

## УДК 621.311

Ю. М. ШМЕЛЬОВ – к.т.н., Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, ref.nv.klknau@gmail.com

С. М. БОЙКО – к.т.н., Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, bsn1987@i.ua

О. І. САБЛІН – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, olegsss@i.ua

С. І. ВЛАДОВ – к.т.н., Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, ref.nv.klknau@gmail.com

О. С. ЧЕРНІХОВА – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, ref.nv.klknau@gmail.com

# ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ВИСУВНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРВИННОГО АВАРІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ БОРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

## Вступ

Умови в яких здійснюється політ, роблять значний вплив на роботу всього комплексу електрообладнання літального апарату, оскільки зміна фізичних властивостей навколишнього середовища значно впливає на роботу електрообладнання літального апарату.

Зовнішні впливи, які діють на електротехнічні установки, можуть привести 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, відхиленнях 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.

## Мета статті

Розробка електротехнічного комплексу висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора, для живлення первинної аварійної системи електропостачання бортового комплексу літальних апаратів з автоматичною системою управління.

## Огляд літератури

Електричне обладнання літальних апаратів в залежності від призначення кожного його елемента може бути поділені на три основні групи: 1) система генерування; 2) система передачі і розподілу енергії; 3) споживачі електричної енергії.

До першої групи входять: а) основні джерела електричної енергії; б) аварійні джерела електричної енергії; в) перетворювачі електричної енергії; г) регулююча, керуюча і захисна апаратура.

Як окремі елементи, так і весь комплекс складного і різноманітного обладнання літального апарату (ЛІА) працює в умовах, які значно відрізняються від умов, в яких працює наземне обладнання. Ці умови характеризуються широким діапазоном зміни температури, тиску, густини, вологості і електропровідності повітря, наявністю ме-

ханічних сил, які діють на обладнання, змінною положення обладнання в просторі. Таким чином, основні особливості роботи електроустаткування літальних апаратів пов'язані з висотою і швидкістю польоту, а також з механічними навантаженнями і особливостями, зумовленими умовами експлуатації і розміщення обладнання [1].

При цьому встановлено, що одним із енергоефективних варіантів структури енергетичного комплексу первинної аварійної системи електропостачання літальних апаратів є система з асинхронним генератором (АГ) [2]. Однією з найбільш важливих проблем, які 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 із змінною частотою обертання та змінною частотою [3].

За результатами досліджень, які проводилися раніше рядом авторів [1-4], було запропоновано використання на деяких типах літальних апаратів, на етапі виробництва встановлювати висувні вітроенергетичні установки. Також, як виявилось, за рядом критеріїв, актуальним варіантом структури енергетичного комплексу первинної аварійної системи електропостачання літальних апаратів є система енергозбереження на базі асинхронного генератора.

### **Основний матеріал**

Під час польоту зовнішнє середовище здійснює значний вплив на роботу всього комплексу електрообладнання літального апарату. Зміна фізичних властивостей в умовах польоту значно впливає на роботу електрообладнання літального апарату.

Зовнішні прояви, які діють на електротехнічні установки ЛА, можуть привести до різного роду пошкоджень.

Для організацій безперервних умов експлуатації ЛА розроблені тактико-технічні вимоги, які пред'являються до устаткування літальних апаратів, які розроблені з урахуванням надійної роботи електрообладнання в умовах штатного польоту та аварійних ситуаціях.

Система електропостачання - комплекс основних, допоміжних і аварійних систем, які включають первинні, вторинні, третинні системи разом з усіма видами обладнанням, які входять в ці системи (апаратура регулювання, захисту, управління, комутування), включаючи джерела живлення.

Основна система електропостачання, яка забезпечує електроживлення в штатних умовах польоту, є джерела живлення ЕЕ.

Кожна основна, допоміжна і аварійна система складається, як правило, з двох, а іноді і більше систем електропостачання, які живлять споживачів електричним струмом і напругою різних параметрів. Практично на літальних апаратах (ЛА) зустрічаються різні параметри струму і напруги в різних поєднаннях змінного трифазного та однофазного струму постійної частоти з різними значеннями номінальних напруг і частоти.

