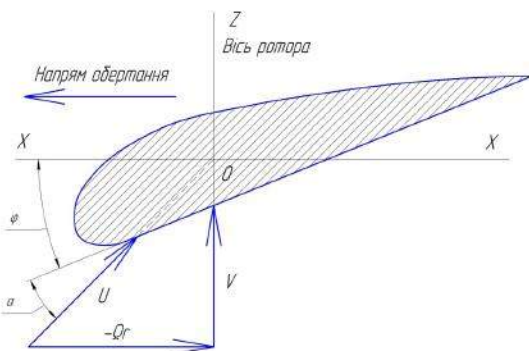


Рис.2. Спрощена схема перетину ділянки рухомої лопаті та напрямки векторів швидкості вітру V , колової швидкості лопаті Ωr , відносної швидкості вітрового потоку на рухому лопать U

Як видно з трикутника векторів швидкостей, при зменшенні радіуса обертання по довжині лопаті від периферії до кореневої частини для збереження оптимального кута атаки необхідно поступово збільшувати кут заклинення. В сумі кут заклинення φ і кут атаки α становлять

загальний кут, що має назву[2] кут 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 поверхні лопаті.

$$(\varphi + \alpha) = \text{arcctg } \Omega R/V = \text{arcctg } Z, \quad (3)$$

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

Для того щоб по всій довжині лопаті кут атаки α мав однакове оптимальне значення і виконувалося закручування поверхні, потрібно змінювати кут φ заклинення. Таким чином за цією відомою залежністю вигинається площа вітросприймаючої поверхні лопаті при виготовленні. Однак практично ніколи цей кут біля осі обертання лопаті не роблять прямим, а найчастіше [1] обмежуються значенням близько 0,5 рад. Для прикладу розрахункове графічне зображення зміни кута закрутки площини лопаті ротора з коефіцієнтом швидкохідності 12 показано на рис.3.

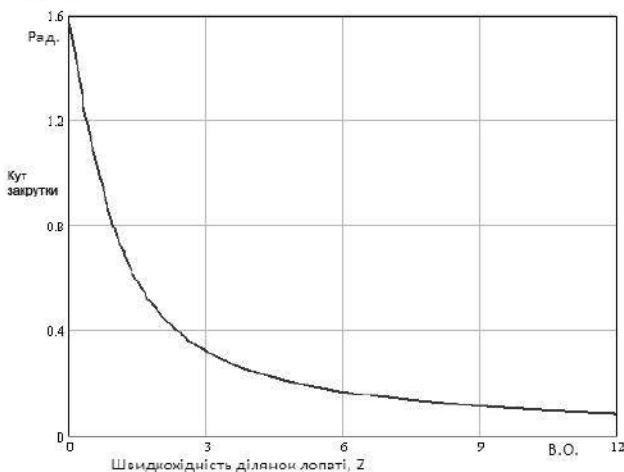


Рис.3. Залежність кута закрутки площини вітросприймаючої поверхні лопаті на різних ділянках від осі обертання

Оскільки частота обертання різновіддалених від центра ділянок лопаті однакова, то для фіксованої швидкості вітру наведену залежність можна привести до однакового аргументу, як і змінну ширину ділянки

лопаті у формулі (2). Для цього у формулу (3) підставимо заміну абсолютних значень швидкохідності Z ділянок лопаті на відстані r від осі обертання на відносні значення (r/R) , тоді вираз набуде вигляду:

$$(\varphi + \alpha) = \operatorname{arctg} Z = \operatorname{arctg} Z_k (r/R), \quad (4)$$

де Z_k – швидкохідність периферійної ділянки на кінці лопаті.

