

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.

Проблема. Виробіток енергії вітроелектричною установкою (ВЕУ) важливо знати для розрахунку енергобалансу господарства, порівняння ВЕУ між собою та з іншими джерелами енергопостачання, обґрунтування конструктивних параметрів вітроенергетичних комплексів, визначення доцільних режимів вітровикористання.

На даний час виробіток ВЕУ розраховують за спрощеною методикою [1–3], у відповідності з якою коефіцієнт використання енергії вітру повітряним ротором (вітродвигуном) вважається постійним, чисельно рівним середньому з отриманих на практиці поточних значень. Дане припущення суттєво зменшує трудомісткість розрахунків і стосовно визначення орієнтовних обсягів енергопостачання є цілком прийнятним. Але обґрунтування ефективних конструктивних рішень не уявляється можливим без розгляду поточних режимів функціонування системи “ВЕУ–навантаження”, в процесі якого виробіток енергії ставиться в залежність від взаємної узгодженості характеристик потужності ВЕУ та навантаження. Теоретично можна припустити, що із зміною швидкості вітру характеристики потужності повітряного ротора та навантаження змінюється таким чином, що їх графіки весь час перетинаються в зоні максимальних значень потужності. За цієї умови матимемо найбільший виробіток енергії генератором й найкраще вітровикористання. В дійсності, в залежності від типу та величини навантаження, наявності чи відсутності регулятора навантаження, характеристик регулятора, процес перетворення енергії вітру в механічну роботу відбувається менш ефективно.

Мета досліджень. Розробити уточнений метод визначення річного виробітку енергії, на його основі проаналізувати зв’язок між величиною виробітку та режимами роботи ВЕУ, встановити доцільні режими вітровикористання та обґрунтувати відповідні конструктивні рішення.

Результати досліджень. Пропонований метод визначення річного виробітку енергії ВЕУ, як і подібні йому, базується на врахуванні двох факторів — потужності та часу. Розрахункова формула виробітку має наступний вигляд

$$A = \left(\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i \cdot \eta_{gi} + N_{\text{lim}} \cdot \eta_{g\text{lim}} \cdot \sum_{j=1}^m t_j \right) \cdot \eta_m \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де A — виробіток енергії електричним генератором ВЕУ за рік експлуатації, кВт·год; i — порядковий номер градації діапазону робочих швидкостей вітру від мінімальної робочої швидкості v_{min} до граничної робочої швидкості v_{lim} , при досягненні якої вступає в дію обмежувач

потужності вітродвигуна; n — кількість таких градацій діапазону робочих швидкостей вітру від v_{\min} до v_{\lim} ; N_i — потужність вітродвигуна за i -ї швидкості вітру, Вт; t_i — річна повторність вітру i -ї швидкості, год; η_{gi} — коефіцієнт корисної дії електричного генератора за i -ї швидкості вітру; N_{\lim} — гранична потужність вітродвигуна, яка має місце за n -ї та j -ї швидкостях вітру, Вт; $\eta_{g \lim}$ — коефіцієнт корисної дії генератора під час роботи в режимах граничної потужності; j — порядковий номер градації діапазону робочих швидкостей вітру від v_{\lim} до граничної максимальної робочої швидкості $v_{\lim \max}$, при перевищенні якої спрацьовує механізм виведення вітродвигуна з-під вітру; m — кількість таких градацій діапазону робочих швидкостей вітру від v_{\lim} до $v_{\lim \max}$; t_j — річна повторність j -ї швидкості вітру, год; η_m — коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Потужність вітродвигуна за i -ї швидкості вітру знаходиться у відповідності з виразом [4]

$$N_i = \rho \cdot \frac{v_i^3}{2} \cdot F \cdot \xi_i, \quad (2)$$

де ρ — густина повітря (при зовнішній температурі $+10^\circ\text{C}$ та нормальному атмосферному тиску $101,3 \text{ кПа}$ $\rho=1,25 \text{ кг/м}^3$); v_i — швидкість вітру i -ї градації або i -та швидкість вітру, м/с; F — площа сліду обертання лопаток повітряного ротора, м^2 ,

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (3)$$

D — зовнішній діаметр повітряного ротора, м; d — внутрішній (по кінцях махів) діаметр повітряного ротора, м; ξ_i — коефіцієнт використання енергії вітру i -ї швидкості.

