

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ СИСТЕМ ВИПРОБУВАННЯ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

**А. І. Ломонос, О. В. Удовицький**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: zylon@ukr.net

Проведено аналіз методів розрахунку параметрів керування силовими перетворювачами систем випробування машин постійного струму за допомогою нейронної мережі та системи нечіткої логіки. Розроблено UML-діаграми станів побудови нечітких контролерів та гібридних нейронних мереж для систем випробування з впливом на якірне коло, коло обмотки збудження та з комбінованим впливом.

**Ключові слова:** нечіткий контролер, гібридна нейронна мережа, система випробування, машина постійного струму, UML-діаграма.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

**А. И. Ломонос, О. В. Удовицкий**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: zylon@ukr.net

Проведен анализ методов расчета параметров управления силовыми преобразователями систем испытания машин постоянного тока с помощью нейронной сети и системы нечеткой логики. Разработаны UML-диаграммы состояний построения нечетких контроллеров и гибридных нейронных сетей для систем испытания с воздействием на якорную цепь, цепь обмотки возбуждения и с комбинированным воздействием.

**Ключевые слова:** нечеткий контроллер, гибридная нейронная сеть, система испытаний, машина постоянного тока, UML-диаграмма.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Після проведення ремонту електричні машини випробовують під навантаженням з метою перевірки їх стійкості до механічних та струмових навантажень [1]. Навантаження електричних машин відбувається шляхом формування напруги керування на силові перетворювачі, яка складається із постійної складової та суми гармонічних складових [1, 2].

У роботі [2] показано, що визначення гармонічних складових математичним шляхом достатньо ускладнене. Виконання підбору даних параметрів експериментальним шляхом вимагає значних витрат часу.

У роботах [3, 4] запропоновано використання систем нечіткої логіки та гібридних нейронних мереж, які дозволяють автоматизувати процес розрахунку параметрів керування.

Кожен різновид систем штучного інтелекту має свої особливості за можливостями навчання, узагальнення й формування висновків. Наприклад, нейронні мережі можуть автоматично здобувати знання, але процес їх навчання часто відбувається досить повільно, а аналіз навченої мережі досить складний (навчена мережа для користувача звичайно представляється як чорний ящик). При цьому будь-яку апріорну інформацію (знання експерта) для прискорення процесу навчання до нейронної мережі ввести неможливо [5].

Системи з нечіткою логікою підходять для пояснення отриманих за їх допомогою висновків, але вони не можуть автоматично набувати знання для використання їх у механізмах висновків. Необхідність розбиття універсальних множин на окремі області, як правило, обмежує кількість вхідних змінних у таких системах невеликим значенням [5].

Системи з нечіткою логікою й штучні нейронні мережі еквівалентні одна одній, проте на практиці у них є свої власні переваги й недоліки.

Проведені дослідження [3, 4] показали можливість використання контролерів, побудованих за різними методами, в задачах розрахунку параметрів керування силовими перетворювачами систем випробування машин постійного струму (МПС), але відрізняються принципи побудови контролерів за розглянутими методами та, відповідно, точність результатів розрахунку.

Метою роботи є проведення аналізу методів розрахунку гармонічних складових параметрів керування силовими перетворювачами систем випробування машин постійного струму.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Нечітку систему доцільно використовувати як апроксиматор багатомірних залежностей амплітуд гармонічних складових напруги від параметрів електричного двигуна.

Побудована система включатиме нечіткі контролери, призначенням яких є розрахунок амплітудних значень гармонічних складових напруги керування для конкретного електричного двигуна та способу реалізації навантажувального режиму. Приймемо, що сигнал напруги керування складається з постійної складової  $U_0$  і амплітуд першої  $U_1$ , другої  $U_2$  та третьої  $U_3$  гармонік [3].

За алгоритмом побудови нечіткого контролеру, розглянутому в [3], розроблено UML-діаграму стану налаштування нечітких контролерів (рис. 1). З її використанням побудовано контролери для системи взаємного навантаження з впливом на якірне коло, на коло обмотки збудження та при комбінованому регулюванні.