Первинна електрична енергія електропостачання, утворюють шляхом перетворення будь-яку енергію (механічної, повітряної, гідравлічної, хімічної і т. п.) в електричну. Первинна аварійна система електропостачання ЛА складається з акумуляторної батареї, апаратури та електромережі або з генераторі, якого приводиться в обертання висувною турбіною - «вітрянку» від набігаючого потоку повітря.

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 можли-

вість хоча б відстежувати критично важливі технічні показники стану обладнання і системи ЛА[5].

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 [5].

Необхідність розробки системи керування полягає головним чином у тому, щоб забезпечити споживачів електричної енергії стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. На шляху розв'язання цього питання вирішено, що лише мікроп-

роцесорна система керування, яка працює за спеціально створеним законом керування здатна забезпечити постійні вихідні параметри ВВЕУ. Структурна схема ВВЕУ з системою керування зображена на рис. 1.

При нормальній роботі ВЕУ відбувається електропостачання споживачів Н і заряд АКБ. При аварійній ситуації за допомогою відключення керованого комутатора К1 відбувається відключення навантаження Н від генератора АГ, а за допомогою комутатора К3 відбувається підключення навантаження до АКБ через інвертор І. Заряд АКБ через комутатор К2 відбувається доти, поки пристрій контролю стану АКБ ПК не виявить несправності або повного заряду АКБ або автоматичний зарядний пристрій АЗП, в результаті невідповідності параметрів струму або напруги заряду, відключить АКБ від генератора [6–9].

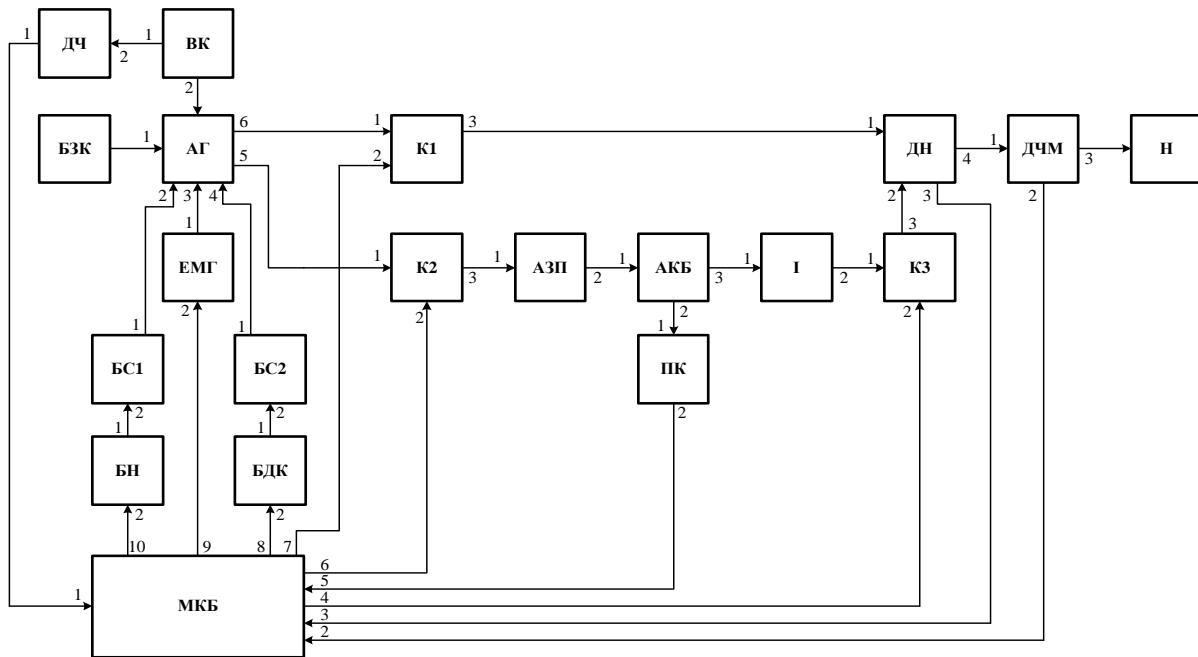


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи керування асинхронним генератором у складі висувної вітроустановки:

ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; БЗК – батарея збуджуючих конденсаторів; ЕМГ – електромагнітне гальмо; ДН – датчик напруги; ДЧ – датчик частоти обертів ВК; ДЧМ – датчик частоти напруги мережі; АЗП – автоматичний зарядний пристрій; АКБ – акумуляторна батарея; ПК – пристрій контролю стану АКБ; І – інвертор; БДК – батарея додаткових конденсаторів; БН – баластне навантаження; БС1, БС2 – блок симісторів; МКБ – мікропроцесорний блок; К1-К3 – керовані комутатори; Н – навантаження

Під час обертання вітрового колеса та валу генератора, мікроконтролер аналізує величину сигналів, які надходять до нього, і робить висновок про величину заданої напруги для блоків симісторів. До тих пір, доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регулювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо ж керування ємністю не приносить результату і частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу симісторів та підключає баластне навантаження, яке регулює вихідну напругу та частоту.

На вхід нечіткого регулятора швидкості пропонується подавати такі сигнали – кутову швидкість обертання вітрового колеса  $\omega_k$ , швидкість вітрового потоку  $V_v$ , похідну від ковзного значення швидкості вітру  $dV_v^k/dt$ , яка обчислюється блоком обчислення ковзного середнього та його похідної, оптимальне значення кутової швидкості  $\omega_{opt}$ , при якому від вітроколеса відбирається максимум потужності, причому  $\omega_{opt}$  обчислюється блоком залежності  $P(\omega)$ . Вихідним сигналом нечіткого регулятора є сигнал завдання за напругою  $U_{зад}$ , 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.

З метою забезпечення адекватних результатів роботи запропонованої комп'ютерної моделі необхідно здійснення її налаштування. Для цього буде використано генетичний алгоритм, оскільки в даному випадку його застосування є оптимальним [4].

Як розглядалося раніше в перелічених роботах, в тому числі в дисертаційній роботі Жукова О. А., для системи керування ВЕУ, які працюють в умовах ЗРШ, процедура пошуку оптимуму за допомогою гене-

тичних алгоритмів передбачає операції схрещення, мутації, селекції та одночасний різнобічний пошук в діапазоні значень.

Розглянемо класичну схему функціонування генетичного алгоритму.

1. Приймається початковий момент часу  $t=0$ . Довільним чином формується початкова популяція, яка складається з  $k$  особин.

2. Обчислюється пристосованість кожної особини та популяції в цілому. Ця функція визначає наскільки добре пристосована особина, описана за допомогою даної хромосоми, для вирішення поставленого завдання.

3. Вибирається перша вихідна хромосома з популяції.

4. З певною вірогідністю вибирається друга вихідна хромосома з популяції та проводиться оператор кросовера.

5. З певною вірогідністю виконується оператор мутації.

6. З певною вірогідністю виконується оператор інверсії.

7. Виконується розміщення отриманої хромосоми в нову популяцію

8. Починаючи з пункту 5, операція виконується  $k$  разів.

9. Збільшується номер поточної епохи  $t=t+1$ .

10. За умови виконання умови зупинки робота завершується та здійснюється перехід до пункту 4 [9].

В першу чергу проводиться операція формування структури хромосом шляхом кодування параметрів  $x_1, x_2, x_3$ , які оптимізуються [5].

Процес формування нової популяції був побудований на механізмі елітного відбору, в результаті виконання якого забезпечується швидкий пошук глобального оптимуму. Критерієм оптимізації є сума квадратів відхилень значень, визначених за допомогою нечіткої комп'ютерної моделі, та даних з навчальної вибірки, отриманих в процесі дослідження реального об'єкту [9].

В результаті оптимізації математичної моделі, яка здійснювалась за допомогою

програми “Gensearch” [9], були одержані нові значення параметрів функції належності та ваги правил нечіткої бази знань.

На рис. 2 подано графіки функції належності нечітких термів відносного значення управляючого сигналу та швидкості повітряного вентиляційного потоку після застосування процедури оптимізації.

Поведінка нечіткої комп’ютерної моделі системи керування електромеханічним комплексом вітрової мініелектростанції досліджувалась в середовищі Matlab 5. За результатами дослідження можна зробити висновок, що, внаслідок навчання нечіткої моделі, похибка керування була значно зменшена.

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, здійснено в середовищі Matlab 5 [5–9]. Результати моделювання подані на рис. 3.

Проаналізувавши одержані з графіків результати, можна стверджувати про те, що параметри, які досліджуються, залежать один від одного плавно. Це означає, що зміна одного параметру навіть на незначну величину викликає зміни інших параметрів. Такий варіант програмування дозволяє системі керування реагувати на будь-які зміни в ланках ВВЕУ і відповідно до цих змін регулювати вихідні параметри асинхронного генератора, забезпечуючи підвищення якості згенерованої електричної енергії.

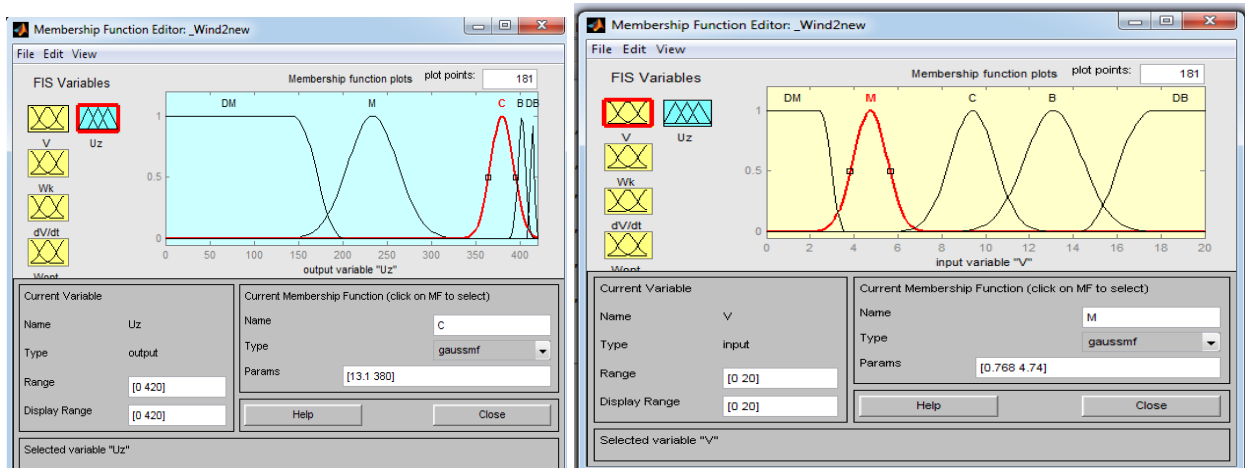


Рис. 2. Графіки функцій належності нечітких термів відносного значення управляючого сигналу та швидкості повітряного потоку

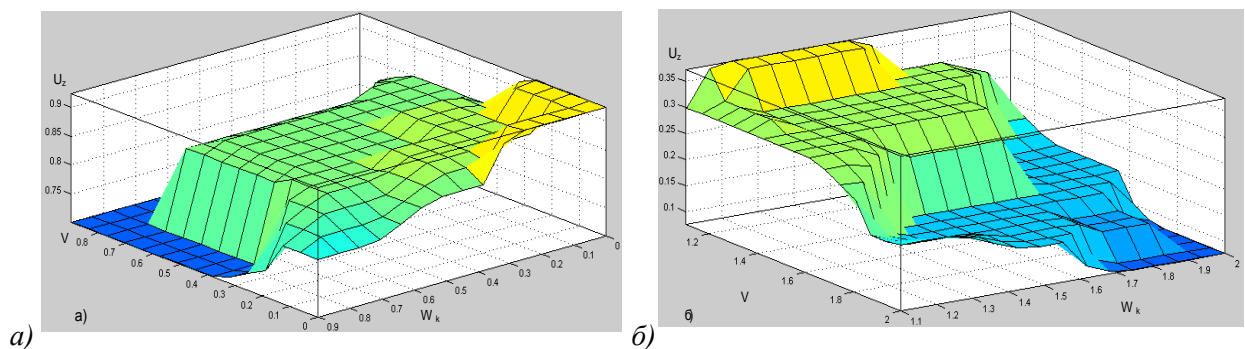


Рис. 3. Залежність напруги завдання:  
 а) для БДК від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК; б) для БН від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК

Враховуючи той факт, що показники якості електричної енергії (ПЯЕ) – поділяються на дві групи: основні і додаткові (до основних ПЯЕ відносяться: відхилення напруги  $\delta U$ , розмах зміни напруги  $\delta U_t$ , доза коливань напруги  $\Psi$ , коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги  $k_{nsU}$ , коефіцієнт  $v$ -ої гармонійної складової  $K_{U(v)}$ , коефіцієнт зворотній послідовності напруги  $K_{2U}$ , коефіцієнт нульової послідовності напруги  $K_{0U}$ , відхилення частоти  $\Delta f$ , тривалість провалу напруги  $\Delta t_p$ , імпульсна напруга  $U_{ipn}$ , а до додаткових ПЯЕ відносяться: коефіцієнт амплітудної модуляції  $K_{mod}$ , коефіцієнт небалансу міжфазних напруг  $K_{neb}$ , коефіцієнт небалансу фазних напруг  $K_{neb.f.}$ ), то якість згенерованої електричної енергії в запропонованій системі електропостачання можна описати за допомогою тензора [8–9]:

$$\begin{aligned} \prod_{jq}^k &= \sum_{k,j=1}^{k,j=4} (a_j^k \delta U^j + b_j^k \delta U_t^j + \\ &+ c_j^k \Psi^j + d_j^k U_{imp}^j) + \\ &+ \sum_{k,i=1}^{k,i=4} (a_i^k k_{nsU}^i + b_i^k k_{U(v)}^i + c_i^k k_{2U}^i + d_i^k k_{0U}^i) + \\ &+ \sum_{k,q=1}^{k,q=4} (a_q^k k_{mod}^q + b_q^k k_{neb}^q + c_q^k k_{neb.f.}^q + d_q^k \Delta t_p^q). \end{aligned}$$

### Висновки

1. Основним завданням у створенні системи управління вихідними параметрами генератора висувної вітроенергетичної установки, зокрема напругою, повинно бути забезпечення плавного регулювання напругою, реагуючи при цьому на найменші зміни швидкості повітряних потоків.

2. Розроблений спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором в складі висувної вітроустановки дозволяє плавно регулювати значення вихідного параметра.

### Бібліографічний список

1. Энергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 – 560 с.
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. Бертинов, А. И. и др. Специальные электрические машины. – М.: Энергоиздат, 1982.
4. Брускин, Д. Э., Синдеев И. М. Электрооборудование летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 263.
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, МПК H02P9/00 Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О. Н. Синчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, М. А. Щербак; патент України № 84633, заява №u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. № 20, 2013 р.
8. Синчук, О. Н., Бойко С. Н. Применение нечёткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока ветра в условиях рудных шахт – «Научная дискуссия: вопросы технических наук» материалы III международной заочной научно-практической конференции. (10 октября 2012 г.) – Москва, «Международный центр науки и образования», 2012. – 32–37 с.
9. Сенько, В. І., Бойко С. М., Щербак М. А., Жуков А. О. Математична модель системи керування електротехнічним комплексом вітроенергетичної установки на базі fuzzy контролера // Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода.

Теорія й практика» науково-виробничого журналу – Кременчук, КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013 – 103–111 с.

**Ключові слова:** первинна аварійна система живлення, вітровий енергетичний комплекс, теорія нечітких множин.

**Ключевые слова:** первичная аварийная система питания, ветровой энергетический комплекс, теория нечетких множеств.

**Keywords:** primary emergency power system, wind energy complex, theory of fuzzy sets.

**Рецензенти:**

д. т. н., проф. В. Г. Сиченко,  
д. т. н., проф. А. Б. Бойнік.

Надійшла до редколегії 15.11.2017.

Прийнята до друку 27.11.2017.