З врахуванням формули (3) та числового значення густини повітря, вираз (2) можна подати у вигляді (4)

$$N_i = 0,491 \cdot (D^2 - d^2) \cdot v_i^3 \cdot \xi_i. \quad (4)$$

Крім того, за умови $i=n$ матимемо граничну потужність вітродвигуна

$$N_n = N_{\lim}. \quad (5)$$

Вирази (2) та (4) являють собою рівняння, аргументом яких є коефіцієнт використання, а функцією — потужність вітродвигуна. Із виразу (2) випливає, що коефіцієнт використання енергії вітру за його i -ї швидкості дорівнює відношенню потужності на валу повітряного ротора до потужності вітрового потоку через слід обертання лопаток ротора

$$\xi_i = \frac{N_i}{0,5 \cdot \rho \cdot v_i^3 \cdot F} = \frac{N_i}{N_{vi}}, \quad (6)$$

де N_{vi} — потужність вітрового потоку через слід обертання лопаток, Вт.

В залежності від навантаження N_i коефіцієнт використання і частота обертання ротора можуть приймати різні значення. Так, при відсутності навантаження, корисна потужність дорівнює нулю. Отже, коефіцієнт використання теж дорівнює нулю. При цьому ротор обертається з найбільшою частотою обертання, яка називається синхронною. Аналогічним чином, корисна потужність та коефіцієнт використання загальмованого ротора дорівнюють нулю. Частота обертання загальмованого ротора теж дорівнює нулю. Між цими двома режимами знаходиться безліч робочих режимів, які реалізуються при зміні потужності навантаження ротора від нуля до граничного значення N_{lim} . Сказане вище підтверджується в процесі зняття робочих характеристик вітродвигуна в аеродинамічній трубі. Щоб зняти залежність $N_i=f(n)$, де n — частота обертання вітродвигуна, в трубі штучно створюється повітряний потік i -ї швидкості, яким ротор приводиться в рух з синхронною частотою обертання. Далі, за допомогою електромагнітного гальма, створюється декілька різних за потужністю режимів навантаження, в яких знімаються дані про частоту обертання та гальмівну силу. На їх основі розраховуються та будуються у функції від частоти обертання криві обертового моменту та потужності ротора. Якщо криві потужності подаються в безрозмірному вигляді, вони зливаються в одну безрозмірну криву залежності коефіцієнта використання від швидкохідності ротора $\xi=f(z)$ [5, 6]. Ця крива справедлива й для інших геометрично подібних повітряних роторів. Наявність безрозмірних кривих $\xi=f(z)$ для різних повітряних роторів дозволяє, виконуючи дії в зворотному порядку, побудувати сімейство робочих характеристик вітродвигуна конкретного вітроелектричного агрегату. Для цього, на осі абсцис безрозмірної типової кривої даного вітродвигуна в усьому діапазоні зміни швидкохідності від нуля до синхронного значення вибирається 7–8 рівномірно розташованих точок, для яких на осі ординат відносяться відповідні значення коефіцієнта використання, за якими у відповідності з виразом (4) розраховується потужність ротора в даних режимах роботи.

Частота обертання вітродвигуна в зазначених режимах роботи розраховується за формулою [7]

$$n_k = \frac{60 \cdot v_i \cdot z_k}{\pi \cdot D}, \quad (7)$$

де k — порядковий номер точки, виділеної на осі швидкохідностей.

Так віднаходяться 7–8 пар значень потужності ротора та його частоти обертання, необхідних для побудови робочої характеристики вітродвигуна за i -ї швидкості вітру. Такі ж розрахунки проводяться для інших градацій швидкості вітру в діапазоні від мінімальної робочої швидкості до граничної робочої швидкості вітру з кроком градації діапазону робочих швидкостей 1 м/с. В результаті визначаються дані, за якими будується сімейство робочих характеристик вітродвигуна (рис. 1, крива 1).

