

УДК 621.311.4.031

С.М. БОЙКО, О.С. ЧЕРНІХОВА

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Ю.М. ШМЕЛЬОВ, С.І. ВЛАДОВ

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИСУВНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА БАЗІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Доведено, що висота польоту робить значний вплив на надійність функціонування всього комплексу електрообладнання літального апарату. Запропонована для практичної реалізації структура електротехнічної частини висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора в умовах літальних об'єктів. Розроблено та змодельовано систему управління висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора як первинної аварійної системи для живлення бортових комплексів літальних об'єктів. Запропоновану систему керування побудовано з використанням компонент теорії нечітких множин. На вхід нечіткого регулятора запропоновано подавати кутову швидкість обертання вітрового колеса, швидкість вітрового потоку, похідні від змінного значення швидкості вітрового потоку та оптимальне значення куткової швидкості. Вихідним управляючим сигналом є задане значення напруги, яке буде впливати на ступінь відкриття симісторів, що, у свою чергу, регулюватимуть ступінь ємності збуджуючих конденсаторів та величину баластного навантаження. З метою отримання результатів моделювання складено базу нечітких логічних рівнянь на основі експертної бази знань і термів функції належності.

**Ключові слова:** первинна аварійна система живлення, висувна вітроенергетична установка, теорія нечітких множин.

S.M. BOIKO, O.S. CHERNIKOVA,

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

YU.M. SHMELOV, S.I. VLADOV

Kremenchuk Flight College of National Aviation University

S.YA. VYSHNEVSKY

Vinnytsia National Technical University

## CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF SLIDING WIND POWER INSTALLATION OF AIRCRAFTS ON THE BASE OF THEORY OF FUZZY MULTIPLES

It is proved that the flight altitude has a significant influence on the functioning reliability of the entire complex of aircraft equipment. The structure of the electro technical part of a sliding wind power installation based on the asynchronous generator in the conditions of flying objects has been proposed for a practical realization. The control system of a sliding wind power installation based on an asynchronous generator as a primary emergency system for onboard complexes' feeding of aircraft objects has been developed and simulated by the authors. The proposed control system was constructed using the components of the theory of fuzzy multiples. It is proposed to provide the angular velocity of rotation of the wind wheel, the speed of the wind flow, derivatives of the variable velocity of the wind flow and the optimal value of the angular velocity at the input of the fuzzy controller. The initial control signal is the set value of the voltage, which will affect the degree of opening of the triacs, which, in their turn, will regulate the capacity degree of the excitatory capacitors and the value of the ballast load. In order to obtain the simulation results, a database of fuzzy logic equations has been compiled on the basis of the expert knowledge base and the terms of the membership function.

**Key words:** primary emergency power system, sliding wind power installation, theory of fuzzy multiples.

**Актуальність теми.** Висота польоту робить значний вплив на роботу всього комплексу електрообладнання літального апарату (ЛА).

Зовнішні впливи, які діють на електротехнічні установки, можуть призвести до різного роду пошкоджень, наприклад, до обриву проводів і обмоток, особливо в місцях їх пайки, до появи тріщин і псування електроізоляційних матеріалів, прискореного зносу осей і підшипників у виконавчих електричних приладах, відхиленя від нормальної роботи пружинних і рухомих елементів електроапаратів.

Тактико-технічні вимоги, які пред'являються до устаткування літальних апаратів, розроблені з урахуванням умов роботи електрообладнання та його призначення, включають наступні показники: надійність і безвідмовність роботи, вимоги щодо маси і габаритів, міцність електрообладнання, хімічна стійкість електрообладнання, простота експлуатації і ремонту електроустаткування, економічні вимоги.

Від генераторів живиться і вся електроніка на борту літального апарату, тому, якщо генератори перестануть працювати, то знеструмиться і вся техніка електромережі. На цей випадок у деяких типах літальних апаратів виробники встановлюють висувні вітроенергетичні установки (ВВЕУ), які виробляють струм за рахунок того, що вітроколесо крутиться під дією зустрічного потоку повітря на лопаті, що дає можливість хоча б відстежувати критично важливі технічні показники стану обладнання і системи ЛА [1].

