

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА ВІНАХІД

№ 120081

СПОСІБ РОБОТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
25.09.2019.

Заступник Міністра розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

Д.О. Романович



(21) Номер заявки:	а 2018 10372	(72) Винахідники:	Алексієвський Дмитро Геннадійович, UA, Коцур Михайло Ігорович, UA, Яримбащ Дмитро Сергійович, UA, Безверхня Юлія Сергіївна, UA, Туришев Костянтин Олегович, UA, Панкова Ольга Олегівна, UA
(22) Дата подання заявки:	19.10.2018		
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.09.2019		
(41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня:	25.02.2019, Бюл.№ 4	(73) Власник:	ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, UA
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня:	25.09.2019, Бюл. № 18		

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ РОБОТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

(57) Формула винаходу:

Спосіб роботи вітроенергетичної установки, який полягає у тому, що кут встановлення лопатей вітротурбіни є некерованим та його розраховують на номінальну швидкість обертання вітротурбіни, здійснюють перетворення енергії вітротурбіни у електричну енергію, вітротурбіною здійснюють авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру за допомогою гальмування електромагнітним моментом генератора, який **відрізняється** тим, що авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру здійснюють наступним чином: визначають задану кутову швидкість обертання вітротурбіни за допомогою обчислювача статичної траєкторії керування, відповідно до сигналу від датчика швидкості вітрового потоку; визначають момент вітротурбіни за допомогою обчислювача моменту вітротурбіни, відповідно до сигналів з датчиків кутової швидкості та швидкості вітрового потоку; визначають заданий момент генератора за допомогою обчислювача динамічної траєкторії керування, відповідно до значень заданої і фактичної кутових швидкостей та моменту вітротурбіни, на підставі якого здійснюють авторегулювання.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120081** (13) **C2**
(51) МПК
F03D 7/04 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

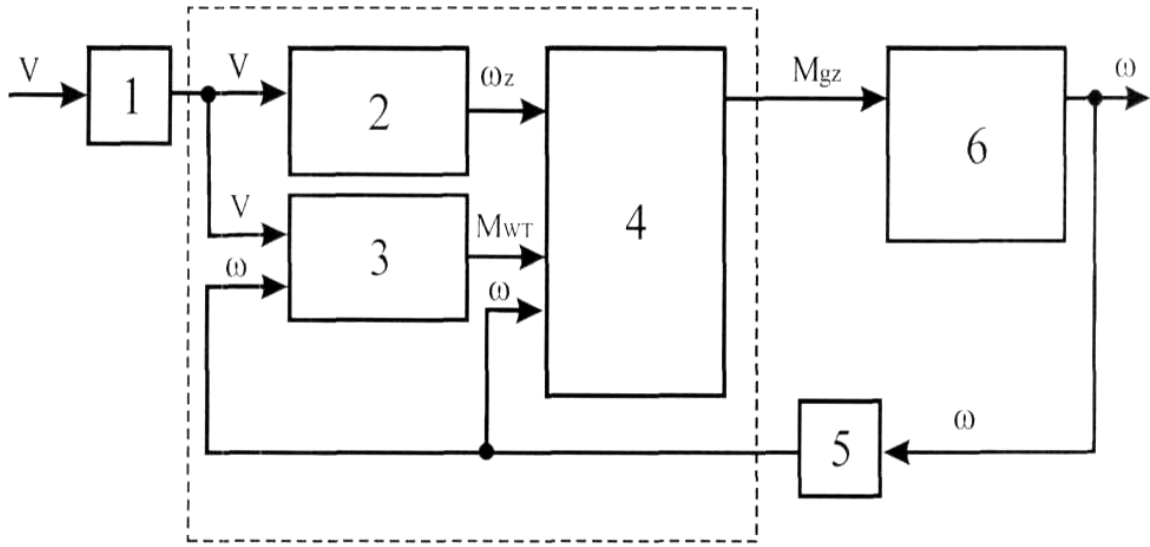
<p>(21) Номер заявки: а 2018 10372</p> <p>(22) Дата подання заявки: 19.10.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.09.2019</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 25.02.2019, Бюл.№ 4</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2019, Бюл.№ 18</p>	<p>(72) Винахідник(и): Алексієвський Дмитро Геннадійович (UA), Коцур Михайло Ігорович (UA), Яримбащ Дмитро Сергійович (UA), Безверхня Юлія Сергіївна (UA), Туришев Костянтин Олегович (UA), Панкова Ольга Олегівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063 (UA)</p> <p>(74) Представник: Висоцька Наталя Іванівна, начальник патентно-інформаційного відділу НДЧ ЗНТУ</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 103262 C2, 25.09.2013 RU 2353799 C1, 27.04.2009 RU 2075638 C1, 20.03.1997 RU 2191288 C1, 20.10.2002 UA 22963 C2, 15.03.2002 WO 2005078278 A1, 25.08.2005 US 2013106107 A1, 02.05.2013</p>
--	---