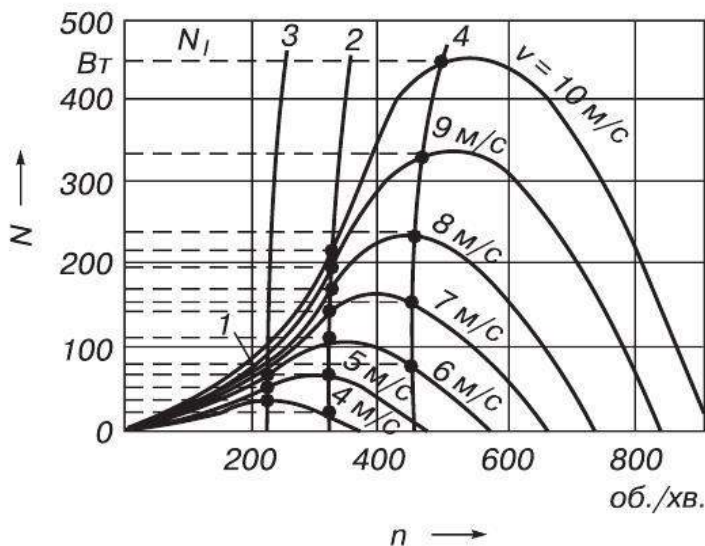


Рис. 1. Робочі характеристики дволопатевого швидкохідного повітряного ротора діаметром 1,7 м (1) та приведені до його вала характеристики потужності нерегульованого (2) та регульованого двоступеневим способом (3, 4) акумуляторного навантаження

єю на повітряний ротор, залежить від споживаної потужності батареї та коефіцієнта корисної дії електричного генератора

$$N = (U \cdot I) / \eta_g, \quad (8)$$

де U — напруга на затискачах батареї, В; I — зарядний струм, А.

Зарядний струм визначається різницею прикладеної напруги та електрорушійної сили, а також величиною внутрішнього опору [8]

$$I = \frac{1}{R} \cdot (U - e), \quad (9)$$

крива 1).

Для отримання чисельних значень N_i , необхідних для розрахунку за формулою (1) виробітку енергії, на криві 1 потужності ротора (рис. 1) наносяться криві 2–4 потужності навантаження. Шукані значення N_i віднаходяться на осі ординат шляхом проектування на дану вісь точок перетину зазначених кривих потужності. Криві 2–4 будуються на основі досліджень процесу зарядки окремої акумуляторної батареї.

Навантаження, створюване акумуляторною батареєю

де e — електрорушійна сила акумуляторної батареї, В; R — внутрішній опір батареї, Ом.

Якщо знехтувати втратою напруги в обмотці генератора та з'єднувальних проводах, напруга на затискачах батареї дорівнюватиме напрузі на виході генератора, а остання — електрорушійній силі генератора. За цих умов напруга на акумуляторній батареї запишеться у вигляді

$$U = (U_0/n_0) \cdot n = c_0 \cdot n, \quad (10)$$

де U_0 — напруга холостого ходу генератора ВЕУ, В; n_0 — відповідна частота обертання генератора (повітряного ротора), об./хв; c_0 — стала генератора, яка визначається з досліду холостого ходу; генератор ГВА-0,16Т-26/15 зарядних агрегатів ВЕ-2 та АВЕУ-2 має два значення цієї сталої: $c_{01}=0,087$ В/(об./хв) та $c_{02}=0,050$ В/(об./хв) у відповідності до наявності двох схем з'єднання статорної обмотки [9, 10], а задіяний в даній роботі — одну: $c_0=0,040$ В/(об./хв); n — поточна частота обертання, об./хв.

З урахуванням виразів (9) та (10), формула (8) потужності навантаження, створюваного на вітродвигун акумуляторною батареєю, запишеться в наступному вигляді

$$N = \frac{1}{R \cdot \eta_g} \cdot c_0 \cdot n(c_0 \cdot n - e). \quad (11)$$

Запис (8) у формулі (11) зв'язує потужність навантаження з частотою обертання повітряного ротора й дозволяє розглядати характеристики потужності вітродвигуна та навантаження в загальних координатних осях (рис. 1).