Однією з найбільш важливих проблем, що виникають при використанні АГ з конденсаторним збудженням в автономних системах електропостачання, є стабілізація напруги при змінній частоті обертів ротора та змінному навантаженні. Частота обертання генераторів може бути регульованою за умови сталості

частоти генерованих коливань або залишатися постійною. У загальному випадку можлива робота генератора зі змінною частотою обертання і змінною частотою [2].

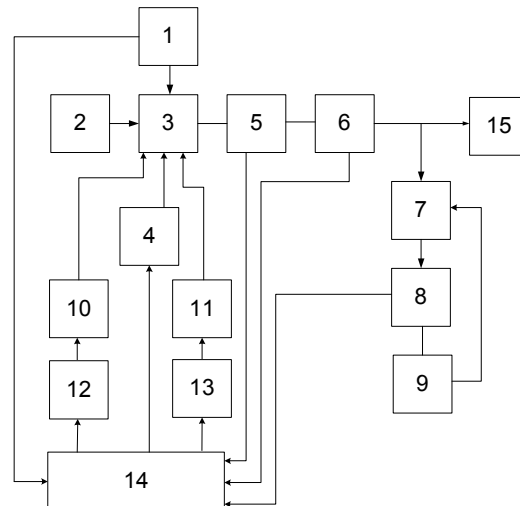
**Мета досліджень** – розробка системи керування електротехнічного комплексу висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора, з метою підвищення надійності та якості електропостачання первинної аварійної системи електропостачання бортових комплексів літальних апаратів.

**Матеріал досліджень.** Важливою умовою підвищення техніко-економічних показників ВВЕУ є відповідність характеристик агрегату вітровому режиму. На даний час існує багато систем керування ВВЕУ, які зокрема дозволяють працювати ВВЕУ із нерегульованою швидкістю, забезпечуючи при цьому відбір максимальної потужності від вітроколеса, шляхом дій на момент навантаження генератора [2].

Необхідність розробки системи керування полягає головним чином у тому, щоб забезпечити споживачів стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. На шляху аналізу цього питання вирішено, що лише мікропроцесорна система керування, що працює за спеціально створеним законом керування, здатна забезпечити постійні вихідні параметри ВВЕУ. Структурна схема ВВЕУ з системою керування зображена на рис. 1.

На теперішній час використовується велика кількість систем керування вітровими енергетичними установками, які забезпечують можливість роботи ВЕУ з нерегульованою швидкістю [2]. Але більшість з них потребують вдосконалення законів керування. Оскільки вхідними параметрами системи керування ВВЕУ є невизначені дані, то вона працює за некерованим графіком [3]. ВВЕУ в умовах літальних апаратів є нелінійним та нестационарним об'єктом керування, оскільки на неї діють динамічні повітряні навантаження з непередбачуваними змінами енергетичних параметрів [3].

Системи автоматичного керування ВВЕУ на основі нечітких регуляторів показали свою ефективність за рахунок покращення якості регулювання в стаціонарних та перехідних режимах роботи [4].



**Рис. 1.** Структурна схема автоматизованої системи керування асинхронним генератором у складі висувної вітроустановки:  
1 – вітрове колесо; 2 – батарея збуджуючих конденсаторів; 3 – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором;  
4 – електромагнітне гальмо; 5 – датчик напруги; 6 – датчик частоти; 7 – автоматичний зарядний пристрій; 8 – акумуляторна батарея; 9 – датчик струму; 10 – батарея додаткових конденсаторів; 11 – баластне навантаження; 12, 13 – блок транзисторних ключів; 14 – мікропроцесорний блок; 15 – навантаження

Таким чином закон керування можна вдосконалити шляхом застосування елементів нечітких множин, що дозволить покращити якість регулювання вихідних параметрів згенерованої ВВЕУ електроенергії.

