

ГОЛИК О. П., к.т.н., Кіровоградський національний технічний університет.
БЄЛЯЄВ Ю. Б., д.т.н., Національний університет харчових технологій.

Нейромережна адаптація системи автоматичного керування процесом автономного енергопостачання від альтернативних джерел енергії

Анотація. Наведено результати використання апарату нечіткої логіки та нейронних мереж для розв'язання задачі автоматизації процесу керування енергопостачанням від альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: енергопостачання, автономний споживач, альтернативне джерело енергії, невизначеність, система автоматичного керування, нечітка логіка, нейронна мережа

Вступ. Постійно зростаючі темпи виробництва призвели планету до стану, коли кількість запасів багатьох корисних копалин швидко зменшується. За окремими експертними оцінками, до кінця нинішнього століття буде видобута вся наявна на планеті нафта та очікується вичерпання природного газу, і лише запасів вугілля вистачить більше ніж на 100 років [1]. В умовах зростання цін на паливо суттєвих економічних збитків зазнають майже всі країни світу, в тому числі й Україна.

Крім економічних аспектів все більше відчутними є екологічні проблеми, пов'язані зі шкідливими для довкілля викидами оксидів вуглецю, що утворюються при спалюванні природних копалин. Внаслідок накопичення в атмосфері вуглекислого газу відбувається поглиблення парникового ефекту на планеті, свідченням чого є аномальні зміни клімату в останні роки.

Стає очевидною неминучість глобальної енергетичної кризи в найближчі роки. Яка за наслідками може бути непорівняно жорстокішою, ніж фінансова. Та в перспективі призвести до втрати незалежності багатьох держав Світу на користь великих країн, що нині «консервують» свої копалин та розвивають альтернативні галузі енергетики.

Для розв'язання економічних та екологічних проблем слід вже сьогодні впроваджувати відповідні рішення щодо використання альтернативних джерел енергії (АДЕ).

Згідно з [2], АДЕ – відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Автономним енергопостачанням (АЕП) називають сукупність енергоустановок на базі автономних джерел енергії, призначених для забезпечення нею місцевих споживачів [3]. Автономним джерелом енергії

називається енергетична установка, яка призначена для виробітку енергії та не входить до складу енергетичної системи [3].

Постановка проблеми. Для АЕП використання АДЕ є порятунком в умовах енергетичної кризи. Але тут є свої нюанси. Наприклад, при використанні гідроенергії споживач повинен бути розташований поблизу водних ресурсів. Так само це стосується і геотермальної енергії (не в будь-якій місцевості є такі ресурси). Найпоширенішими та доступними АДЕ в будь-якій точці планети є сонячна та вітрова енергії.

Привабливість сонячної та вітрової енергій обумовлена рядом причин:

- безкоштовність;
- екологічна чистота;
- територіальна розповсюдженість і доступність в кожній точці Землі;
- тривалість існування на перспективу.

Головними недоліками цих енергій є:

- періодичність надходження;
- стохастичний характер надходження;
- в окремих випадках можливість завдання шкоди фауні.

Щодо вітроенергетики слід також відзначити можливі шумові та електромагнітні впливи під час роботи вітроелектричних установок (ВЕУ).

Аналіз та узагальнення світового досвіду використання сонячної та вітрової енергій для АЕП, показали доцільність об'єднання двох або більше установок, що працюють на основі сонячної та вітрової енергій, в комбінованих енергетичних системах невеликої та середньої потужності.

Враховуючи, що енергетичне навантаження споживача, як правило, є нерівномірним, такі системи потребують використання системи акумулювання, яка крім того може розв'язати одну з основних проблем альтернативної енергетики – акумулювання та резервування первинних енергоресурсів. Однак акумуляторні батареї, що входять до складу системи акумулювання, мають обмежений ресурс роботи. Тому останнім часом перевагу надають комбінованому використанню установок на основі АДЕ та традиційних систем енергопостачання або установок на базі двигунів внутрішнього згорання. Це забезпечує економію палива та більш високу надійність енергозабезпечення, але має свої недоліки, зокрема, необхідність завезення палива, невеликі шкідливі викиди, шум та експлуатаційні витрати.