Частота обертання повітряного ротора, за якої розпочинається зарядка акумуляторної батареї, визначається з виразу (11) за умови $N=0$:

$$N = e/c_0. \quad (12)$$

Гранична частота обертання ротора, за перевищення якої вмикається гальмівний опір та припиняється зарядка, визначається за аналогічною формулою

$$n_{\text{lim}} = U_{\text{lim}}/c_0, \quad (13)$$

де U_{lim} — верхня межа зарядної напруги, яка приймається в межах 14,5–15 В.

Як показали експериментальні дослідження, внутрішній опір акумуляторної батареї не залишається постійним, а змінюється в за-

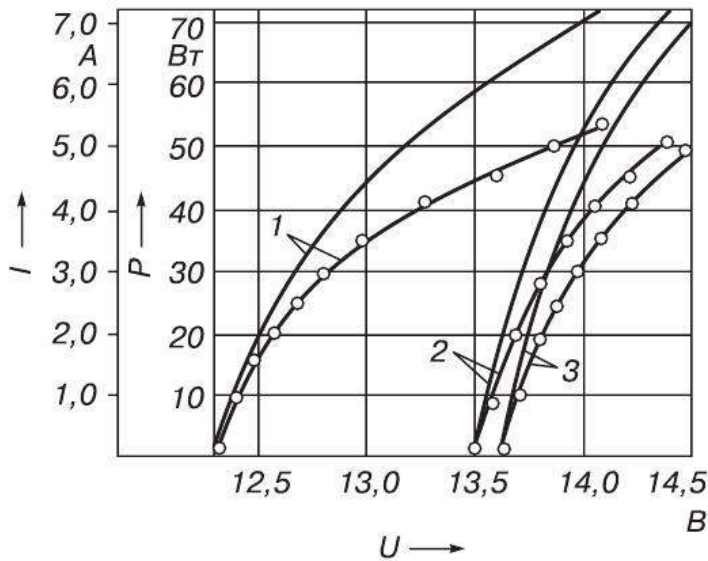


Рис. 2. Експериментальні залежності зарядного струму (---○---) та споживаної потужності (-----) від напруги на затискачах акумуляторної батареї 6СТ-55: 1 — початок зарядки нормально розрядженого акумулятора; 2 — через годину від початку зарядки струмом 5 А; 3 — через чотири години від початку зарядки

лежності від величини зарядного струму. Із збільшенням зарядного струму, опір збільшується і приймає значення від 0,1 Ом до 0,3 Ом (батарея 6СТ-55), що пояснюється збільшенням газонаповнення електроліту. Зарядний струм, в свою чергу, змінюється із зміною різниці між прикладеною напругою та електрорушійною силою. Електрорушійна сила теж не залишається сталою, а зростає у міру зарядки акумуляторної батареї. Напруга на затискачах батареї змінюється у відповідності із зміною вітрової

ситуації. Сумісна дія названих чинників обумовлює стан, за якого процес зарядки акумуляторної батареї, наприклад 6СТ-55 (рис. 2), може розпочинатися за прикладеної напруги від 12,3 В до 13,7 В, а закінчуватись, наприклад за 14,5 В. Відповідним чином, згідно виразам (12) та (13), частота обертання повітряного ротора на початку зарядки може приймати значення від 307 об./хв до 342 об./хв, а під кінець досягати межі — 362 об./хв. В кожному із зазначених режимів споживана потужність може приймати безліч значень від нуля за напруги початку зарядки до максимального — 72,5–85 Вт за граничної величини прикладеної напруги. В цілому, під час роботи вітроелектричного зарядного агрегату, споживана батареєю потужність утворює масив значень, покриваючих площину між кривими потужності 1 та 3 (рис. 2).

Оскільки врахування всіх чинників формування навантаження на вітрогенератор призводить до значного ускладнення методики розрахунку виробітку енергії, вважається доцільним припустити, що електрорушійна сила акумуляторної батареї є величиною сталою, яка дорівнює в середньому 13 В. За цієї електрорушійної сили зарядка батареї розпочинається завжди за частоти обертання ротора 325 об./хв та припиняється за 362 об./хв. У дійсності, припинення зарядки відбувається за дещо більшої частоти обертання в силу розмагнічування полюсів

(реакція якорю) та втрат напруги в обмотці якоря та з'єднувальних проводах.