Оскільки в нерухомому стані відсутня колова швидкість, то кут заклинення буде визначати положення вітросприймаючої площини відносно напрямку вітру. Тоді пусковий кут заклинення по довжині лопаті визначатиметься залежністю:

$$\varphi(r) = [\operatorname{arctg} Z_k (r/R)] - \alpha, \quad (5)$$

З урахуванням загального аргументу математична модель крутного моменту лопаті при пуску з нерухомого стану визначатиметься залежністю:

$$M_n = \int_0^R F_3(r) dr = \int_0^R 0,5\rho v^2 [B_0 - (B_0 - b_k)r/R] \times \\ \cos^2[\operatorname{arctg} Z_k (r/R) - \alpha] \sin[\operatorname{arctg} Z_k (r/R) - \alpha] dr, \quad (6)$$

В даній математичній моделі пускового моменту лопатевого ротора вітроустановки з певним коефіцієнтом швидкохідності враховуються всі можливі варіанти форм і розмірів профілю вітросприймаючої площини. Однак попередньо 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 при розрахунковій швидкості вітру. Отже, математична модель (6) дає можливість визначити оптимальне просторове положення лопатей при пуску з нерухомого стану для отримання максимального пускового крутного моменту лопатевого ротора ВУ з горизонтальною віссю.

Крім покращення пускових показників ВУ для підвищення енергетичної ефективності використання низькошвидкісних вітрів, необхідно вдосконалити традиційну схему передавальних механізмів з мультиплікацією частоти обертів. Для кращого розуміння впливу геометричних розмірів лопатей ротора ВУ на частоту його обертання можна скористатися відомими [2] залежностями:

$$n = Z V_g / \pi D, \quad c^{-1}, \quad (7)$$

де Z – коефіцієнт швидкохідності лопатевого ротора, в. о.; V_g – швидкість вітру, м/с; D – діаметр кола, що описують кінці лопатей, м.

Коефіцієнт швидкохідності Z є інтегральним показником якості виготовлення лопатей та їх кількості. Однак можна вказати певні його значення, які характерні для роторів ВУ з відповідною кількістю лопатей. Необхідність розташування активних елементів ротора безредукторного електрогенератора на кільці великого діаметра обумовлена відомою [1] залежністю величини електрорушійної сили (ЕРС) від лінійної швидкості їх руху відносно активних елементів статора:

$$E = BV_{nm} L \sin\alpha, \quad (8)$$

де B – індукція магнітного поля, Тл; V_{nm} – лінійна швидкість відносно руху провідника в магнітному полі, м/с; L – довжина елементарного провідника в однорідному магнітному полі, м; α – кут між вектором швидкості руху нормалі провідника і силовими лініями магнітного поля, град.

Простий аналіз цієї загальновідомої формули показує, що при певних незмінних значеннях параметрів магнітного поля і провідникових даних максимальна величина ЕРС може бути отримана при максимальній відносній швидкості руху. Оскільки лопатевий ротор ВУ обертається з певною частотою, то максимальна лінійна колова швидкість руху кінців лопатей буде:

$$V_{max} = 2\pi R n, \quad (9)$$

де R – радіус кола, що описують кінці лопатей, м; n – частота обертання, с⁻¹.

Підставивши з виразу (7) значення частоти обертів та після проведення скорочень, максимальна колова швидкість буде:

$$V_{max} = Z V_v, \quad (10)$$

Тобто максимальна лінійна колова швидкість руху лопатевого ротора ВУ буде на кінцях лопатей при певних значеннях швидкості вітру V і визначатиметься конструктивним коефіцієнтом швидкохідності. Даний висновок є очевидним і давно відомим, однак досі технічно реалізувати безредукторну конструкцію вітроелектричного генератора (БВЕГ) із встановленням активних елементів ротора на периферійній ділянці лопатей не вдалося без погіршення аеромеханічних та електроенергетичних показників. Тому при обґрунтуванні методики розрахунку конструктивних параметрів БВЕГ необхідно було вирішити наступні завдання:

– визначити тип електрогенератора з мінімальними габаритами рухомих активних елементів його ротора;

