

возобновляемые энергетики промежуточным энергоносителем, который позволяет использование энергии поверхностных волн, широкого спектра скоростей ветра, тепловую энергию солнечного света, биогаз и биомассы.

INTERMEDIATE KEEPER OF ENERGY AND CONNECTING OF THE RENEW AND TRADITIONAL ENERGY SOURCES

The increasing of contribution of wind power engineering in energy balance of Ukraine requires the decreasing of cost of the established kilowatt and produced kilowatt –hour. New possibility for achievement of that are appeared if basis- and renew-power engineering are connected by intermediate keeper of energy, including in the use the energy of surface wave, the big spectrum of wind velocity, thermal energy of sun light biogas and biomass.

УДК 620.92

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІТРОУСТАНОВОК

М.І. Трегуб, канд. техн. наук

Білоцерківський НАУ

Розглянуті теоретичні та практичні методи підвищення пускового моменту та ефективного використання енергії вітру при малих швидкостях.

Проблема. На території України більша частина сільськогосподарських угідь розташована на місцевостях з середньорічною швидкістю вітру близько 4 м/с. При таких середньорічних швидкостях вітру використання вітроустановок (ВУ) вважається економічно недоцільним [1]. Однак багатовіковий досвід використання вітрових млинів на Україні спростовує такі однозначні висновки. Проте конструкції сучасних ВУ мають одноцільову структуру, тобто розраховані на якісь одні оптимальні параметри, як правило, при високих швидкостях вітру. Дво- і трилопатеві швидкохідні ротори мають низькі пускові показники (приємність [1]), тому потребують суттєвого вдосконалення при пуску в роботу при мінімальних швидкостях вітру. Одночасно для ефективнішого електромеханічного перетворення енергії необхідно розробити досконаліші конструкції вітроелектрогенераторів з меншими втратами потужності на збудження.

© М.І. Трегуб.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 94. 2010.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему підвищення енергоефективності сільськогосподарських ВУ останнім часом в Україні досліджували М.О. Михайлов (1997), С.О. Кудря (2001), П.Ф. Васько (2002), В.М. Головка (2004), якими були розвинуті напрями вдосконалення різних елементів і розроблені моделі економічної доцільності використання ВУ. Нові узагальнення розвитку вітроенергетики в Україні виконані В.С. Кривцовим, А.М. Олейніковим, А.І. Яковлевим у підручниках [2, 3]. Однак питання вискоєфективного використання нижнього діапазону швидкостей вітру потребують подальших досліджень.

Мета досліджень. Обґрунтування напрямів удосконалення сільськогосподарських вітроустановок з підвищеною ефективністю використання малих швидкостей вітру.

Методи досліджень. Теоретичне обґрунтування виконували на основі відомих залежностей тривалості роботи ВУ при відповідних середньорічних швидкостях вітру. Експериментально здійснювалася перевірка розрахункових методів за допомогою лабораторної моделі, виконаної з врахуванням критеріїв подібності.

Результати досліджень. Вибір типу ВУ традиційно виконували за даними метеорологічних спостережень середньорічної швидкості вітру, нанесених на географічну мапу. Але на підставі таких наближених показників інколи робилися помилкові висновки про цілковиту неперспективність використання вітрової енергії на даній місцевості. Значно точніші дані можна отримати шляхом проведення анемометричного моніторингу локальних вітроенергетичних потенціалів сільської місцевості. Так за результатами досліджень [4] встановлено, що навіть на території одного господарства середньодобові швидкості вітру можуть суттєво відрізнятися. При цьому було запропоновано конструкцію дистанційного анеморумбометра [5], з можливістю підключення його до комп'ютера. Таким чином першою умовою вискоєфективної роботи вітроустановки є вибір майданчика на місцевості з визначеним локальним максимумом вітрової активності.