Для співставлення потужностей вітродвигуна та навантаження, споживана потужність акумуляторної батареї збільшується на величину втрат потужності в електричному генераторі. У формулі (11) це враховується за допомогою коефіцієнта корисної дії генератора η_g . Аналіз літературних даних щодо коефіцієнта корисної дії електричних машин змінного струму потужністю до 1,5 кВт показує, що за зміни навантаження в межах 50–125% від номінального, відхилення коефіцієнта корисної дії від середнього значення не перевищують $\pm 5\%$. А за менших навантажень коефіцієнт корисної дії становить у середньому 0,75 від попереднього середнього значення. З врахуванням цього, а також показаних вище особливостей зарядки акумуляторної батареї, будуються криві 2–4 потужності акумуляторного навантаження (рис. 1).

Криві потужності навантаження (рис. 1) будуються для варіантів нерегульованого та регульованого двоступеневим способом вітроелектричних зарядних агрегатів з метою порівняння цих варіантів за виробітком енергії. Причому, навантаження нерегульованого агрегату (рис. 1, крива 2) формується в складі чотирьох паралельно з'єднаних акумуляторних батарей 6СТ-55, зарядка яких розпочинається за частоти обертання повітряного ротора 325 об./хв. Навантаження регульованого агрегату за кривою 3 нічим не відрізняється від навантаження нерегульованого, але зарядка розпочинається за частоти обертання 225 об./хв в силу того, що генератор цього агрегату має більшу в 1,4 раза кількість витків якірної обмотки. Крива 4 подає навантаження регульованого агрегату, яке створюється послідовним з'єднанням парно паралельно з'єднаних акумуляторних батарей 6СТ-55. Зарядка акумуляторного блока за цієї схеми з'єднання акумуляторів розпочинається за напруги 26 В, що відповідає частоті обертання повітряного ротора 450 об./хв. Система керування регульованим агрегатом налагоджена таким чином, що крива 3 реалізується за швидкості вітру від 4 м/с до 6 м/с, а крива 4 — за швидкості від 6 м/с та вище.

Як правило, в процесі розробки вітроелектричних зарядних агрегатів прагнуть одночасно задовольнити дві вимоги. Це — забезпечити як можна більшу тривалість використання та як можна більший виробіток енергії. Одночасне виконання цих вимог нерегульованим агрегатом зустрічає певні проблеми. Так, якщо припустити, що крива навантаження 2 (рис. 1) нерегульованого агрегату займає положення кривої 3 регульованого двоступінчастим способом, матимемо використання

енергії вітру в усьому діапазоні робочих швидкостей. Тобто, матимемо максимально можливу тривалість річної роботи. Але при цьому за швидкості вітру 6 м/с та вище більша половина потенційно доступної енергії вітру не використовується. Якщо ж припустити, що крива 2 займає положення кривої 4, матимемо навпаки високий коефіцієнт використання енергії вітру швидкістю 7 м/с та вище, але низький коефіцієнт використання слабкіших вітрів й низьку річну тривалість роботи. І тільки в компромісному положенні, яке займає крива 2, забезпечуються одночасно висока тривалість використання та порівняно високий річний виробіток електроенергії нерегульованим агрегатом. Причому, наведене стосується не всіх метеорологічних зон України, а тільки тих, де середньорічна швидкість вітру не перевищує 6 м/с.

Дійсно, за середньорічної швидкості вітру 4–5 м/с, річна повторність вітрів швидкістю 8 м/с та вище становить всього 6–16% [6]. Тому вплив цих вітрів, коефіцієнт використання енергії яких нерегульованим агрегатом є низьким (рис. 1), на загальний виробіток цього агрегату є маловідчутним. Якщо врахувати, що середньорічна швидкість вітру на більшій частині території України не перевищує 5,5 м/с [11], то застосування на цих територіях нерегульованих вітроелектричних зарядних агрегатів є цілком зрозумілим. Але на значній, хоч і меншій території, діють більш інтенсивні вітри, середньорічна швидкість яких перевищує 6 м/с. Так, біля Чорного моря ця швидкість досягає місцями 8 м/с. Зокрема, у Феодосійському лісництві середньорічна швидкість вітру дорівнює 6,7 м/с, на маяках Джарилгач — 7 м/с, Киз-Аульськ — 8,3 м/с. Підвищеним вітроенергетичним потенціалом відрізняється схід України, де середньорічна швидкість вітру досягає 6,7 м/с (Донецьк). У Карпатах та Кримських горах середньорічна швидкість вітру становить 6–6,5 м/с, зокрема на Ай-Петрі — 6,2 м/с, Пожижевській полонині — 6,5 м/с [5, 9, 11]. За цих середньорічних значень швидкості вітру сумарна річна повторність неефективно використовуваних нерегульованим агрегатом вітрів швидкістю 8 м/с та вище становить 29,8–57,3% річного часу, що різко негативно відбивається на величині річного виробітку енергії в порівнянні з потенційно доступним.

У зв'язку з вищенаведеним, проведено порівняння річного виробітку електроенергії нерегульованим та регульованим двоступеневим способом вітроелектричними зарядними агрегатами за різних значень середньорічної швидкості вітру (табл.). В основу розрахунку виробітку енергії покладено річні повторності вітру за розподіленням Поморцева, а для вітрів швидкістю 7 м/с та вище — за розподіленням Гуллена

Таблиця. Порівняння нерегульованого та регульованого двоступеневим способом вітроелектричних зарядних агрегатів за річним виробітком електричної енергії (діаметр повітряного ротора 1,7 м)

Показник	Середньорічна швидкість вітру, м/с				
	4	5	6	7	8
Тривалість роботи на рік, год	5300	6500	7300	7800 (6790)	8100 (6810)
Виробіток електричної енергії з затискачів генератора, кВт·год/рік:					
- потенційно доступний	313	540	824	1133 (972)	1398 (1160)
- нерегульованим агрегатом	271	432	598	747 (594)	863 (675)
- регульованим агрегатом	283	499	761	1044 (861)	1292 (1041)
Приріст виробітку енергії регульованим агрегатом, %	5	15	27	40 (45)	50 (54)

також (табл., в дужках). Як видно з таблиці, застосування регульованих вітроелектричних зарядних агрегатів у порівнянні з нерегульованими в районах з середньорічною швидкістю вітру 6–8 м/с забезпечує підвищення виробітку електроенергії на 27–50% за збереження високої тривалості використання — 7300–8100 годин на рік. За цих середньорічних вітрів річний виробіток з затискачів генератора складає 380–650 кВт·год на 1 м² площі розмаху ротора, що в розрахунку на затискачі акумуляторного блока становить 230–390 кВт·год.

Регульований двоступеневим способом агрегат складається з первинного перетворювача швидкості вітру Φ (рис. 3), виконаного у вигляді флюгера Вільда; який при посиленні вітру до 6 м/с діє на мікрореле SB1, який, у свою чергу, замикає свої контакти в колі живлення проміжного реле К. Якщо тривалість замкненого стану мікрореле SB1 є достатньо великою, конденсатор С встигає зарядитися, після чого спрацьовує проміжне реле К, перемикаючи своїм контактом К1, акумуляторні батареї GB1 та GB2 з паралельного з'єднання на послідовне. Витримка часу, яка забезпечується зв'язкою R–C, необхідна для того, щоб схема керування була нечутливою до короточасних змін швидкості вітру. Після зміни схеми з'єднання акумуляторних батарей, навантаження на вітродвигун зникає, оскільки напруга на акумуляторах