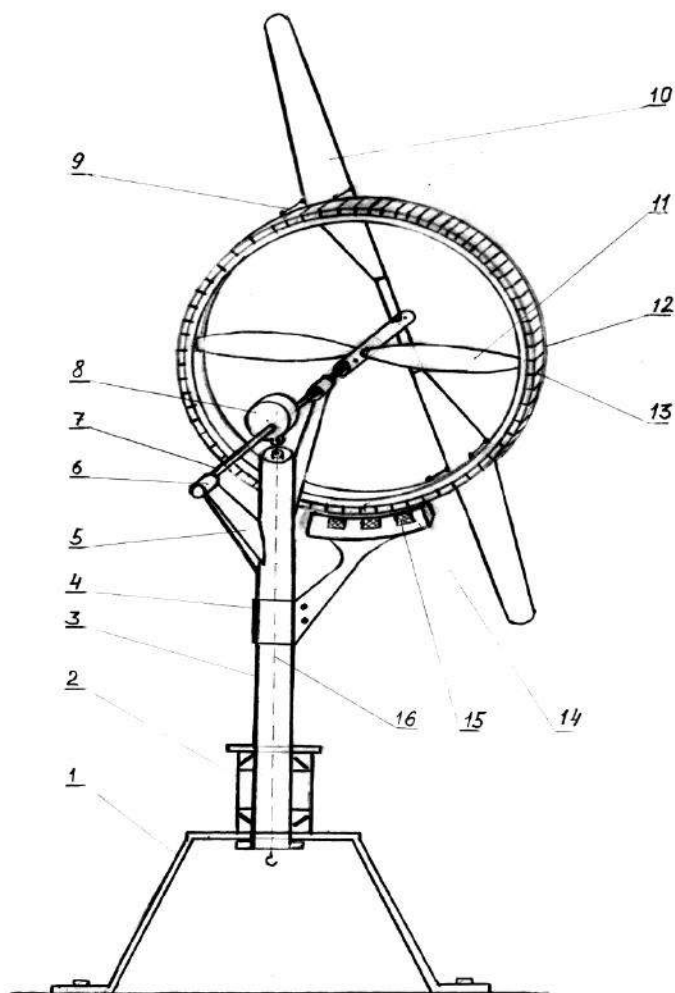


Рис.4. Загальна конструктивна схема безредукторної вітроенергетичної установки: 1 – рама основи; 2- підшипниковий вузол; 3 – поворотна стійка; 4 – штатив статора; 5- кронштейн кріплення вала; 6 – підшипниковий вузол; 7 – вал ротора; 8- ексцентрик; 9 – з’єднувальні тяги; 10- основні лопаті;11 – допоміжні лопаті;12 – кільцеподібний ротор; 13 – активні елементи ротора; 14 – дугоподібний статор; 15- обмотки статора; 16 –тяга механічного приводу

– серед можливих варіантів схем потокозчеплення вибрати найбільш раціональну конфігурацію конструкції статора;

– оцінити вплив конструктивних та активних елементів ротора і статора на показники аеромеханічної ефективності ВУ, зокрема КВВП;

Вирішення цих часто взаємосуперечливих завдань потребує певного перегляду традиційних конструкцій електрогенераторів циліндричної конфігурації, оскільки при великому діаметрі статора і ротора неминуче буде значне перекривання вітрового потоку, що діє на лопаті ВУ. Як один із варіантів і було запропоновано [7] безредукторну ВУ з кільцеподібним ротором та дугоподібним статором (рис.4).

Принциповою перевагою запропонованої конструктивної схеми вважається поєднання аеромеханічних та електротехнічних функцій всіх елементів конструкції. При виборі типу БВЕГ за принципом дії можна проаналізувати найбільш важливі характерні особливості відомих електричних машин. Порівняння відповідності вимогам БВЕГ різних типів електрогенераторів наведено в таблиці.