Світова практика показала, що найдоцільнішим способом енергозабезпечення розподілених невеликих фермерських господарств та окремих сільськогосподарських споживачів є створення власних джерел та систем енергопостачання. Коли йдеться про енергозабезпечення автономних споживачів, енергосистеми часто називають системами автономного енергопостачання (САЕП).

Існуючі традиційні системи керування САЕП на основі вітрових та сонячних установок не завжди можуть адекватно реагувати на збурення в процесі керування системою. Пояснюється це тим, що в певних умовах в системі існують невизначеності, тобто може бути не враховано цілу низку

неконтрольованих параметрів, а це, в свою чергу, суттєво може змінити режими роботи системи та погіршити її показники якості.

Невизначеності в САЕП на основі вітрових та сонячних установок можуть полягати в:

- неповних знаннях предметної області;
- недостатній інформації про енергетичні потреби АС;
- недостатній достовірності вхідних даних (стохастичний характер надходження енергій);
- відсутність інформації про стан енергетичних установок та іншого обладнання, що входять до складу системи та ін.

Тому виникає потреба у пошуку нових методів автоматизації процесу керування АЕП на основі вітрових та сонячних установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню САЕП на основі АДЕ, розробці науково-технічних передумов використання АДЕ для АЕП присвячені роботи: Будзка І. О., Васька П. Ф., Головка В. М., Джуми А., Жесана Р. В., Каплуна В. В., Кирпатенка І. М., Козирського В. В., Кудрі С. О., Ліщинської Т. Б., Плєшкова С. П., Праховника А. В., Рєзцова В. Ф., Розанова Ю. К., Сенька В. І., Шидловського А. К., Яндульського О. С. та ін. Однак більшість цих робіт присвячена ефективності та раціональному використанню ВДЕ; методам та способам перетворення ВДЕ в різні види (електрична, тепла); ефективності використання автономних джерел енергії.

В результаті аналізу відомих засобів автоматизації процесу керування АЕП на основі АДЕ було виявлено, що основною проблемою є неможливість прогнозувати та узгоджувати процес енергоспоживання з процесом енергопостачання споживача таким чином, щоб керування процесом енергопостачання було автоматичне, і при цьому енергетичні потреби споживача були максимально забезпечені за рахунок АДЕ та мінімальним використанням установки з двигуном внутрішнього згорання.

Оскільки, як правило, більшість АДЕ мають випадковий характер надходження, так само як і енергетичні потреби споживача, то можна зробити висновок, що САЕП працює в умовах невизначеності.

В [4] було запропоновано підхід до розв'язання задачі автоматичного керування процесом енергопостачання в умовах невизначеності, який полягає у використанні методів нечіткої логіки (НЛ) з нейромережною адаптацією (НМА). Використання даного підходу дає змогу розробити систему автоматичного керування (САК) процесом АЕП, яка дозволяє оптимізувати структуру системи в умовах реального часу та створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів роботи системи.

Метою досліджень є створення САК процесом АЕП від сонячної та вітрової енергій, шляхом використання методів нечітких множин та нейронних мереж.

Постановка задачі. В загальному вигляді структуру САЕП від сонячної та вітрової енергій можна представити у вигляді, наведеному на рис. 1 [5].

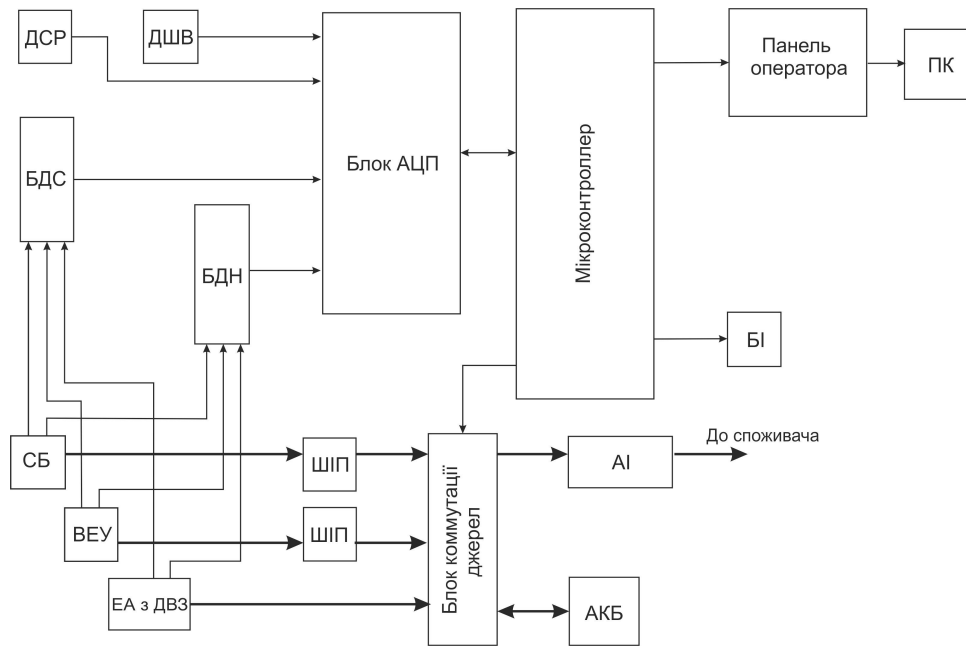


Рис. 1. САЕП фермерського господарства. Схема електрична структурна:

ДСР - датчик сонячної радіації; ДШВ - датчик швидкості вітру; ВЕУ - вітроелектрична установка; СБ - сонячна батарея; ЕА з ДВЗ - електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання; АКБ - акумуляторна батарея; ШІП - широтно-імпульсного перетворювача; БДС - блок датчиків струму; БДН - блок датчиків напруги; АЦП - аналого-цифровий перетворювач; АІ - автономний інвертор; ПК - персональний комп'ютер; БІ - блок індикації.

Вибір конкретного типу обладнання в основному залежить від метеорологічних та кліматичних умов місцевості, де планується впроваджувати САЕП, енергетичних потреб та матеріальних ресурсів, якими володіє споживач.

Оскільки майже всі елементи САЕП, такі як перетворюючі установки, АКБ, АІ, інше обладнання та периферійні пристрої існують на споживчому ринку, то немає необхідності в їх розробці. Потрібно буде лише обрати відповідні типи обладнання, яке б задовольняло вимогам споживача. Таким чином, виникає задача – розробити систему автоматичного САК САЕП.

Метою створення будь-якої САК є керування поведінкою об'єкта керування, у якості якого може виступати пристрій (сукупність пристроїв) або динамічний процес, в нашому випадку САК повинна виконувати перерозподіл генерованої енергії від енергоустановок до споживача, у відповідності з його енергетичними потребами. Тобто, можемо сказати, що об'єктом керування в даній САЕП є – процеси виробництва та споживання електричної енергії в умовах АЕП.

Таким чином, вхідними параметрами об'єкта керування є:

- кількість енергії, яка потрібна споживачу (енергетичні потреби);

- кількість енергії, що генерується енергоустановками (енергетичні потоки).

Вихідним параметром є вибір енергетичного потоку (або потоків), який може в даний момент часу забезпечити енергетичні потреби споживача.

Тобто, САК повинна виконувати перерозподіл енергії від енергоустановок згідно енергетичних потреб споживача. Оскільки енергетичні потоки та енергетичні потреби мають стохастичний характер надходження, то САК доводиться приймати рішення в умовах значної невизначеності.

Згідно підходу, запропонованому в [4], для створення САК процесом АЕП, з використанням методів НЛ з НМА, необхідно попередньо провести навчання нейронної мережі.

Для цього необхідно володіти інформацією про діапазони зміни вхідних та вихідних параметрів об'єкта керування. З метою визначення діапазонів зміни цих параметрів необхідно проводити аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб споживача та встановити взаємозв'язок між процесами енергоспоживання та енергопостачання споживача.

Для встановлення даного взаємозв'язку необхідно володіти інформацією про кількість енергії, що потрібна споживачу, та кількість енергії, що надходить від енергетичних установок в певні моменти часу.

Інформацію про кількість енергії, що необхідна споживачу, отримують шляхом визначення кількості, потужності та тривалості роботи електроприймачів, які знаходяться в господарстві.

Для визначення кількості енергії, що генерують енергоустановки, необхідно володіти інформацією про потужності енергоустановок в умовах, де розташований споживач. Потужність енергетичних установок залежить від енергетичних потенціалів джерел енергії, тому необхідно проводити дослідження кліматичних та метеорологічних умов місцевості, де знаходиться господарство.

Матеріали дослідження. В роботі [6] наведено нейроадаптивний контур нечіткої САК процесом АЕП та структура нейронної мережі, де було запропоновано використовувати градієнтний метод.

Архітектура комплексу прийняття рішень САК САЕП, представлена на рис. 2, буде мати в своєму складі:

- блок нечіткого керування;
- пристрій комутації (вибору режиму);
- базу знань технологічного процесу;
- блок нейромережної адаптації.

На вхід надходитимуть дані щодо потужності, яку здатні забезпечити СБ та ВЕУ. Третій вхідний параметр – потужність, яка потрібна споживачу. В залежності від їхніх значень блок комутації джерел (див. рис. 1) повинен забезпечувати один із режимів:

- Режим 1 – підключення лише сонячної батареї.
- Режим 2 – підключення СБ та ВЕУ.

– Режим 3 – підключення СБ, ВЕУ та ЕА з ДВЗ (або іншого резервного джерела енергії).

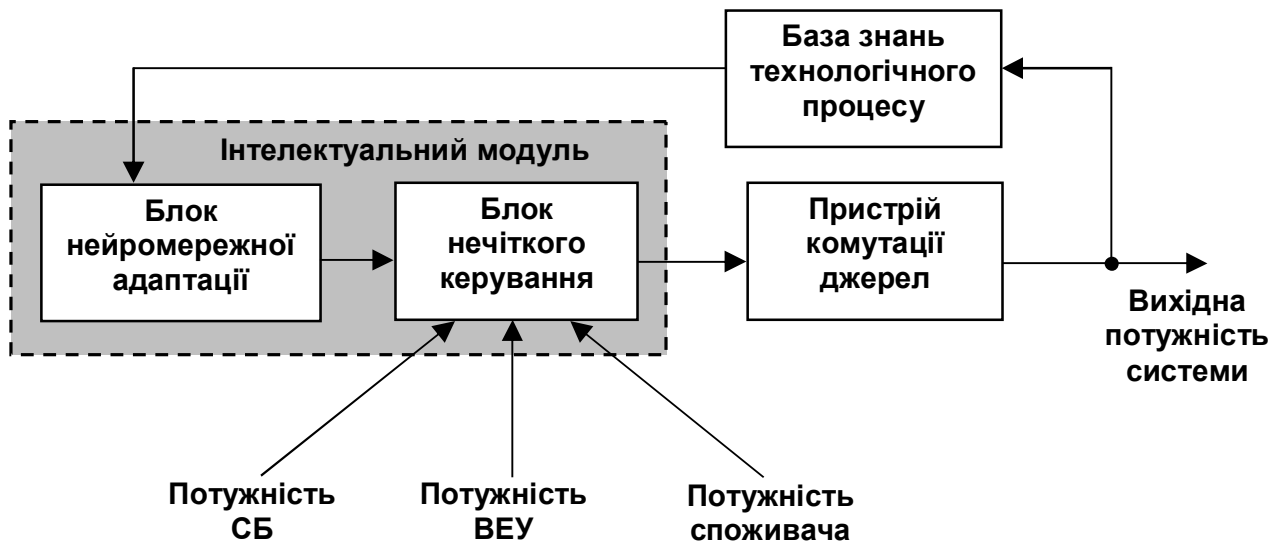


Рис. 2. Архітектура САК САЕП

На початковому етапі за допомогою нейронної мережі із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі НЛ. Далі відбувається запуск САЕП.

У процесі функціонування постійно поповнюється база знань технологічного процесу. При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де за допомогою нейронної мережі здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це виконується на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки, який можна реалізувати за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету MatLab[®], а саме графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System), цей редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейронечіткі мережі [7-9].

Для однозначності, нижче наводиться приклад для фермерського господарства, яке розташовано в Кіровоградському регіоні. Денний максимум навантаження такого господарства складає близько 7 кВт.

Для створення ANFIS-системи пропонується наступний алгоритм.

1. Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб споживача.