Наступним важливим методом підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарських ВУ є розширення робочого діапазону швидкостей вітру в напрямі мінімалізації пускових значень. Якщо проаналізувати графік повторюваності миттєвих швидкостей вітру для місцевості (наприклад, Київської області) з середньорічною швидкістю 4 м/с [3] і одночасно зобразити розрахункову залежність річної тривалості роботи ВУ при різних пускових швидкостях (рис. 1), то стає очевидним, що мінімалізація пускових швидкостей суттєво збільшує трива-

лість роботи. Наприклад, коли пускова швидкість v_n (рис. 1) буде 1,5 м/с, то ВУ працюватиме близько 8100 годин, або безперервно близько 338 діб на рік. При пусковій швидкості вітру 4 м/с, що найбільш реально для більшості ВУ, річна тривалість роботи вірогідно буде вже 5200 годин, а безперервно близько 217 діб.

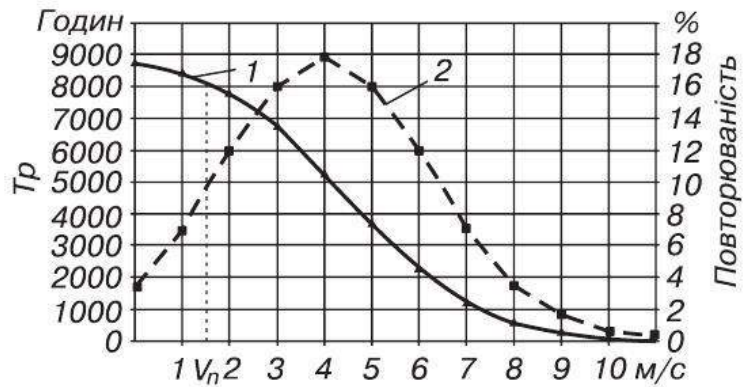


Рис. 1. Розрахункова річна тривалість роботи вітроустановки ТВ (1) та повторюваність вітру (2) на місцевості з середньорічною швидкістю вітру 4 м/с (за даними М.М. Поморцева [1])

З графіка також видно, що при номінальній розрахунковій швидкості вітру, наприклад, 8 м/с, яку вибирають [1] на такій місцевості, ВУ працюватиме з номінальною потужністю тільки 500 годин протягом року, або безперервно лише 21 добу. Звідси стає зрозумілим, чому використання ВУ на територіях з середньорічною швидкістю вітру близько 4 м/с вважається [3] економічно недоцільним, оскільки коефіцієнт використання встановленої потужності (КВП) буде надто низьким. До цього слід додати, що розміри аеромеханічної частини ВУ для отримання необхідної потужності при менших швидкостях вітру збільшуватимуться [1] приблизно в квадраті.

Однак для використання вітрової енергії в якості автономного джерела живлення на віддалених сільськогосподарських угіддях саме підвищення ефективності використання малих швидкостей вітру є найбільш актуальним. В попередніх публікаціях [6] було показано аналітичний метод визначення оптимального кута заклинення елементарної ділянки лопаті, при якому створюється максимальний пусковий момент. Було також експериментально досліджено на лабораторній моделі залежність відносних пускових моментів при різних кутах заклинення, де отримано тісне співпадіння з розрахунковими даними. Проте підвищення пускового моменту вітродвигуна лише шляхом встановлення оптимального пускового кута заклинення лопаті не дозволяє наблизити його значення до величини, що забезпечує надійний запуск в роботу при мінімальній швидкості вітру. Тому було запропоновано конструкцію лопатевого ротора вітродвигуна [7], в якому адаптивно до швидкості вітру змінюється загальна площа і геометрична форма вітросприймаючої поверхні лопатей. Для цього лопаті мають висувні закрилки 2 (рис. 2)