У генераторів постійного струму (ГПС) активні матеріали ротора складаються з обмоток, зубців і спинки магнітопроводу, на валу також встановлений колектор. Причому, рухомі обмотки якоря (ротора) розраховані на струм навантаження, а магнітопровід має достатню площу перетину для забезпечення допустимих величин магнітної індукції і розрахункового магнітного потоку. Повітряних зазорів між якорем і полюсними наконечниками статора два. Довжина магнітного кола визначається міжполюсною відстанню та висотою зубців і полюсів. Отже реалізація такої схеми в БВЕГ з ротором (якорем) великого діаметра має значні технічні складності. З огляду на наявність рухомих контактів колектора і щіток слід вважати варіант БВЕГ в принципі ГПС неприйнятним.

Таблиця. Порівняння аргументів відповідності вимогам БВЕГ електрогенераторів різних типів

№ п/п	Тип електрогенератора	Відповідність вимогам	Невідповідність вимогам
1	Електрогенератор постійного струму (ЕГПС)	Регульованість напруги. Відсутність пускового опору без струму збудження	Рухомі обмотки якоря, наявність щіток і колектора

2	Синхронний генератор з електромагнітним збудженням (СГЕМ)	Високий енергетичний ККД. Відсутність пускового опору без струму збудження. Регульованість напруги	Рухомі обмотки збудження ротора. Наявність рухомих контактів щіток і контактних кілець
3	Синхронний генератор з постійними магнітами (СГПМ)	Високий енергетичний ККД. Відсутність рухомих контактів	Неможливість регулювання напруги при змінних обертах. Пусковий опір полем постійних магнітів
4	Асинхронний генератор з фазовим ротором (АГФР)	Високий енергетичний ККД. Незначна можливість регулювання напруги	Рухомі обмотки ротора. Наявність рухомих контактів щіток і контактних кілець
5	Асинхронний генератор з короткозамкненим ротором (АГКР)	Високий енергетичний ККД. Відсутність рухомих контактів ротора	Обмежена можливість регулювання напруги. Неможливість роботи при малих обертах
6	Індукторний електрогенератор з постійними магнітами (ІГПМ)	Відсутність обмотки, рухомих контактів і магнітів на роторі	Нижчий енергетичний ККД. Несинусоподібна форма струму. Пусковий опір полем постійних магнітів
7	Індукторний генератор з електромагнітним збудженням (ІГЕМЗ)	Відсутність обмотки, рухомих контактів і магнітів на роторі. Широкі можливості регулювання вихідної напруги. Відсутність пускового моменту опору при відсутності струму збудження	Нижчий енергетичний ККД. Несинусоподібна форма струму. Втрати механічної потужності на утворення магнітного поля збудження.

Аналогічний висновок можна зробити і для загальновідомої схеми СГЕМ, оскільки обмотка збудження ротора має рухомі контакти кілець і щіток, а магнітопровід явнополюсної і неявнополюсної конструкції має значні масу і габарити. Відомі конструкції СГЕМ з кігтеподібними полюсами ротора при великому діаметрі мають велику довжину маг-

нітопроводу і відповідно загальний опір магнітному потоку та підвищене розсіювання.

Асинхронний генератор з короткозамкненим ротором АГКР має два активних елементи на роторі – магнітопровід та короткозамкнені стрижневі обмотки. Однак магнітопровід має зубці та спинку, що огинають масивний стрижневий провідник обмотки ротора в пазу. Виконання порожнистого ротора АГКР великого діаметра з такими активними елементами можливе, однак потребує значної маси і розмірів. Крім того довжина магнітного кола залежить від габаритів і відстані між полюсами обмоток статора. Відомо, що асинхронні електрогенератори з більшою кількістю полюсів мають нижчий ККД, ніж такі ж дво- і чотириполюсні електричні машини.