Сигнали з давачів передаються на регулятор, який їх аналізує та видає сигнал на блок керування емнісним струмом чи баластним навантаженням. За рахунок цього підтримується момент навантаження, що забезпечує оптимальну швидкість обертання вітроколеса ВВЕУ. Це сприяє максимальному відбору електроенергії необхідної якості.

Структурну схему каналу регулювання системи керування можна схематично представити таким чином [5–7]. Як видно з рис. 2, на вхід нечіткого регулятора подаються наступні сигнали: кутова швидкість обертання вітрового колеса  $\omega_{ВК}$ , швидкість вітрового потоку  $u_{в.п.}$ , похідні від змінного значення швидкості вітрового потоку  $du_{з.в.п.}/dt$  та оптимальне значення кутової швидкості  $\omega_{опт}$ . Вихідним сигналом каналу нечіткого регулятора системи керування є сигнал відпирання  $U_{завд.}$  після надходження якого до регулятора останній змінює значення емнісного струму та баластного навантаження ВВЕУ за допомогою блоку керування.

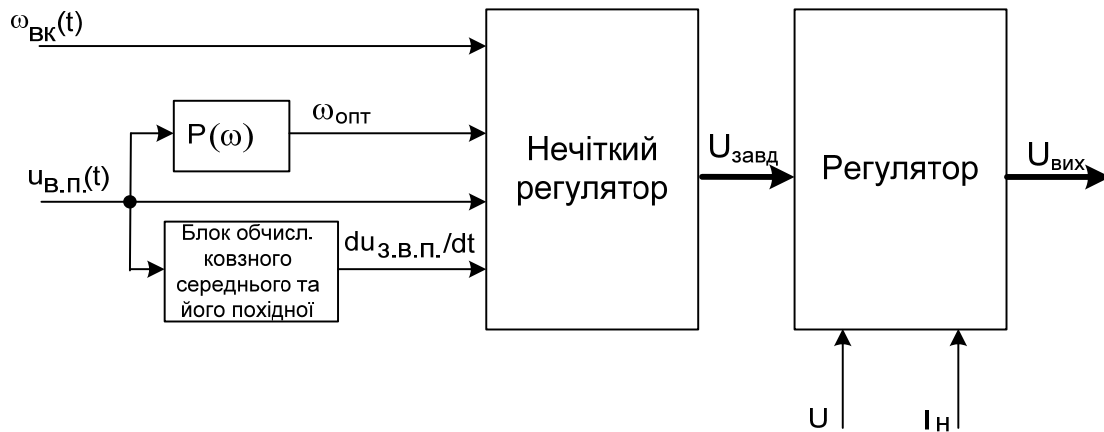


Рис. 2. Структурна схема каналу регулювання системи керування висувною вітровою енергетичною установкою

Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку щодо значення величини заданої напруги керування представлена на рис. 3.

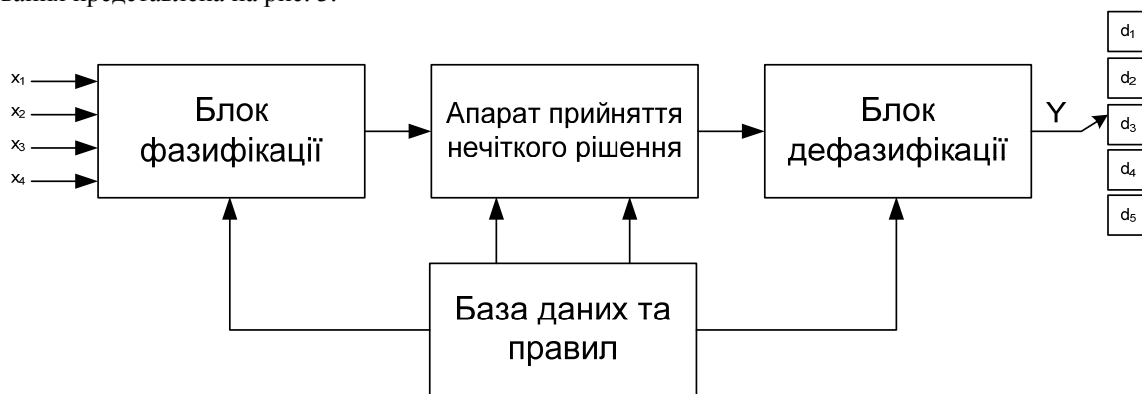


Рис. 3. Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку системи керування ВЕУ