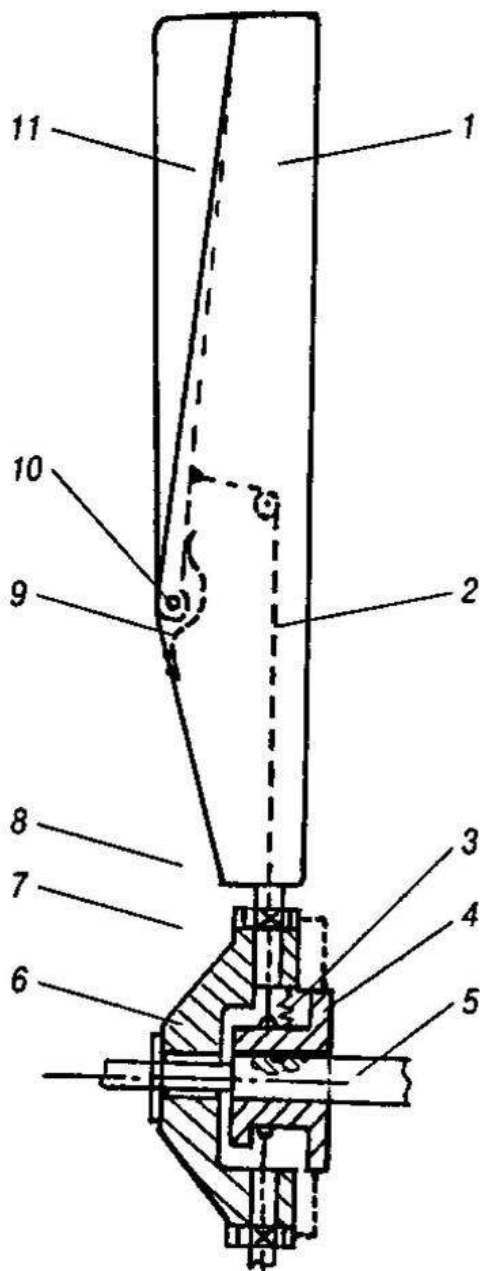


Рис. 2. Будова лопаті змінної геометричної форми: 1 — площина лопаті; 2 — тросова тяга; 3 — розпірна пружина; 4 — маточина ротора; 5 — вал; 6 — цапфа лопатей; 7 — механізм повороту лопаті; 8 — вісь лопаті; 9 — пружина закрilка; 10 — вісь висувного закрilка; 11 — висувний закрilок

перетворення та проміжних процесів можна оцінити загальний енергетичний ККД. Так, на рис. 3 зображено схему визначення загального ККД перетворення і використання ВЕ в технологічних процесах.

які під час зупинки вітродвигуна повністю висовуються з пазів, найбільше розширюючи периферійну частину, а після пуску при зростанні частоти обертання поступово ховаються і лопать постійно набуває геометричної форми, оптимальної для відповідної швидкості вітру.

Звичайно, що в природі ми можемо спостерігати у багатьох літаючих комах подібні досконалі засоби зміни аеродинамічних параметрів крила, наприклад, хітинові підкрилки у жуків, або двійні крильця мух, метеликів і бабок. Природа вже давно багатоваріантно вирішила ці складні оптимізаційні задачі.

Але складність технічної реалізації лопатей адаптивно змінної геометричної форми головним чином залежить від розмірів, а відтак і розрахункової потужності вітродвигуна, що пов'язано з проблемами міцності та надійності конструкції. Проте нинішній швидкий розвиток техніки і технологій дозволяє вже сьогодні технічну реалізацію запропонованих лопатевих роторів ВУ, починаючи з менших типорозмірів, які найбільше застосовуються саме в сільському господарстві.