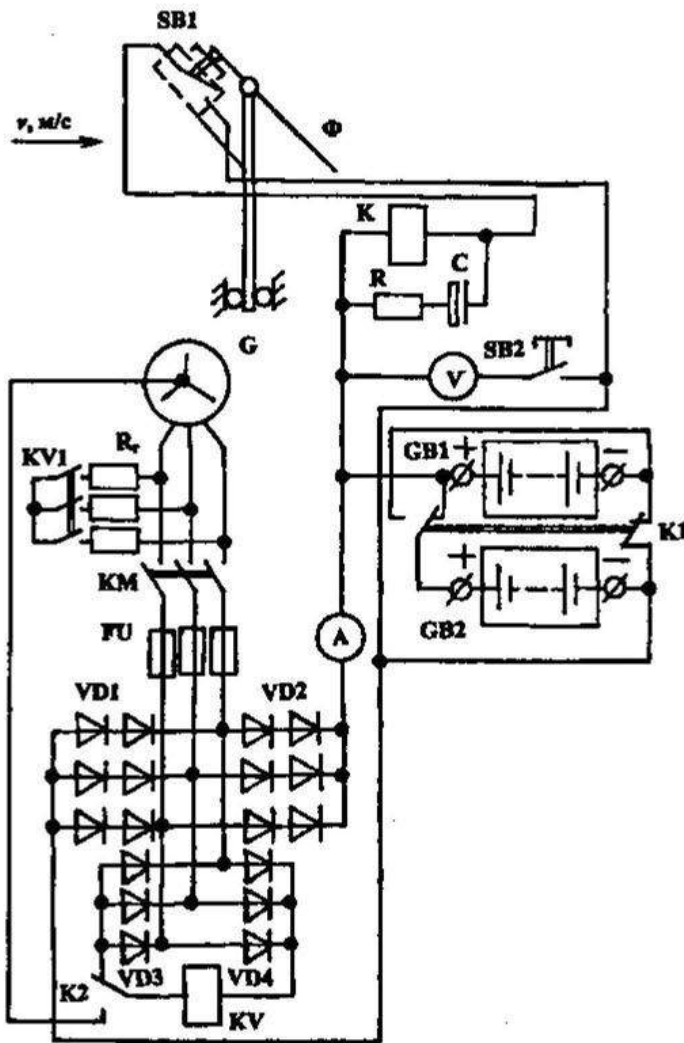


Рис. 3. Принципова електрична схема регульованого двоступеневим способом вітроелектричного зарядного агрегату (пояснення в тексті)

тискачах акумуляторного блока з двох послідовно з'єднаних батарей акумуляторів GB1 та GB2 — 29 В. Якщо напруга на реле KV перевищить 14,5 В, воно своїм контактом KV1 вмикає гальмівний опір R_г, в результаті чого навантаження на вітрогенератор збільшується, його частота обертання зменшується і напруга на акумуляторній батареї стає нижче зарядної. Процес зарядки акумуляторних батарей припиняється.

Трифазний міст VD1–VD2 складається з селенових діодів, напруга пробую яких є порівняно низькою. З цієї причини в кожному з плеч ввімкнено послідовно по два діоди (рис. 3).

В задачу цієї роботи не входило дослідження функціонування зарядного агрегату за ввімкнення акумуляторних батарей паралельно

стає вдвічі нижче зарядної. Вітрогенератор разом з генератором G (рис. 3) розбігається до частоти обертання 450 об./хв, яка вдвічі вища за попередню робочу частоту обертання. За цієї частоти обертання напруга на батареях знов досягає зарядного значення, в результаті чого сформується характеристика навантаження за кривою 4 (рис. 1). Одночасно з перемиканням батарей GB1 та GB2 на послідовне з'єднання, проміжне реле K своїм іншим контактом K2 приєднує реле контролю зарядної напруги KV до випрямляча з нульовою точкою. Оскільки коефіцієнт перетворення цієї схеми випрямлення (1,17) вдвічі нижчий ніж мостової (2,34), реле контролю напруги KV і в новому режимі спрацює за напруги на ньому 14,5 В, що відповідає напрузі на за-

з іншими споживачами електроенергії (буферний режим роботи), а вважалось, що за досягнення повної зарядної ємності, батареї перемикаються на живлення споживачів, а замість їх вмикаються розряджені. Оскільки робота вітроелектричного зарядного агрегату одночасно на батареї та інші споживачі електроенергії протікає складніше, таке його використання потребує окремого розгляду.