Синхронні генератори з постійними магнітами СГПМ останнім часом все більше застосовуються, особливо на ВЕУ автономного типу невеликої потужності. Однак конструктивні і принципові схеми потребують подальшого вдосконалення. Розташування на роторі великого діаметра БВЕГ постійних магнітів нового покоління з високим показником питомої магнітної енергії дає можливість [1] отримати прийнятні енергетичні та масогабаритні показники. Однак досі нові висококоерцетивні магніти досить дорогі і мають деякі антикорозійні обмеження, що стримує їх широке використання на БВЕГ.

Серед найбільш надійних і простих вважаються електрогенератори індукторного типу, в яких немає ні рухомих контактів, ні рухомої обмотки, ні рухомих магнітів, а рухаються лише зубці осердя ротора, хоча загальні масогабаритні показники у них нижчі, ніж розглянутих вище типів електричних машин. Магнітний потік у такому генераторі не змінюється за напрямом, а лише за величиною. Гранична простота конструкції ротора дає можливість розглядати індукторні генератори (ІГ) як найбільш перспективні за надійністю для БВЕГ. Однак існуючий досвід використання найбільш відомих конструкцій ІГ не задовільняє головних вимог до БВЕГ. Тому доцільно теоретично проаналізувати показники різних варіантів ІГ, які найбільше відповідають аеромеханічним та енергетичним вимогам. Одним з варіантів конструктивної схеми ІГ комбінованого типу можна вважати запропонований дуговий індукторний електрогенератор [8], схема якого зображена на рис.5.

Принциповою новизною такого дугового індукторного електрогенератора є комбіноване встановлення постійних магнітів та обмоток збудження з певними значеннями магнітної індукції, що дає можливість забезпечити регульованість, наприклад, за допомогою напівпро-

відникового комутатора. При відсутності струму збудження основний магнітний потік замикається через спинку магнітопроводу, зменшуючи пусковий опір ВУ з нерухомого стану. Після початку руху лопатей поступово збільшується струм збудження і відповідно потужність електрогенератора. Рухомими активними елементами ротора такого електрогенератора є лише дискретні зубцеві осердя, закріплені на діаманітному каркасі. Тепер продовжуються наукові дослідження з метою обгрунтування оптимального варіанта такого ІГ для БВЕГ.

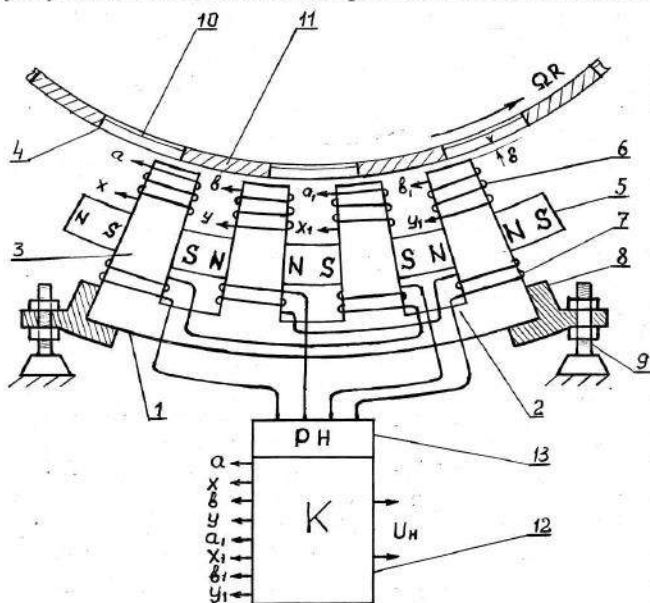


Рис.5. Схема конструкції дугового індукторного електрогенератора: 1 – магнітопровід статора; 2 – спинка магнітопроводу; 3 – полюсний стрижень; 4 – кільцеподібний ротор; 5 – постійні магніти; 6 – якірні обмотки статора; 7 – обмотки збудження; 8 – корпус тримача; 9 – регулювальний гвинт; 10 – обід кільця; 11 – осердя зубця; 12 – комутатор; 13 – регулятор напруги

Висновки.