Не менш важливим завданням підвищення загальної енергоефективності вітроенергетичної системи (ВЕС) є мінімалізація стадій видових і параметричних перетворень первинної механічної енергії. Після вибору стадій

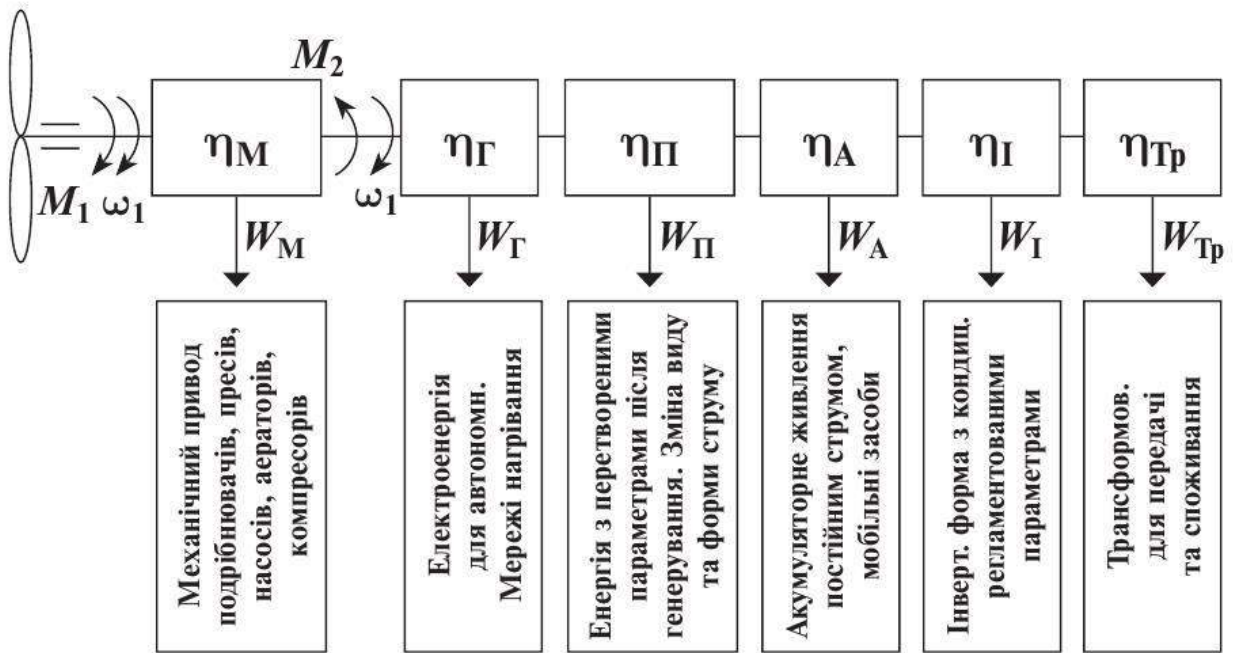


Рис. 3. Структурна схема визначення загального ККД видових і параметричних перетворень вітрової енергії в технологічних процесах: M_1 , M_2 та ω_1 , ω_2 відповідно крутні моменти та частоти обертання валів вітрогенератора і генератора, η_M , η_G , η_P , η_A , η_I , η_{Tr} — енергетичні ККД відповідно механічної передачі, електрогенератора, параметричного перетворювача, акумулятора, інвертора, трансформатора з відповідним вихідним потоком (w) енергії

Зображена структурна схема дозволяє визначити напрями підвищення загального енергетичного ККД ВЕС як шляхом оптимізації стадій видових і параметричних перетворень енергії, так і підвищенням енергоефективності технічних засобів всього електромеханічного комплексу. Якщо припустити, що в середньому ККД кожної з шести зображених стадій перетворення не нижче 80%, то загальний ККД передачі отриманої кондиційованої енергії до енергоспоживача становитиме близько 32%. Враховуючи навіть максимальний практично досяжний коефіцієнт перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію вітрогенератора 45% [3], загальний ККД використання енергії вітру буде лише 14%. З цього можна зробити висновок, що мінімізація стадій видових і параметричних перетворень вітрової енергії для виконання роботи технологічного процесу є значним резервом підвищення енергоефективності автономних сільськогосподарських вітроенергетичних систем. Хоч при малих швидкостях вітру потужність ВУ значно менша, однак протягом року слабші вітри спостерігаються майже щоденно, що суттєво збільшує коефіцієнт використання встановленої потужності. Поставлене завдання підвищення енергоефективності ВУ