Таблиця 1

**Параметри вхідних та вихідних величин математичної моделі нечіткого висновку щодо заданої напруги регулятора**

Параметри	Назва	Діапазон значень		Терми
		Для БДК	Для БН	
$X_1$	Відносне значення частоти напруги генератора у частках номінальної частоти	$0,94-0,99 f_n$	$0,99-1,02 f_n$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
$X_2$	Відносне значення кутової швидкості обертання вітрового колеса у частках номінальної швидкості	$0-0,9 \omega_n$	$1,1-2 \omega_n$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
$X_3$	Відносне значення напруги генератора у частках номінальної напруги	$0,7-0,9 U_n$	$1,1-1,3 U_n$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
$X_4$	Відносне значення швидкості повітряного потоку у частках номінальної швидкості	$0-0,9 u_n$	$1,1-0,9 u_n$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
$Y$	Значення напруги завдання симісторних ключів у частках номінальної напруги завдання	$0,5-1 U_{н.завд.}$	$1-2 U_{н.завд.}$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)

В таблиці 1 відображено діапазони зміни вхідних та вихідних параметрів, а також проведено їх лінгвістичне оцінювання за термами.

З метою забезпечення функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформулювати експертну базу знань нечітких правил, яка містить лінгвістичні правила залежності  $Y = f(X)$ . Її можна представити у наступному вигляді [8]:

$$(\tilde{\delta}_1 = \tilde{a}_{1j} \theta_j x_2 = \tilde{a}_{1j} \theta_j \dots \theta_j x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow Y = d_j, j = 1, m, \quad (1)$$

де  $\tilde{a}_{ij}$  – нечіткий терм, за допомогою якого оцінюється змінна  $x_i$  в  $j$ -му правилі;  $\Theta_j$  – логічна операція, яка пов'язує фрагменти  $j$ -го правила;  $m$  – кількість правил в базі.

З метою отримання результатів моделювання складемо базу нечітких логічних рівнянь на основі експертної бази знань і термів функції належності. Нечітке рівняння для виходів  $Y$  представимо у вигляді систем [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu^{d1}(d) = [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Min}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Min}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_4)]; \\ \mu^{d2}(d) = [\mu^{\text{DM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{M}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{M}}(X_3) \cdot \mu^{\text{M}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{M}}(X_3) \cdot \mu^{\text{M}}(X_4)]; \\ \mu^{d3}(d) = [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{M}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)]; \\ \mu^{d4}(d) = [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{M}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{M}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_4)]; \\ \mu^{d5}(d) = [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NM}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NM}}(X_4)]. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu^{d1}(d) = [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_3) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_2) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{Max}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{Max}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_4)]; \\ \mu^{d2}(d) = [\mu^{\text{DV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{V}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{V}}(X_3) \cdot \mu^{\text{V}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{DV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{M}}(X_2) \cdot \mu^{\text{M}}(X_3) \cdot \mu^{\text{M}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{DV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{V}}(X_3) \cdot \mu^{\text{V}}(X_4)] \\ \mu^{d3}(d) = [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{V}}(X_2) \cdot \mu^{\text{V}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{V}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)]; \\ \mu^{d4}(d) = [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{V}}(X_2) \cdot \mu^{\text{V}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{V}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{V}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)]; \\ \mu^{d5}(d) = [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)] \vee \\ \vee [\mu^{\text{NV}}(X_1) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_2) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_3) \cdot \mu^{\text{NV}}(X_4)]. \end{array} \right.$$