(54) СПОСІБ РОБОТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

(57) Реферат:

Спосіб роботи вітроенергетичної установки полягає у тому, що кут встановлення лопатей вітротурбіни є некерованим та його розраховують на номінальну швидкість обертання вітротурбіни, здійснюють перетворення енергії вітротурбіни у електричну енергію та вітротурбіною здійснюють авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру за допомогою гальмування електромагнітним моментом генератора наступним чином: визначають задану кутову швидкість обертання вітротурбіни за допомогою обчислювача статичної траєкторії керування, відповідно до сигналу від датчика швидкості вітрового потоку; визначають момент вітротурбіни за допомогою обчислювача моменту вітротурбіни, відповідно до сигналів з датчиків кутової швидкості та швидкості вітрового потоку; визначають заданий момент генератора за допомогою обчислювача динамічної траєкторії керування, відповідно до значень заданої і фактичної кутових швидкостей та моменту вітротурбіни, на підставі якого здійснюють авторегулювання.

UA 120081 C2



Фиг. 1

Винахід належить до галузі вітроенергетики та стосується електромеханічних систем вітроенергетичних установок зі змінною швидкістю обертання та фіксованим кутом закріплення лопатей вітротурбіни.

5 Відомий спосіб [1] у якому керування вітроенергетичною установкою відбувається не за рахунок зміни положення лопатей вітротурбіни, а за рахунок зміни навантаження генератора. Оптимальне навантаження генератора забезпечується шляхом паралельного підключення до генератора додаткового навантаження, що перетворює частину виробленої електричної енергії в інший вид корисної енергії. Керування цією енергією здійснюється за допомогою перетворювача електроенергії за сигналами про значення швидкості обертання генератора та струму навантаження, за який виступає акумуляторна батарея. Даний спосіб забезпечує

10 максимальний видобуток електроенергії. Недоліком даного способу є те, що не використовується обмеження потужності вітротурбіни при великих значеннях швидкості вітрового потоку. Зважаючи на те, що потужність вітротурбіни прямо пропорційна кубу швидкості вітрового потоку, то це може призвести до значного перевищення встановленої потужності генератора та вітротурбіни або до значного зменшення робочого діапазону швидкостей вітрового потоку. Це значно зменшує енергоефективність та надійдіть вітроустановки.

Найбільш близьким аналогом вибрано спосіб роботи вітроенергетичної установки [2]. Відповідно до цього способу, кут встановлення лопатей вітротурбіни розраховується на

20 номінальну швидкість обертання вітроколеса, та є незмінним. В процесі роботи вітроколеса на швидкостях вітрового потоку, що відрізняються від номінального, його кутову швидкість обертання стабілізують за допомогою електродинамічного гальмування генератора, який підключено через випрямляч до постійної проти-ЕРС, наприклад до акумуляторної батареї. Даний спосіб дозволяє використовувати вітроенергетичну установку у широкому діапазоні

25 швидкостей вітрового потоку без суттєвих перевищень встановленої потужності вітротурбіни та генератора.

Недоліком найбільш близького аналога є те, що він не забезпечує оптимальний видобуток електроенергії при швидкостях вітрового потоку нижче номінального значення. Також у даному способі не розглядається динамічна траєкторія керування, що являє собою множину робочих

30 точок у системі координат обертового моменту та кутової швидкості обертання валу генератора, параметром якої є час. Вона відображає стани електромеханічної системи під час електромеханічного перехідного процесу при зміні швидкості вітрового потоку. Характер динамічної траєкторії керування впливає на сумарний видобуток електроенергії тому, що кожній точці траєкторії відповідає миттєве значення потужності на виході вітроелектрогенеруючої системи. Ця траєкторія у найбільш близькому аналогу виникає природним шляхом, та може бути не оптимальною, з точки зору видобутку електроенергії під час електромеханічного

35 перехідного процесу.

В основу винаходу поставлено задачу розробки способу роботи вітроенергетичної установки зі змінною швидкістю обертання вітротурбіни та незмінним кутом встановлення лопатей вітротурбіни, який забезпечить оптимальний видобуток електроенергії при швидкостях

40 вітрового потоку нижче номінального значення при застосуванні динамічної траєкторії керування, зменшення капітальних витрат на вітротурбіну, підвищення надійності та стійкості вітроенергетичної установки.

Вирішення цієї задачі досягається тим, що створено спосіб роботи вітроенергетичної установки, який полягає у тому, що кут встановлення лопатей вітротурбіни є некерованим та розраховується на номінальну швидкість обертання вітротурбіни, відбувається перетворення енергії вітротурбіни у електричну енергію, вітротурбіною здійснюється авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру за допомогою гальмування електромагнітним моментом генератора, причому авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру здійснюється

50 наступним чином: визначається задана кутова швидкість обертання вітротурбіни за допомогою обчислювача статичної траєкторії керування, відповідно до сигналу від датчика швидкості вітрового потоку; визначається моменту вітротурбіни за допомогою обчислювача моменту вітротурбіни, відповідно до сигналів з датчиків кутової швидкості та швидкості вітрового потоку; визначається заданий момент генератора за допомогою обчислювача динамічної траєкторії керування, відповідно до значень заданої і фактичної кутових швидкостей та моменту

55 вітротурбіни, на підставі якого здійснюється авторегулювання.

Динамічна траєкторія керування являє собою множину робочих точок у системі координат обертового моменту генератора та кутової швидкості обертання вала генератора, які залежать від часу. Вона відображає стани електромеханічної системи під час електромеханічного

60 перехідного процесу при зміні швидкості вітрового потоку. Характер динамічної траєкторії

керування впливає на сумарний видобуток електроенергії тому, що кожній точці траєкторії відповідає миттєве значення потужності на виході вітроелектрогенеруючої системи. Тому авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру на основі взаємодії обчислювачів статичної траєкторії керування, моменту вітротурбіни та динамічної траєкторії керування задає необхідне значення обертового моменту на валу генератора вітроенергетичної установки, при якому забезпечується оптимальний відбір потужності від вітрового потоку при швидкостях вітрового потоку нижче номінального значення, обмеження потужності вітроенергетичної установки при швидкостях вітрового потоку вище номінального значення, підвищується стійкість та надійність вітроенергетичної установки.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими забезпечують виявлення нових технічних властивостей - шляхом введення нових операцій обчислення статичної траєкторії керування, моменту вітротурбіни та динамічної траєкторії керування, які забезпечують формування нового способу, який дозволяє визначити необхідне значення обертового моменту на валу генератора вітроенергетичної установки, при якому оптимально відбирається потужність від вітрового потоку при швидкостях вітрового потоку нижче номінального значення та обмежується потужність вітроенергетичної установки при швидкостях вітрового потоку вище номінального значення.

Запропонований спосіб працює таким чином.

Ідея винаходу пояснюється на кресленні, де на фіг. 1 зображена функціональна схема способу роботи вітроенергетичної установки.

Функціональна схема способу роботи вітроенергетичної установки (фіг. 1) складається з датчика швидкості вітру 1, обчислювача статичної траєкторії керування 2, обчислювача обертового моменту вітротурбіни 3, обчислювача динамічної траєкторії керування 4, датчика кутової швидкості обертання вітротурбіни 5 та самої вітроенергетичної установки 6.

Спосіб працює наступним чином. Сигнал від датчика швидкості вітрового потоку 1 (Фіг. 1) надходить на вхід обчислювача статичної траєкторії 2 (фіг. 1). Обчислювач 2 здійснює визначення заданої кутової швидкості вітротурбіни ω_z . Для забезпечення заданої діаграми видобутку потужності P_{opt} (ф. 1) використовується статична траєкторія керування, яка наведена на фіг. 3.

Функція обчислювача 2 визначається наступним виразом:

$$\omega_z(V) = \begin{cases} R_{WT} & \text{при } V < V^{\min} \\ f(V) & \text{при } V^{\min} < V < V^{\max} \\ 0 & \text{при } V^{\max} \leq V < +\infty \end{cases}, (1)$$

де V^{\min} , V^{\max} , V^{\max} - мінімальне, номінальне та максимальне значення фактичного вітрового потоку V ;

V_{opt} - оптимальне значення швидкохідності вітротурбіни, при якому забезпечується максимальний відбір потужності вітрового потоку вітротурбіною;

R_{WT} - радіус вітротурбіни.

В рівнянні (1), функція $f(V)$ визначається обчислювачем 3, шляхом вирішення трансцендентного рівняння щодо кутової швидкості ω при номінальній потужності вітроенергетичної установки P^{nom} ;

$$M_{WT}(\omega, V) - \frac{P^{nom}}{\omega} = 0 \quad (2)$$

У виразі (2), функція $M_{WT}(\omega, V)$ описує сімейство механічних характеристик вітротурбіни. Залежність $f(V)$ може бути достатньо точно апроксимована за допомогою наступного виразу:

$$f(V) = a_0 + a_1 \cdot e^{-\lambda_1(V-V^{nom})} + a_2 \cdot e^{-\lambda_2(V-V^{nom})} + a_3 \cdot e^{-\lambda_3(V-V^{nom})},$$

де $a_0, a_1, a_2, a_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - коефіцієнти апроксимації.

Обчислювач 4 забезпечує розрахунок заданого моменту генератора M_{gz} відповідно до заданої динамічної траєкторії керування. Робота обчислювача описується наступним виразом:

$$M_{gz}(\omega, \omega_z, V) =$$

$$= \begin{cases} M_{WT}(\omega, V) - \left(\frac{M_d^{\max}}{\varepsilon_\omega} \right) \cdot |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)|, & \text{якщо } \Delta_\omega(\omega, \omega_z) \geq 0, |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)| \leq \varepsilon_\omega \\ M_{WT}(\omega, V) - M_d^{\max}, & \text{якщо } \Delta_\omega(\omega, \omega_z) \geq 0, |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)| > \varepsilon_\omega \\ M_{WT}(\omega, V) + \left(\frac{M_d^{\max}}{\varepsilon_\omega} \right) \cdot |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)|, & \text{якщо } \Delta_\omega(\omega, \omega_z) < 0, |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)| \leq \varepsilon_\omega \\ M_{WT}(\omega, V) + M_d^{\max}, & \text{якщо } \Delta_\omega(\omega, \omega_z) < 0, |\Delta_\omega(\omega, \omega_z)| > \varepsilon_\omega \end{cases}$$

де M_d^{\max} - максимальний динамічний момент, що створюють обертові маси електромеханічної системи;

ε_ω - задана ширина області навколо значення заданої кутової швидкості, в якій динамічний момент знижується по лінійному закону, для забезпечення стійкої роботи системи;

Δ_ω - абсолютна похибка по кутовій швидкості первинної вітротурбіни.

Приклад виконання способу.

В системі керування вітроенергетичною установкою з датчика швидкості вітрового потоку типу WG/O подається сигнал до обчислювача статичної траєкторії керування, завдяки якому визначається сигнал заданої кутової швидкості обертання вітротурбіни. Крім того, з датчика швидкості вітрового потоку та датчика фактичної кутової швидкості типу GEL 2478 подаються сигнали до обчислювача моменту вітротурбіни, завдяки якому визначається сигнал моменту вітротурбіни. Розраховані сигнали заданої кутової швидкості обертання вітротурбіни та моменту вітротурбіни, а також сигнал фактичної кутової швидкості подаються до обчислювача динамічної траєкторії керування, де визначається значення заданого моменту генератора, який порівнюється з фактичним моментом генератора, що визначається за допомогою датчика моменту типу RS425. Якщо значення моменту генератора більше, ніж його задане значення, то формується сигнал з нульовим значенням, якщо менше - то не з нульовим значенням. При цьому формується загальний сигнал у вигляді імпульсів керування силовим ключем перетворювача на базі силового транзистору SKM180AO20, який виконує функцію регулюючого пристрою, а саме обмежує струм генератора, отже його момент. Таким чином виконується авторегулювання коефіцієнту відбору енергії вітру. Система керування реалізується у вигляді плати керування на базі мікроконтролера stm32f103c8t6. Запропонований спосіб роботи вітроенергетичної установки дозволяє підвищити видобуток електроенергії на вітроустановці номінальною потужністю 400 Вт до 10 % при швидкостях вітрового потоку нижче номінального значення 9 м/с, та обмежити потужність вітроенергетичної установки при швидкостях вітрового потоку вище номінального значення при робочому діапазоні швидкостей вітру від 4 до 20 м/с. Завдяки незмінному куту встановлення лопатей вітротурбіни виключається необхідність у додаткових привідних механізмах повороту лопатей вітротурбіни, що дозволяє зменшити капітальні витрати на вітротурбіну до 10-25 %.

Джерела інформації:

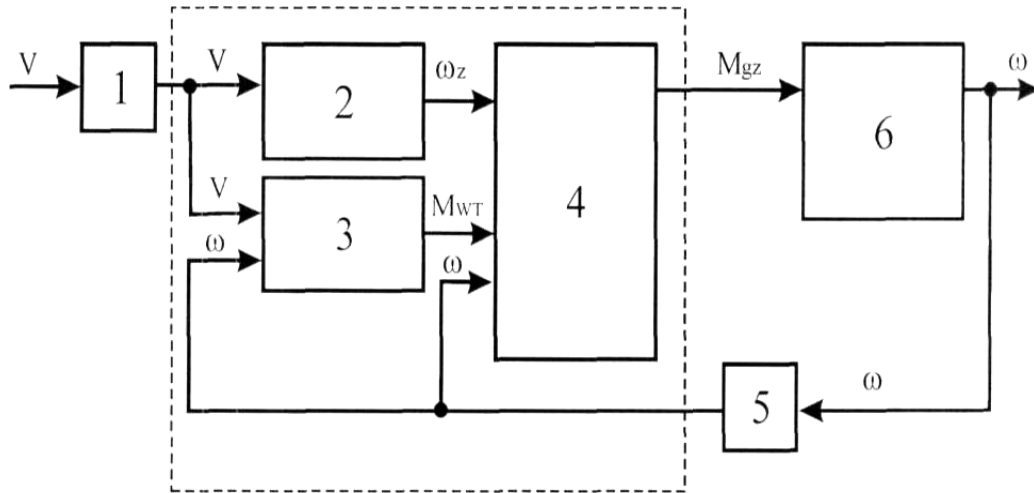
1. Пат. 103262 Україна, ПМК F03D7/04, F03D9/02. Спосіб перетворення механічної енергії вітроколеса та система для його реалізації [Електронний ресурс] / І.З. Щур, В.І. Щур; заявник та патентовласник Національний університет "Львівська політехніка"; заявл. 25.04.2012; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18. Режим доступу:

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=191680&chapter=biblio>

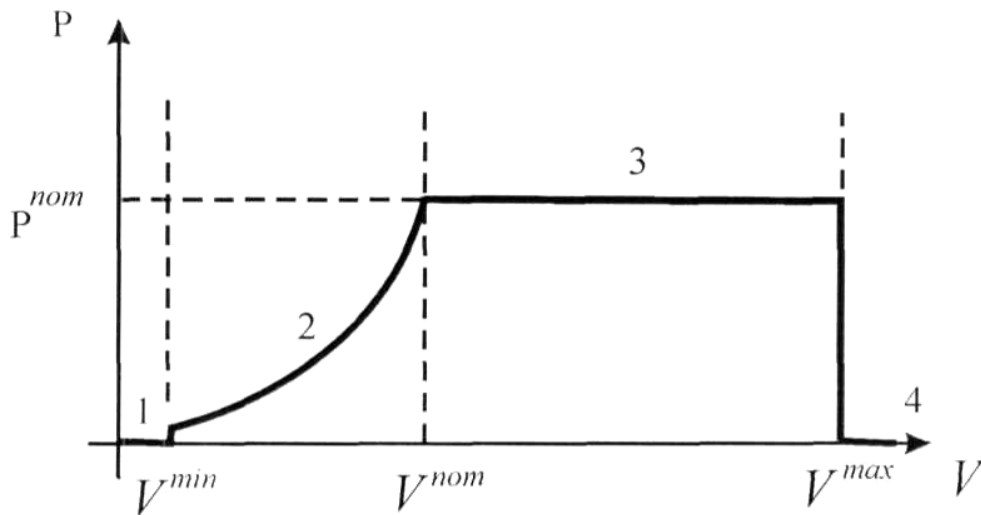
2. Пат. 2353799 Росія, ПМК F03D7/04. Способ работы автономной ветроэлектрической станции [Електронний ресурс] / Е.Н. Ковынев, Л.М. Кириченко, М.К. Старовойтов, И.Г. Юдаев, Р.Н. Кулагин, Г.А. Косулин, В.И. Билецкий, Л.М. Зубер; заявник та патентовласник Закрытое акционерное товарищество "Научно-производственное объединение "Ветротехника"; заявл. 13.09.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12. - Режим доступу: <http://www.fips.ru/Archive/PAT/2009FULL/2009.04.27/DOC/RUNWCI/000/0053/799/DOCUMENT.PDF>

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

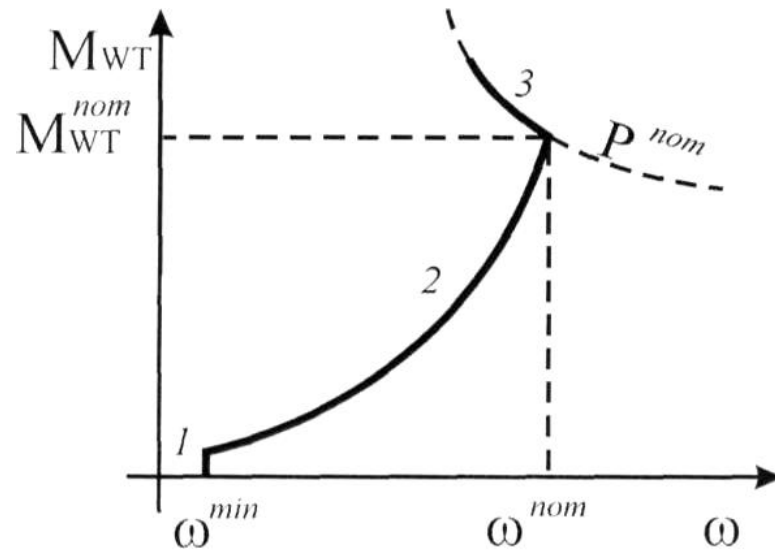
Спосіб роботи вітроенергетичної установки, який полягає у тому, що кут встановлення лопатей вітротурбіни є некерованим та його розраховують на номінальну швидкість обертання вітротурбіни, здійснюють перетворення енергії вітротурбіни у електричну енергію, вітротурбіною здійснюють авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру за допомогою гальмування електромагнітним моментом генератора, який **відрізняється** тим, що авторегулювання коефіцієнта відбору енергії вітру здійснюють наступним чином: визначають задану кутову швидкість обертання вітротурбіни за допомогою обчислювача статичної траєкторії керування, відповідно до сигналу від датчика швидкості вітрового потоку; визначають момент вітротурбіни за допомогою обчислювача моменту вітротурбіни, відповідно до сигналів з датчиків кутової швидкості та швидкості вітрового потоку; визначають заданий момент генератора за допомогою обчислювача динамічної траєкторії керування, відповідно до значень заданої і фактичної кутових швидкостей та моменту вітротурбіни, на підставі якого здійснюють авторегулювання.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601