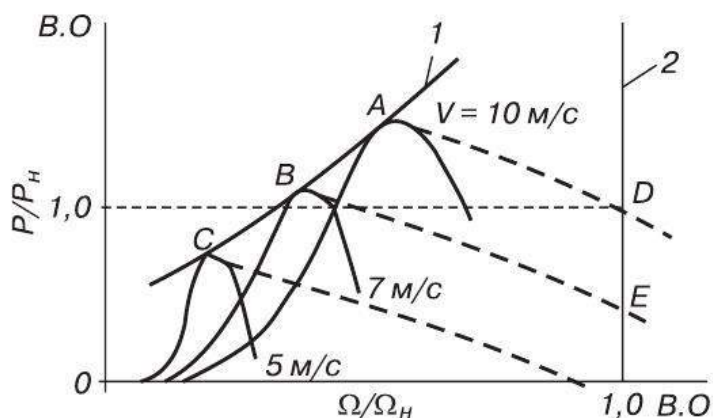


Рис. 4. Відносні втрати потужності при узгодженні частоти обертання вітродвигуна та електрогенератора в процесі мультиплікації: 1 — механічна характеристика вітродвигуна при різних швидкостях вітру; 2 — механічна характеристика електрогенератора зі сталими обертами ротора

редавальних механізмах до електрогенератора можна показати, зобразивши їх типові механічні характеристики (рис. 4).

Так, якщо встановлювати серійний електрогенератор з номінальною сталою частотою обертання (крива 2, рис. 4), то при змінній частоті обертів вала вітродвигуна (крива 1) виникає необхідність застосування механізму мультиплікації з тим більшим передаточним числом, чим більша різниця частоти обертання. При розрахунковій швидкості вітру 10 м/с, як видно з рис. 4, номінальна потужність генератора (т. D) досягається при значній втраті потужності вітродвигуна (т. A), а при швидкості вітру 5 м/с, коли потужність вітродвигуна (т. C) ще становить значну частину номінальної потужності генератора, втрати на мультиплікацію можуть бути такі великі, що генератор навіть не запускається. Відомо [3], що на сучасних імпортованих потужних вітроустановках ВУ передаточне число мультиплікації сягає більше 50 і великий гальмівний момент опору не дозволяє при їх встановленні ефективно використовувати малий та середній вітроенергетичний потенціал на більшості території України.

Опір механізмів мультиплікації на подолання інерції обертових мас, в'язкісні та тертьові складові роблять зростання опору нелінійним, тобто опір зростає дещо швидше [8], ніж передаточне число. У зв'язку з цим для суттєвого підвищення енергоефективності сільськогосподарських вітроустановок перспективними є конструкції безредукторного типу. Однак у багатьох випадках такі конструкції безредукторних вітроелектричних генераторів виконують за класичною схемою, збільшуючи

при малих швидкостях вітру можна виконати також, застосовуючи безредукторні конструкції вітроелектрогенераторів, оскільки опір та втрати у механізмі мультиплікатора надто великі, що особливо відчутно при значних передаточних числах, коли для початку обертання необхідні значні швидкості вітру, близькі до номінальних. Досить наочно величину втрат механічної енергії при мультиплікації частоти обертів вітродвигуна в пе-

діаметр ротора та статора, але при цьому одночасно погіршуються масогабаритні показники та енергетичний ККД за рахунок збільшення довжини магнітопроводів та потоків розсіювання. Одним з нових технічних рішень є запропонована безредукторна вітроустановка [9], в якій функцію ротора електрогенератора виконує встановлене на валу вітродвигуна інерційне кільце великого діаметра з магнітопровідними сегментами, а статор дугоподібної форми закріплений на поворотній стійці. Тут досягається велика відносна швидкість індукторних виступів ротора з мінімальним зазором до зубців статора з одночасною можливістю регулювання кута атаки основних лопатей, що не вдавалось при інших конструкціях.