На вхід нечіткого регулятора швидкості пропонується подавати такі сигнали – кутову швидкість обертання вітрового колеса  $\omega_k$ , швидкість вітрового потоку  $V_b$ , похідну від ковзного значення швидкості вітру  $dV_b^k/dt$ , яка обчислюється блоком обчислення ковзного середнього та його похідної, оптимальне значення кутової швидкості  $\omega_{\text{опт}}$ , за якого від вітроколеса відбирається максимум потужності, причому  $\omega_{\text{опт}}$  обчислюється блоком залежності  $P(\omega)$ . Вихідним сигналом нечіткого регулятора є сигнал завдання за напругою  $U_{\text{зад}}$ , який буде вхідним сигналом для блоків симісторів, через які підключено батарею конденсаторів та баластне навантаження. Задане значення напруги буде впливати на ступінь відкриття симісторів, що, у свою чергу, регулюватиме ємність збуджуючих конденсаторів та величину баластного навантаження [9].

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, здійснено в середовищі Matlab 5 [9]. Результати моделювання представлені на рис. 4.

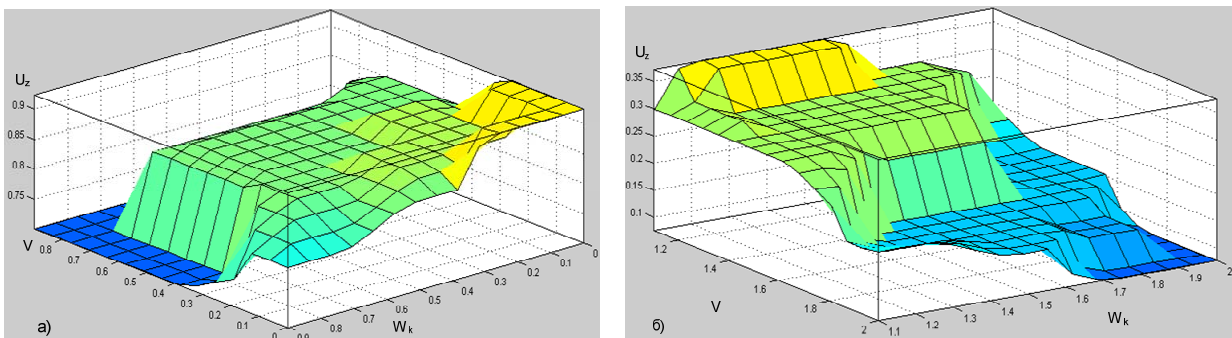


Рис. 4. Залежність напруги завдання: а) для БДК від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК; б) для БН від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК

Такий варіант програмування дозволяє системі керування реагувати на будь-які зміни в ланках ВВЕУ і відповідно до цих змін регулювати вихідні параметри асинхронного генератора.

**Висновки.** 1. Під час проектування системи управління вихідними параметрами генератора висувної вітроенергетичної установки, що входить до складу первинної аварійної системи електropостачання деяких літальних апаратів, повинно бути забезпечене плавне регулювання напруги, враховуючи стохастичні зміни повітряного потоку та навантаження, що може бути реалізовано з використанням теорії нечітких множин.

2. Запропонований спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором в складі висувної вітроустановки, що входить до складу первинної аварійної системи електropостачання деяких літальних апаратів, дозволяє забезпечити якісне аварійне електropостачання їх бортових комплексів.

### Література

1. Яковлев А. И. Энергетические характеристики ветротурбин различного типа / А. И. Яковлев, М. А. Затучная, О. О. Тыхевич // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2000. – № 21. – С. 88–91.
2. Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев ; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (164 Мбайт). – Самара, 2011.
3. Денисюк С. П. Забезпечення надійності функціонування та стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем / С. П. Денисюк, П. Й. Тарасевич, О. В. Сподинський, Д. Г. Дерев'яно // *Праці Інституту електродинаміки НАН України : збірник наукових праць*. – К., 2010. – № 27. – С. 27–33. – ISSN 1727–9895.
4. Вишнеvский Л. В. Системы управления асинхронными генераторными комплексами / Л. В. Вишнеvский, А. Е. Пасс. – Одесса : Лыбидь, 1990. – 168 с. – ISBN 5–11–000177–4.
5. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия– Телеком, 2007. – 288 с. – ISBN 5-93517-359-X.
7. Патент України № 84633, МПК H02P9/00. Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О.Н. Сінчук, Д.А. Михайличенко, С.М. Бойко, М.А. Щербак. – заявка № u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. № 20.
8. Сінчук О.Н. Применение нечёткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока ветра в условиях рудных шахт / О.Н. Сінчук, С.Н. Бойко // «Научная дискуссия: вопросы технических наук» : материалы III международной заочной научно-практ. конф. (10 октября 2012 г.) – М. : «Международный центр науки и образования», 2012. – С. 32–37.
9. Сенько В.І. Математична модель системи керування електротехнічним комплексом вітроенергетичної установки на базі fuzzy контролера / В.І. Сенько, С.М. Бойко, М.А. Щербак, А.О. Жуков // *Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика»*. – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вип. 3. – С. 103–111.