Для МПС, потужність яких змінюється в діапазоні від 0,55 до 200 кВт, відповідно до представлення двигуна постійного струму незалежного збудження з керуванням напруги в якірному колі, колі обмотки збудження та з комбінованим впливом, побудовано математичні моделі, за допомогою яких проведено моделювання та сформовані режими навантаження. За одержаними експериментальними даними сформовано навчальні вибірки для побудови нечітких контролерів (НК). Нечітка система відобразить залежність між вхідними параметрами машини постійного струму

(потужність  $P$ , струм  $I$ , кутова швидкість  $\omega$ , частота навантаження  $\Omega$ ) та розрахованими ( $U_0, U_1, U_2, U_3$ ) параметрами.

Побудову контролерів виконано у програмі MatLab з використанням пакету нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox за алгоритмом Сугено [3, 5].

Аналізуючи характер зміни вхідних параметрів, формуються функції приналежності для кожного з них.

Наприклад, для системи навантаження з комбінованим регулюванням функції приналежності вхідних параметрів нечіткого контролеру наведені на рис. 2.

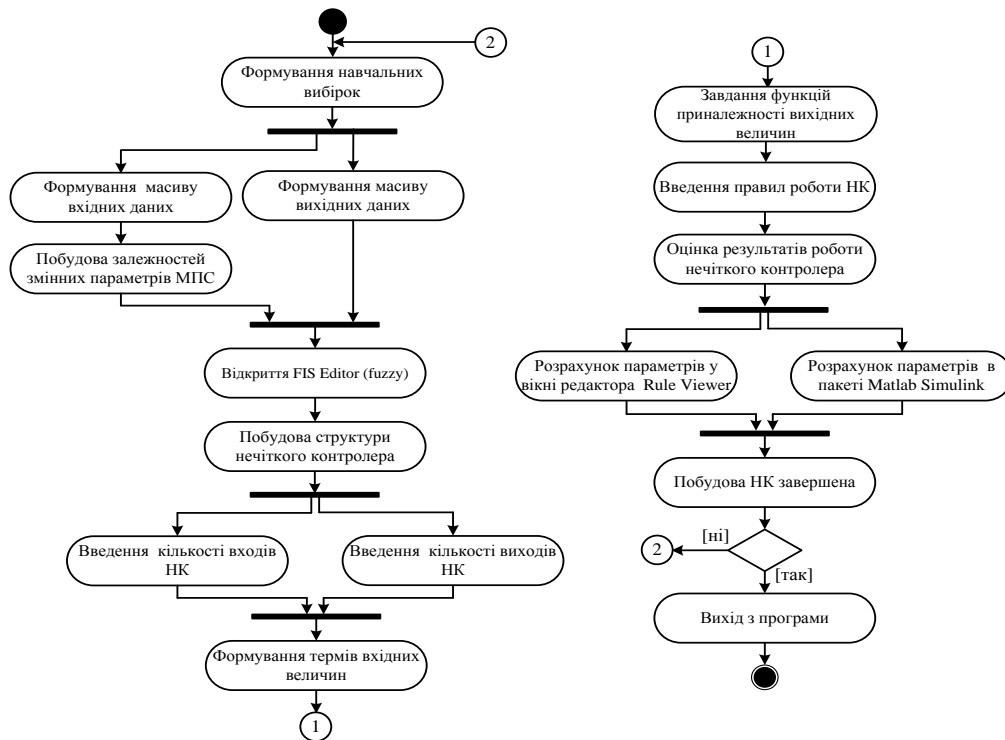


Рисунок 1 – UML-діаграма стану налаштування нечітких контролерів

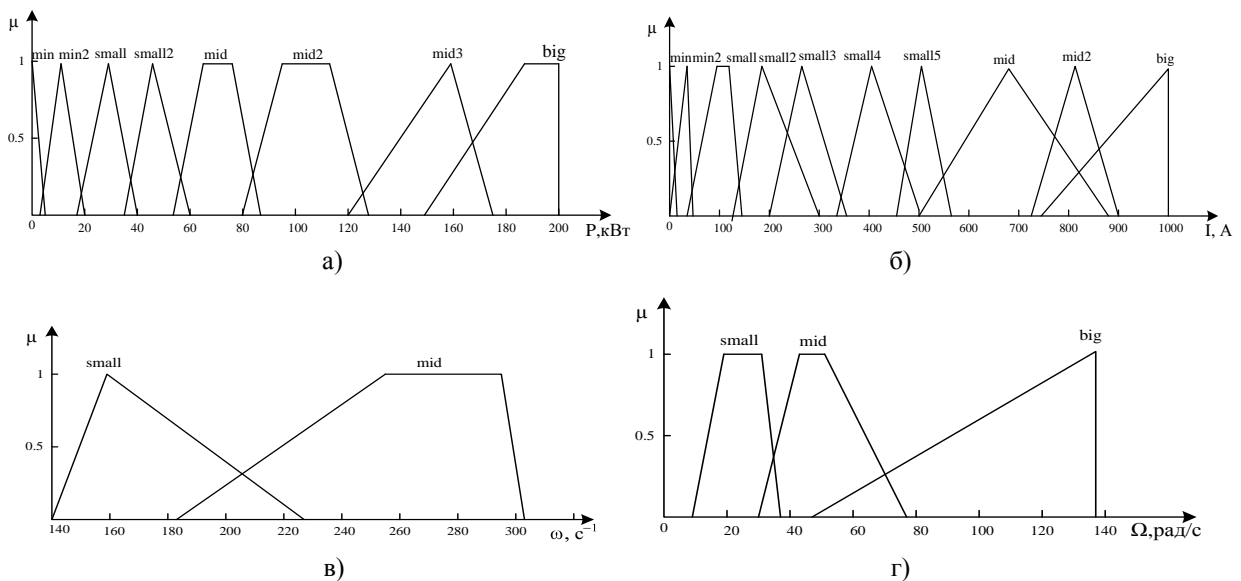


Рисунок 2 – Функції приналежності вхідних параметрів МПС: а) потужності, б) струму, в) кутової швидкості, г) частоти навантаження

Надалі записуються правила, за якими відбуватиметься робота нечіткого контролера. При їх введенні позначається відповідність між кожною функцією приналежності вхідних параметрів і вихідних:

1) If (P is small) and (I is min) and (w is mid) and (f is big) then (u0 is mf1)(u1 is mf1)(u2 is mf1)(u3 is mf1)(u0\_ov is mf1)(u1\_ov is mf1)(u2\_ov is mf1)(u3\_ov is mf1);

2) If (P is min) and (I is min) and (w is mid) and (f is mid) then (u0 is mf2)(u1 is mf2)(u2 is mf2)(u3 is mf2)(u0\_ov is mf2)(u1\_ov is mf2)(u2\_ov is mf2)(u3\_ov is mf2);

3) If (P is min) and (I is min2) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf3)(u1 is mf3)(u2 is mf3)(u3 is mf3) (u0\_ov is mf3)(u1\_ov is mf3)(u2\_ov is mf3)(u3\_ov is mf3);

4) If (P is min) and (I is small) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf4)(u1 is mf4)(u2 is mf4)(u3 is mf4) (u0\_ov is mf4)(u1\_ov is mf4)(u2\_ov is mf4)(u3\_ov is mf4);

5) If (P is min2) and (I is small) and (w is small) and (f is mid) then (u0 is mf5)(u1 is mf5)(u2 is mf5)(u3 is mf5)(u0\_ov is mf5)(u1\_ov is mf5)(u2\_ov is mf5)(u3\_ov is mf5);

6) If (P is min2) and (I is small) and (w is mid) and (f is mid) then (u0 is mf6)(u1 is mf6)(u2 is mf6)(u3 is mf6)(u0\_ov is mf6)(u1\_ov is mf6)(u2\_ov is mf6)(u3\_ov is mf6);

7) If (P is small) and (I is small2) and (w is small) and (f is mid) then (u0 is mf7)(u1 is mf7)(u2 is mf7)(u3 is mf7) (u0\_ov is mf7)(u1\_ov is mf7)(u2\_ov is mf7)(u3\_ov is mf7);

8) If (P is mid) and (I is small3) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf8)(u1 is mf8)(u2 is mf8)(u3 is mf8) (u0\_ov is mf8)(u1\_ov is mf8)(u2\_ov is mf8)(u3\_ov is mf8);

9) If (P is mid) and (I is small4) and (w is small) and (f is mid) then (u0 is mf9)(u1 is mf9)(u2 is mf9)(u3 is mf9)(u0\_ov is mf9)(u1\_ov is mf9)(u2\_ov is mf9)(u3\_ov is mf9);

10) If (P is mid2) and (I is small5) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf10)(u1 is mf10)(u2 is mf10)(u3 is mf11)(u0\_ov is mf10)(u1\_ov is mf10)(u2\_ov is mf10)(u3\_ov is mf10);

11) If (P is big) and (I is mid2) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf11)(u1 is mf11)(u2 is mf11)(u3 is mf11)(u0\_ov is mf11)(u1\_ov is mf11)(u2\_ov is mf11)(u3\_ov is mf11);

12) If (P is big) and (I is big) and (w is small) and (f is small) then (u0 is mf12)(u1 is mf12)(u2 is mf12)(u3 is mf12)(u0\_ov is mf12)(u1\_ov is mf12)(u2\_ov is mf12)(u3\_ov is mf12);

13) If (P is mid3) and (I is small2) and (w is small) and (f is mid) then (u0 is mf7)(u1 is mf7)(u2 is mf7)

(u3 is mf7) (u0\_ov is mf7)(u1\_ov is mf7)(u2\_ov is mf7)(u3\_ov is mf7);

14) If (P is small2) and (I is small) and (w is small) and (f is mid) then (u0 is mf5)(u1 is mf5)(u2 is mf5)(u3 is mf5) (u0\_ov is mf5)(u1\_ov is mf5)(u2\_ov is mf5)(u3\_ov is mf5).

Для оцінки роботи нечітких контролерів розраховано відносну похибку як для тих машин, параметри яких входили до навчальної вибірки, так і для машин з проміжними параметрами.

Для більш точного розрахунку параметрів керування, порівняно з отриманими раніше результатами [3], збільшено кількість та розташування деяких функцій приналежності. З урахуванням того, що при розрахунку параметри керування для кожної з МПС суттєво відрізняються, збільшено кількість вихідних функцій приналежності.

Аналіз розрахунку похибок показав, що для машин, параметри яких входили до початкової вибірки, відносна похибка для кожного з контролерів не перевищує 0,1 % та 10 % – для машин з проміжними параметрами.

Альтернативним методом розрахунку параметрів керування є використання нейронних мереж [5].

За допомогою нейронних мереж (НМ) успішно вирішується значне коло завдань різного рівня складності [5]. Гібридні нейронні мережі (ГНМ) є об'єднанням декількох нейронних мереж для вирішення певних завдань. Це дозволяє виконати декомпозицію складної задачі на більш прості підзадачі, а архітектура нейронної мережі може бути оптимізована під конкретну задачу.

За алгоритмом, запропонованим у роботі [4], розроблено UML-діаграму стану побудови гібридної нейронної мережі (рис. 3).

Графічний інтерфейс гібридних (нечітких) нейронних мереж викликається функцією `anfisedit`.

Формування навчальної вибірки, необхідної для побудови гібридної нейронної мережі, відбувається аналогічно до НК. Для спрощення процесу розробки нейронної мережі як вихідні параметри використано постійну складову напруги керування  $U_0$  та значення першої гармоніки  $U_1$ .

Для кожного параметра керування створюється окрема гібридна нейронна мережа. Вибірка ділиться на три файли, в кожному з яких вхідними параметрами для системи є: номінальна потужність двигуна, струм якірного кола та частота навантаження, а виходом – один з параметрів керування.

У групі опцій `Generate FIS` обирається кількість та тип вхідних функцій приналежності. В результаті побудови отримано структуру гібридної мережі (рис. 4).

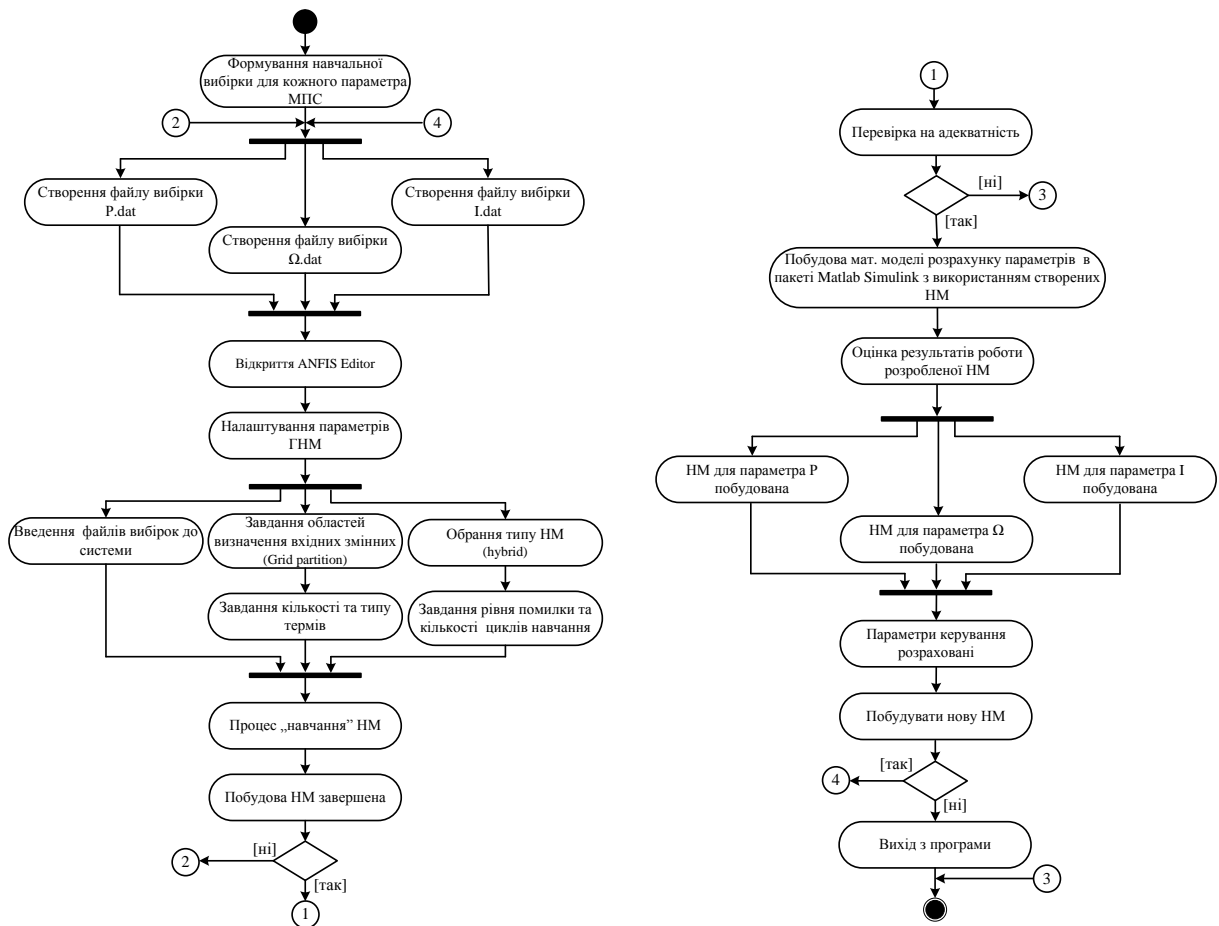


Рисунок 3 – UML-діаграма стану побудови гібридної нейронної мережі

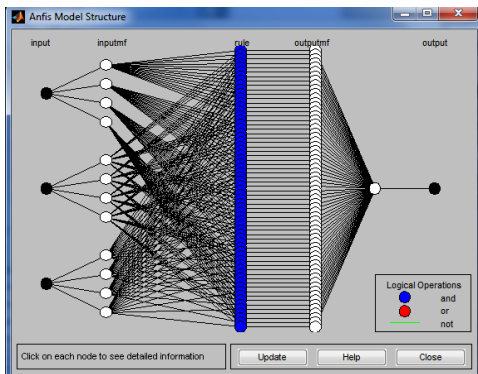


Рисунок 4 – Структура створеної гібридної мережі

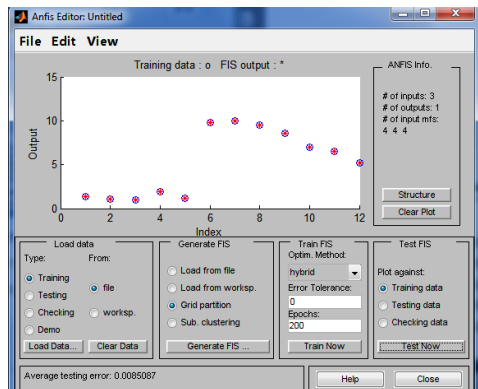


Рисунок 5 – Результат тестування навченої мережі

Надалі задається метод настроювання параметрів (hybrid), обирається рівень помилки (0) та кількість циклів навчання 200, після чого відбувається процес навчання (Train Now). Отриманий результат у вигляді графіків помилок мережі, залежно від кількості циклів навчання, представлено на рис. 5.

Для перевірки роботи контролера, побудованого за методом гібридної нейронної мережі, використовується математична модель, в якій на вхід кожного контролера подаються значення вхідних параметрів. Значення розрахованих параметрів відображаються на цифрових індикаторах.

Аналіз адекватності роботи побудованих гібридних нейронних мереж показав, що для машин, параметри яких входили до початкової вибірки, відносна похибка для кожної з них не перевищує 1 та 12 % для машин з проміжними параметрами.

**ВИСНОВКИ.** У роботі виконано аналіз методів розрахунку гармонічних складових керуючих впливів для формування навантажувальних режимів машини постійного струму.

Аналіз одержаних результатів показав адекватність розглянутих методів, оскільки відносні похибки розрахунку параметрів керування не перевищують 0,1 % для систем з нечіткими контролерами та 1 % – для гібридних нейронних мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при после-ремонтных испытаниях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.
2. Ломонос А.И. Система экстремального управления взаимным нагружением машины постоянного тока // Научные работы ДонНТУ. Серия: «Электротехника і енергетика». – 2008. – Вип. 8 (140). – С. 31–37.
3. Ломонос А.И., Конох І.С., Удовицький О.В. Побудова нечіткого контролеру для розрахунку керуючих впливів при формуванні навантажувальних режимів машин постійного струму // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – 2010. – Вип. 4 (12). – С. 81–85.
4. Ломонос А.И., Сухорук С.В. Разработка гибридной сети для расчета параметров управления системы взаимного нагружения машин постоянного тока // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 07–08 квітня 2011. – С. 446.
5. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. – М., 2001. – 467 с.

**DETERMINATION OF THE CONTROL PARAMETERS POWER CONVERTERS FOR TESTING SYSTEMS OF THE DC MACHINES**

**A. Lomonos, O. Udovickiy**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: zylon@ukr.net

The conducted analysis calculation methods of the control parameters power converters for testing systems of the DC machines with using neural networks and fuzzy logic systems. The state UML-diagrams of fuzzy controllers and hybrid neural networks for testing systems with the impact on the anchor chain, chain winding and combined effect are developed.

**Key words:** fuzzy controller, hybrid neural network, testing system, DC machine, UML-diagram.

REFERENCES

1. Rodkyn D.I. *Dynamic load systems and motor diagnosis at test after repair*. – М.: Nedra, 1992. – 236 p. [in Russian]
2. Lomonos A.I. The system of mutual control extreme load DC machine // *Proceedings DonNTU. Series «Electrical and Power Engineering»*. – 2008. – Iss. 8 (140). – PP. 31–37. [in Russian]
3. Lomonos A.I., Konokh I.S., Udovickiy O.V. The calculating method of the control actions harmonic components for loading mode of the DC machines with fuzzy systems was considered // *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly research and production magazine*. – 2010. – Iss. 4 (12). – PP. 81–85. [in Ukrainian]
4. Lomonos A.I., Sukhoruk S.V. Development of hybrid networks for calculating the parameters of the system of mutual control loading DC machines // *Electromechanical and Power Systems, simulation and optimization methods. Scientific Papers of the IX International scientific-technical conference of young scientists and specialists in Kremenchuk 07–08 April 2011*. – P. 446. [in Ukrainian]
5. Dyakonov V., Kruglov V. *Mathematics packages of MATLAB: special directory*. – М., 2001. – 467 p. [in Russian]

Стаття надійшла 20.02.2012.  
Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.