Висновки. Важливими завданнями підвищення аеродинамічної енергоефективності сільськогосподарських ВУ є вибір майданчика на місцевості з визначеним локальним максимумом вітрової активності та розширення діапазону робочих швидкостей вітру в бік мінімальних значень. Суттєво підвищити пусковий момент і підтримувати максимальне значення робочого моменту при мінімальних швидкостях вітру можна при застосуванні запропонованої конструкції лопатевого ротора з адаптивно змінною геометричною формою лопатей.

Удосконалення вітроелектричних генераторів для автономних ВЕС доцільно здійснювати шляхом застосування безредукторних вітроелектрогенераторів з широким діапазоном варіації потужності генерування в режимі максимального аеромеханічного ККД.

Перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку. Найбільш актуальними питаннями, що потребують подальших досліджень, є обґрунтування енергоефективних методів регулювання безредукторних вітроенергетичних установок в режимі максимального аеромеханічного ККД.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Фатеев Е.М.* Ветродвигатели и ветроустановки / Е.М. Фатеев. — М.: Сельхозиздат, 1957. — 536 с.
2. *Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.* Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы: Учебник. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. — 400 с.
3. *Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.* Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: Учебник. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т., 2004. — 519 с.
4. *Трегуб М.І., Клименко В.П.* Напрями підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарських вітроустановок // Матер. 9 міжнар. конф. “Відновлювана енергетика 21 століття”. — АР Крим, 2008. — С. 176–178.

5. *Трегуб М.І.* Дистанційний анеморумбометр. Д.п. к. мод. № 18641, МПК(2006) G01P 5/02., заяв. 22.05.2006. Опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11.
6. *Трегуб М.І.* Обґрунтування геометричних параметрів ротора вітроустановки для пуску при малих швидкостях вітру // Міжвід. тематич. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства. — 2009. — Вип. 93. — С. 391.
7. *Козирський В.В., Трегуб М.І.* Лопатевий ротор вітроустановки. Д. п. к. мод. № 41311 МПК F03D1/00, F03D 3/02, заяв. 22.01.2009. опубл. 12.05.2009. Бюл. № 9.
8. *Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др.* Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов / Под ред. К.В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1987. — 496 с.
9. *Трегуб М.І.* Безредукторна вітроенергетична установка Д. п. к. мод. № 32851, МПК F03D1/00, заяв. 19.03. 2007. Опубл. 10.06.2008. Бюл. № 11.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАПАЗОНА МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Приведены теоретические и практические методы повышения пускового момента и эффективного использования энергии ветра с низкими рабочими скоростями.

IMPROVEMENT THE CONSTRUCTIONS OF AGRICULTURAL WINDTURBINE WITH ENHANCEABLE THE EFFECTIVE USES OF RANGE OF MINIMUM SPEEDS OF WIND

The theoretical and practical methods of increase of starting moment of the effective use of energy of wind are resulted with minimum workings speeds of wind.

УДК 621.548, 621.311.24

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ЯКОСТЕЙ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДНОГО АГРЕГАТУ

В.В. Козирський, докт. техн. наук, **А.В. Петренко**, асп.

НУБіП України

В.І. Жоров, канд. техн. наук,
С.В. Жоров, Д.В. Тимощук, інженери
ННЦ "ІМЕСГ"

Показано, що за середньорічних швидкостей вітру 6–8 м/с, виробіток енергії регульованим вітроелектричним зарядним агрегатом на 27–50% вище, ніж нерегульованим. Запропоновано методику уточненого розрахунку виробітку енергії вітроелектричними установками.

© В.В. Козирський, А.В. Петренко, В.І. Жоров, С.В. Жоров, Д.В. Тимощук.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 94. 2010.