### References

1. Yakovlev A. I. Energeticheskie harakteristiki vetroturbin razlichnogo tipa / A. I. Yakovlev, M. A. Zatuchnaya, O. O. Tyhevich // *Aviatsionno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya*. – 2000. – № 21. – S. 88–91.
2. Koptev A. N. Aviacionnoe i radioehlektronnoe oborudovanie vozdushnyh sudov grazhdanskoj aviacii [Elektronnyj resurs] : ehlektron. ucheb. posobie / A. N. Koptev ; Minobrnauki Rossii, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nac. issled. un-t). – Elektron. tekstovye i graf. dan. (164 Mбайт). – Samara, 2011.
3. Denysiuk S. P. Zabezpechennia nadiinosti funktsionuvannia ta stiikoi roboty intelektualnykh enerhetychnykh system / S. P. Denysiuk, P. Y. Tarasevych, O. V. Spodynskyi, D. H. Derevianko // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy : zbirnyk naukovykh prats*. – K., 2010. – 27. – S. 27–33. – ISSN 1727–9895.
4. Vishnevskij L. V. Sistemy upravleniya asinhronnymi generatornymi kompleksami / L. V. Vishnevskij, A. E. Pass. – Odessa : Lybid', 1990. – 168 s. – ISBN 5–11–000177–4.
5. Kruglov V.V. Nechetkaya logika i iskusstvennye nejronnye seti / V.V. Kruglov, M.I. Dli, R.Yu. Golunov. – M. : Fizmatlit, 2001. – 224 s.
6. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami Matlab / S.D. Shtovba. – M. : Goryachaya liniya– Telekom, 2007. – 288 s. – ISBN 5-93517-359-X.
7. Patent Ukrainy № 84633, MPK H02P9/00. Systema keruvannia asynkhronnym heneratorom u skladi vitroelektrotekhnichnoho kompleksu / O.N. Sinchuk, D.A. Mykhailychenko, S.M. Boiko, M.A. Shcherbak. – zaiavka № u201305538 vid 29.04.2013, opubl. 25.10.2013. Biul. № 20.
8. Sinchuk O.N. Primenenie nechyotkoj logiki dlya soglasovaniya rezhimov raboty vetroenergeticheskoy ustanovki so skorost'yu potoka vetra v usloviyah rudnyh shaht / O.N. Sinchuk, S.N. Bojko // «Nauchnaya diskussiya: voprosy tekhnicheskikh nauk» : materialy III mezhdunarodnoj zaочноj nauchno-prakt. konf. (10 oktyabrya 2012 g.) – M. : «Mezhdunarodnyj centr nauki i obrazovaniya», 2012. – S. 32–37.
9. Sen'ko V.I. Matematichna model' sistemy keruvannia elektrotekhnichnim kompleksom vitroenergetichnoi ustanovki na bazi fuzzy kontrolera / V.I. Sen'ko, S.M. Bojko, M.A. Shcherbak, A.O. Zhukov // *Elektrotekhnichni i energozberihaiuchi sistemy. Tematychnyi vypusk «Problemi avtomatyzovanogo elektropryvoda. Teoriya i praktyka»*. – Kremenchuk : KrNU, 2013. – Vyp. 3. – S. 103–111.

Рецензія/Peer review : 24.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.01.2018 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук