



УДК 621.311.24

**SIMULATION OF WORK MODES AND CHARACTERISTICS OF A WIND ENERGY INSTALLATION.****ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.****Sorokin M. / Сорокін М.С.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц*

ORCID: 0000-0002-7524-7687

**Huzenko V. / Гузенко В.В.***c.t.s., senior lecturer / к.т.н., ст.викл.*

ORCID: 0000-0001-8171-9487

*State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskih, 44, 61002**Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61002*

**Анотація.** Роботі розглядаються основні питання моделювання та дослідження процесів вітроенергетичних установок (ВЕУ) при проектуванні вітропарків. Приділена увага використанню методів імітаційного моделювання, що дозволяє не тільки істотно скоротити витрати на дослідження, розробку і випробування, а й істотно зменшити час впровадження розробки. Результати обчислювального експерименту з динаміки ВЕУ використано в розробці мікропроцесорної системи управління. За допомогою моделі визначено оптимальний закон управління та розроблено адаптивну систему автоматичного регулювання вітроенергетичного комплексу, що дозволяє підвищити його енерговіддачу.

**Ключевые слова:** імітаційне моделювання, вітроенергетична установка, мікропроцесорна система, автоматичне регулювання, енерговіддача.

**Вступ.** Як показують дослідження, у найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів. В порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і коштують набагато дешевше. Таким чином на перше місце виходять питання моделювання та дослідження процесів вітроенергетичних установок (ВЕУ) при проектуванні вітропарків.

**Основной текст**

При проведенні досліджень та розробок у галузі вітроенергетики широко використовуються фізичні та математичні моделі, так як натурні експерименти не завжди можливі як з технічних, так і з економічних міркувань.

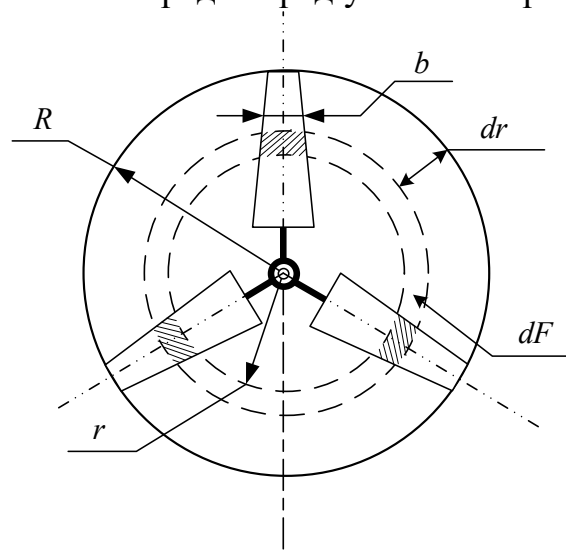
Математична модель визначає реальний об'єкт лише з деяким ступенем наближення (деталізації). При цьому вид моделі залежить як від природи об'єкта, що досліджується, так і від завдань дослідження, методики моделювання, необхідної точності опису об'єкта. Загальноприйнятим є поділ математичного моделювання на три основні види: аналітичний, імітаційний та комбінований [1,2].

Характерною особливістю аналітичного моделювання є опис процесів функціонування елементів моделі, що моделюється, у вигляді деяких співвідношень - диференціальних, інтегро-диференціальних, звичайно-різнісних або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими



методами: аналітичним (при цьому метою є одержання різних залежностей для шуканих характеристик у загальному вигляді); чисельним (у цьому випадку метою є одержання чисельних результатів за певних початкових даних, і рішення у загальному вигляді не знаходиться); якісним (рішення у явному вигляді, але можна оцінити деякі властивості рішення).

Лопаті ротора повинні бути виконані таким чином, щоб будь-який кільцевий елемент площині омивання з середнім радіусом  $r$  і шириною  $\Delta r$  (рис.1)



**Рисунок 1 - Визначення моменту опору традиційного вітроколеса.**

Відповідно до рис. 1 момент відносно вісі традиційного вітроколеса визначається рівнянням.

$$dM = dQr = 4\pi r^2 dr \rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина повітря;

$e$  - коефіцієнт гальмування повітряного потоку;

$z_u$  - відповідна до радіусу швидкохідність;

$\mu = C_x/C_y$  - зворотня якість лопаті;

$V$  – швидкість потоку повітря;

Момент всього вітроколеса визначається інтегруванням попереднього рівняння у межах від  $r_0$  до  $R$ .

$$M = \int_{r_0}^R dM = \int_{r_0}^R 4\pi r^2 dr \rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (2)$$

де  $r_0$  – відстань від вісі до початку лопаті;

$R$  – відстань від вісі до кінця лопаті.

За винятком аеродинамічних втрат, що визначаються в залежності від геометричних характеристик та коефіцієнта гальмування повітряного потоку, отримаємо корисну потужність на валу:

$$N_1 = N - \Delta N_k - \Delta N_n - \Delta N_{вих} \quad (3)$$

де  $\Delta N_k$  – втрати потужності на кінці крила;

$\Delta N_n$  – втрати потужності профіля крила;

$\Delta N_{вих}$  – втрати потужності вихрові повітряного потоку.