1. Розроблена математична модель пускового крутного моменту для лопатей трапецієподібної форми із закруткою дає можливість уточнити їх стартовий кут заклинення в алгоритмі регулювання.

2. Суттєве зменшення енергетичних втрат у механізмах мультиплікації та передавання з вала вітродвигуна до електрогенератора можливе при застосуванні конструктивної схеми БВЕГ з кільцеподібним ротором великого діаметра.

3. У запропонованій конструкції БВЕГ в найбільшій мірі для АВЕУ перспективні електрогенератори індукторного типу та магнітоелектричні генератори з постійними магнітами.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Неисчерпаемая* энергия. Кн.1. Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков. нац. аэрокосм. ун-т. «Харьк. авиац. ин-т.», Севастополь: Севаст. Нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.
 2. *Фатеев Е.М.* Ветродвигатели и ветроустановки/ Е.М. Фатеев. – М. : Сельхозиздат. 1957, - 536 с.
 3. *Трегуб М.І.* Обґрунтування геометричних параметрів ротора вітроустановки для пуску при малих швидкостях вітру // Міжвід. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства - 2009.-Вип. 93.-С.303-310.
 4. *Головка В.М., Вакал Є.С.* Визначення альтернативних рішень побудови структурних схем геліовітроенергетичного обладнання для процесів узгодження з енергопотребами об'єктів сільськогосподарського виробництва// Зб. пр. Інст. електродинаміки НАН України, -К.- 2002.-№2,- С. 87-90.
 5. *Жданович Л.О.* Шляхи підвищення ефективності малої вітроенергетики// Нова тема, К.- 2010.- №2(25).-С.42-46.
 6. *Трегуб М.І.* Обґрунтування типів та функціональних параметрів вітроустановок в сільському господарстві.//Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвід. темат. наук. зб., - 2007 - Вип.91.-С.142- 148.
 7. *Безредукторна* вітроенергетична установка. Пат. кор. мод. UA, №32851, F 03D 1/00, Трегуб М.І., заявл.19.03. 2007, опубл.10.06.2008, бюл. №11.
 8. *Індукторний* дуговий електрогенератор. Патент на винахід.№95048, UA, H02K 21/38, H02K 21/48, H02P 9/10 (2006.01), Трегуб М.І., Козирський В.В., заяв. 11.10. 2010, опубл.25. 06.2011, бюл.№12.
-

ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУСКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕТРОУСТАНОВОК ДЛЯ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ВЕТРОВ

В статье приведена математическая модель пускового крутящего момента лопасти трапецеобразной формы с закруткой поверхности, рассмотрены принципиальные и конструктивные схемы ветроэлектрогенераторов для эффективного использования низкоскоростных ветров.

Ключевые слова: безредукторная ветроустановка, оптимальный пусковой угол установки, пусковой момент.

INCREASE OF INDEXES OF STARTING AND ELECTROMECHANICS TRANSFORMATION OF WIND TURBINE FOR LOWSPEED WINDS

In the article the mathematical model of starting twisting moment of blade of trapezoid form is resulted with the rollup of surface, the of principle and structural charts of wind elektrogenators are considered for the effective use of low-speed winds.

Key words: unreduced windtubines, optimal starting angel of installation, starting moment.

УДК 629.017

УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА

М.А. Подригало, докт. техн. наук, проф.,

Д.М. Клец, канд. техн. наук,

В.В. Кириященко,

Харьковский НАДУ;

В.М. Третяк, канд. техн. наук,

ННЦ «ИМЭСХ»

Розглянуто стійкість руху транспортного машинно-тракторного агрегату проти заносу в тяговому режимі та гальмуванні.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, гальмування, стійкість руху, занос.

Введение. Реализация тяговой динамики тракторного поезда является одной из наиболее актуальных задач обеспечения его эффективной и безопасной работы. Динамика тракторного поезда рассматривается

© М.А Подригало, Д.М. Клец, В.В Кириященко, В.М. Третяк.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 95. 2011.