Висновки.

1. Обґрунтування конструкції вітроелектричного обладнання необхідно проводити з врахуванням узгодженості характеристик потужності вітрогенератора та його навантаження.

2. Конструкція вітроелектричних зарядних агрегатів повинна передбачати можливість автоматичної зміни схеми з'єднання акумуляторних батарей у залежності від вітроенергетичного потенціалу місцевості. За середньорічної швидкості вітру вище 6 м/с доцільно застосовувати зарядні агрегати з двоступінчастим автоматичним регулюванням навантаження. Це дає можливість завантажувати вітрогенератор у зонах економічних частот обертання, в результаті чого річний виробіток електроенергії агрегатом збільшується на 27...50% (в залежності від середньорічної швидкості вітру) в порівнянні з нерегульованим вітроелектричним зарядним агрегатом.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Фатеев Е.М.* Методика определения параметров ветроэнергетических расчетов ветросиловых установок. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 89 с.
2. *Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р.* Ветроэлектрические станции. Под ред. В.Н. Андрианова. — М.-Л.: ГЭИ, 1960. — 320 с.
3. *Харитонов В.П.* Автономные ветроэлектрические установки. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. — 280 с.
4. *Твайделл Дж., Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 392 с.
5. *Фатеев Е.М.* Ветрогенераторы. Изд. 2-е, доп. и перераб. Под ред. В.С. Шамина. — М.-Л.: ГЭИ, 1946. — 244 с.
6. *Кармишин А.В.* Ветрогенераторы для механизации животноводческих ферм. — М.: Машгиз, 1952. — 216 с.
7. *Перли С.Б.* Быстроходные ветряные двигатели. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951. — 216 с.
8. *Каданер Л.І.* Фізична і колоїдна хімія. Вид. 2-е, перероб. і доп. — К.: Вища школа, 1983. — 287 с.
9. *Шефтер Я.И.* Использование энергии ветра. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 201 с.
10. *Шефтер Я.И., Рождественский И.В.* Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты. — М.: Колос, 1967. — 376 с.
11. *Волеваха М.М., Гойса М.І.* Енергетичні ресурси клімату України. — К.: Наук. думка, 1967. — 133 с.

**РАСЧЕТ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ И ОБОСНОВАНИЕ
РЕГУЛИРОВОЧНЫХ КАЧЕСТВ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЗАРЯДНОГО АГРЕГАТА**

Показано, что при среднегодовых скоростях ветра 6–8 м/с, выработку энергии регулируемым ветроэлектрическим зарядным агрегатом на 27–50% выше, чем нерегулируемым. Предложена методика уточненного расчета выработки энергии ветроэлектрическими установками.

**CALCULATION OF ENERGY PRODUCTION AND SUBSTANTIATION
OF ADJUSTING QUALITIES OF WIND-ELECTRIC CHARGER**

It was proved that under annual averages of wind speed of 6–8 m/sec energy production with an adjustable wind-electric charging set is higher by 27–50% comparing with unregulated one. A procedure is offered to make calculations of energy production with wind-electric installations.

УДК 631.544.45

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В УМОВАХ
ЗАКРИТИХ АГРОЕКОСИСТЕМ**

Б.М. Ковалишин, канд. техн. наук

НУБіП України

Розглянуто можливі шляхи підвищення енергоефективності опромінювальних установок в умовах закритих агроєкосистем. Обґрунтовано використання, як найбільш ефективних, дугових ртутних ламп ДРФ-1000; світловідбиваючих екранів; установок, моделюючих сонячний день із змінною хмарністю; приведена математична модель установки змінного опромінення.

Проблема. Інтенсивність фотосинтезу та продуктивність зелених рослин залежить від багатьох факторів, серед яких світловий фактор є одним з найбільш важливих. Кванти світла для рослини є практично єдиним джерелом енергії, яка забезпечує перетворення вуглекислого газу, води і простих мінеральних речовин у складні органічні сполуки [1, 2].

Інтенсивність фотосинтезу рослин залежить від багатьох світлових чинників. Найважливішими показниками світлового опромінення для