Найчастіше сучасні засоби моделювання дозволяють забезпечити високий рівень адекватності моделі. Одним із таких засобів є Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем.

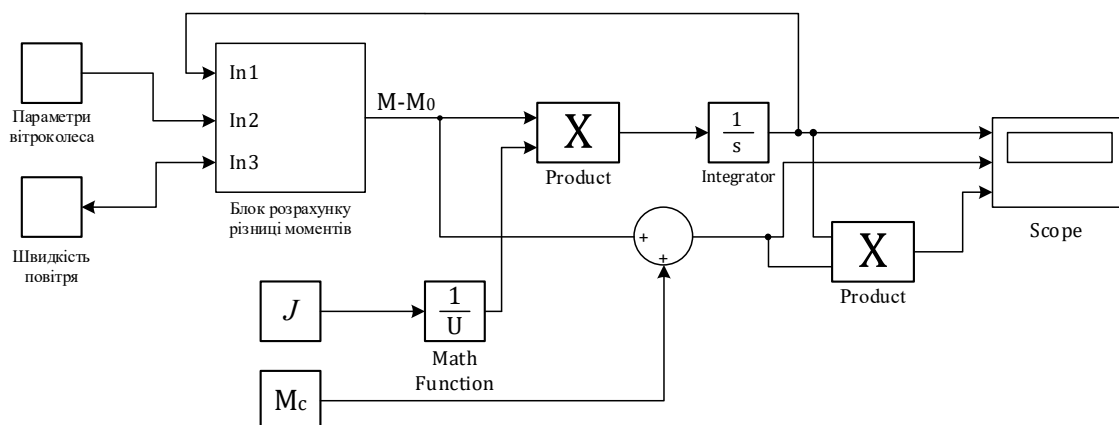
За вітроколесом утворюється об'єм захопленого лопатями повітря, який при віддаленні від вітряка набуває циліндричної форми. Частина потоку всередині цієї обмежувальної поверхні називається робочим потоком, а сама форма його називається вихровим соленоїдом. Він являє собою поверхню розділу, утворену нескінченно тонким вихровим шаром, який складається із вихрових шнурів нескінченно малої інтенсивності, які збігаються з кінців лопатей і закручуються у вигляді спіралі з нескінченно малим кроком на поверхню розділу, яка являє собою вихровий соленоїд. Колова швидкість зовнішніх частинок приблизно дорівнює швидкості незавихреного шару, що прилягає до нього. Швидкість до центру вихора зменшується. Згідно з цією теорією, крутний момент на валу вітроколеса зазначеного типу створюється аеродинамічними силами, що виникають при взаємодії вітру з робочими поверхнями крил, поперечні перерізи яких мають спеціальну форму (рис. 1).

Вхідні змінні моделі розділені на дві категорії:

- конструктивні параметри установки (максимальний та мінімальний діаметри вітроколеса, максимальна та мінімальна шири на лопаті, число лопатей, момент інерції, оптимальний кут атаки, аеродинамічні коефіцієнти профілю крила);
- незалежні вхідні змінні (швидкість вітру, густина повітря, момент навантаження на валу, кут установки крила (крок)).

Опис залежностей коефіцієнтів  $C_u$  і  $C_x$  від кута атаки ( $\alpha$ ) створюється всередині моделі з використанням полінома інтерполяційного Лагранжа.

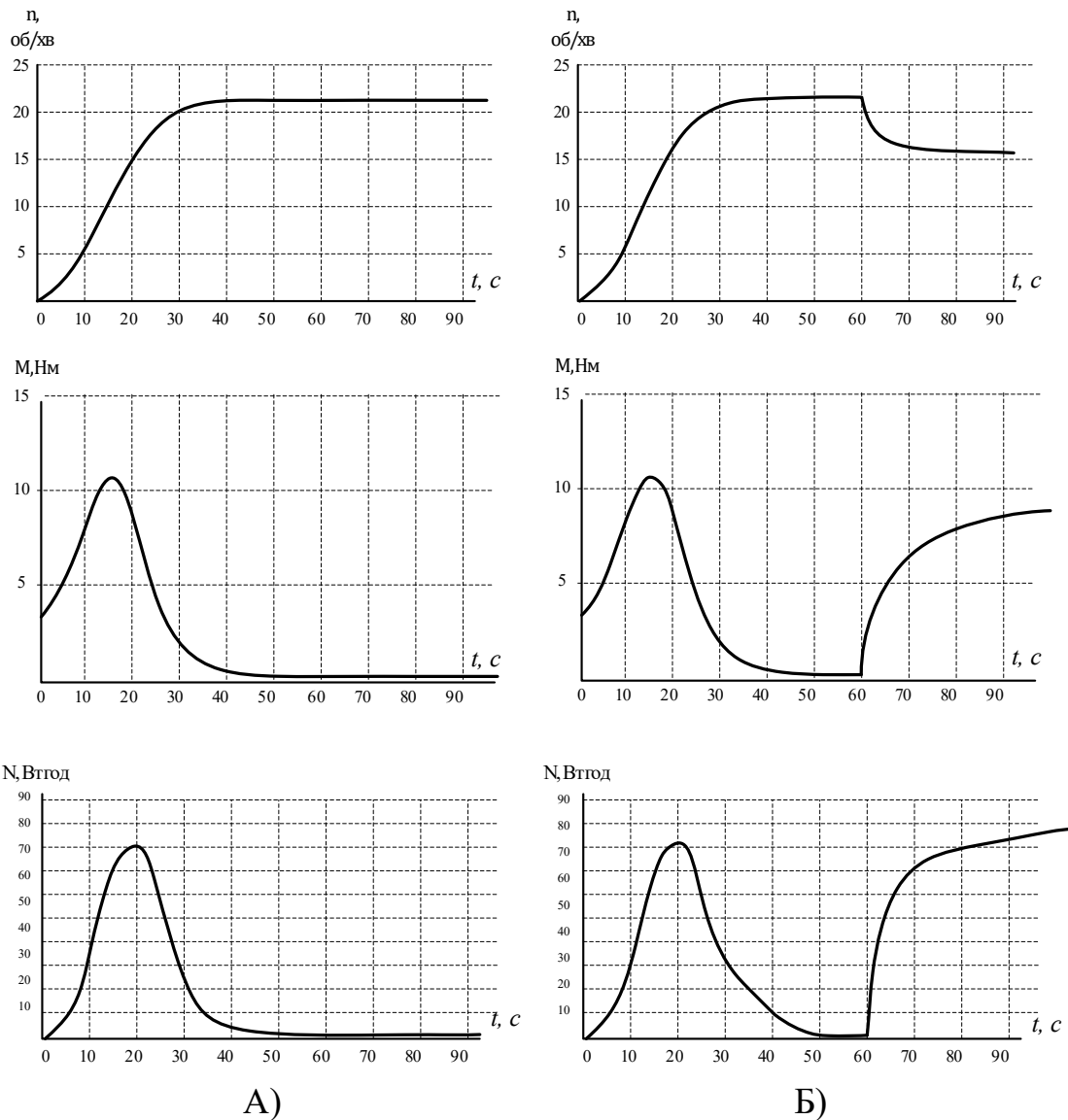
Перелічені співвідношення покладено основою математичної моделі, реалізованої з допомогою програмного забезпечення з пакету MATLAB – Simulink (рис. 2).



**Рисунок 2 - Функціональна схема реалізації математичної моделі ВЕУ**

На рис. 3 показані зміни в часі енергетичних параметрів ВЕУ у різних режимах роботи.

До безперечних переваг моделі слід віднести можливість дослідження перехідних режимів, що виникають при змінах швидкості вітру та навантаження на головному валу.



**Рисунок 3 - Механічні характеристики перехідного процесу вітроколеса**

*А) – під час пуску на холостому ході; Б) – Під час пуску на холостому ході та накиданню навантаження у момент часу  $t = 60\text{с}$*

**Висновки.** Результати обчислювального експерименту з динаміки ВЕУ використано розробки мікропроцесорної системи управління. За допомогою моделі визначено оптимальний закон управління та розроблено адаптивну систему автоматичного регулювання вітроенергетичного комплексу, що дозволяє підвищити його енерговіддачу. Розроблена модель дозволяє при відомих конструктивних параметрах ВЕУ отримати для різних швидкостей вітру механічні та енергетичні характеристики, оптимальні поєднання значень кроку лопатей, частоти обертання та моменту навантаження та закон управління, який забезпечує максимум коефіцієнта використання енергії вітру.

### Література:

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.



2. Сорокін М.С., Вітренко М.М. Використання математичного моделювання як засобу аналізу та діагностики режимів роботи електродвигунів. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. 2014. № 2 (2). С. 36-37

3. Хандола, Ю. М., Сорокін, М. С., Гузенко, В. В., Величко, І. А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни: " Автоматизація промислових установок та технологічних комплексів". Харків 2019 р.

***Abstract.** The work deals with the main issues of modeling and research of the processes of wind energy installations (WEI) in the design of wind farms. Attention is paid to the use of simulation modeling methods, which allows not only to significantly reduce the costs of research, development and testing, but also to significantly reduce the time of development implementation. The results of the computational experiment on the dynamics of wind turbines were used in the development of a microprocessor control system. With the help of the model, the optimal control law was determined and an adaptive system of automatic regulation of the wind energy complex was developed, which allows to increase its energy yield.*

***Key words:** simulation modeling, wind energy installation, microprocessor system, automatic regulation, energy yield.*

Стаття отримана: 20.03.2023 г.  
© Сорокін М.С., Гузенко В.В.