В [10] наведено методику аналізу можливостей задоволення енергетичних потреб споживача. Згідно цієї методики та наведених в [11] рекомендацій було обрано наступні вхідні дані та діапазони їх зміни:

- потужність, яку може забезпечити СБ: 0 – 2,5 кВт;
- потужність, яку може забезпечити ВЕУ: 0 – 6 кВт;
- потужність, яка потрібна споживачу: 0 – 8 кВт.

Вихідний параметр системи – вибір одного із 3-ох режимів (записуватимемо в умовних одиницях від 1 до 3).

2. Моделювання роботи системи та заповнення експертних даних.

Для ефективного моделювання рекомендовано використовувати 3 блоки даних [8, 9]. Це покращує якість подальшої роботи системи керування, оскільки дає можливість впевнитись, що не відбулося «перенавчання» мережі.

В даному випадку було використано: по 150 наборів експертних даних *навчальні* (Train) і *контрольні* (Test); та 35 наборів *перевірятьних* даних (Check).

Інформаційні блоки заповнювались із врахуванням особливостей нейромережного синтезу – дані повинні змінюватись плавно та максимально насичено заповнювати всю область їхніх значень. Нормування параметрів та зменшення розмірності матриці входів не проводили, оскільки вони технологічно взаємопов'язані та змінюються у однакових порядкових областях.

3. Навчання нейронної мережі та визначення якості навчання і функціонування нечіткої системи.

Активувавши ANFIS Editor, завантажили навчальну вибірку (рис. 3).

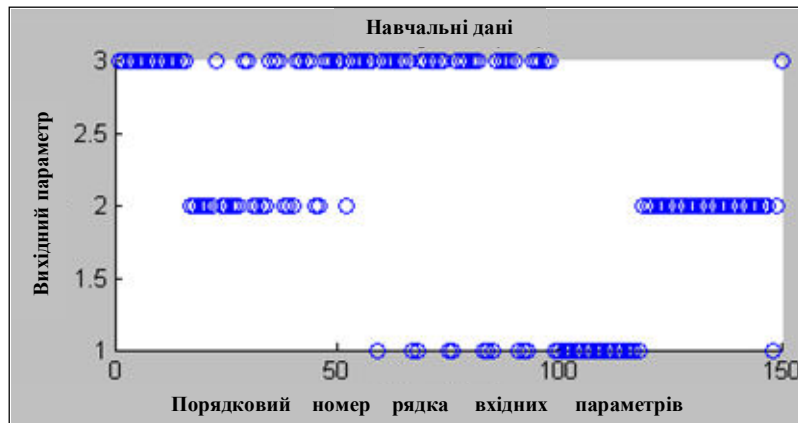


Рис. 3. Навчальна вибірка

Після ряду апробацій було обрано функцію належності *gbellmf*, та 1000 тренувальних ітерацій забезпечують середньоквадратичну похибку – 0,095218 у.о. (9,52 %), наведена на рис. 4.

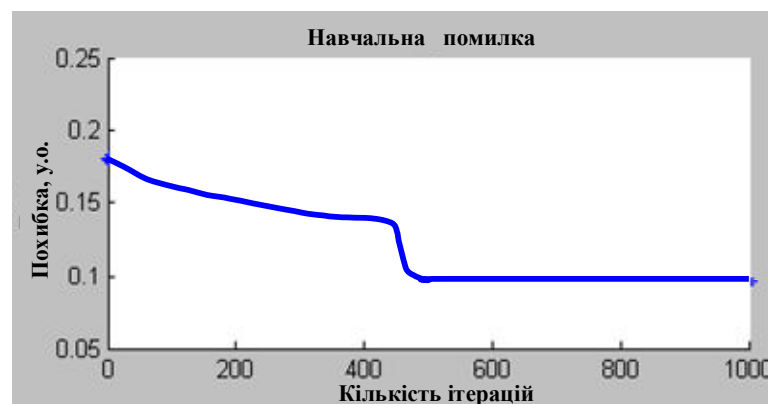


Рис. 4. Якість навчання із використанням функції належності – *gbellmf*

Потім завантажили блок контрольних даних (рис. 5). Після повторних циклів навчання вдалося досягнути середньоквадратичної похибки у розмірі 11,8%.

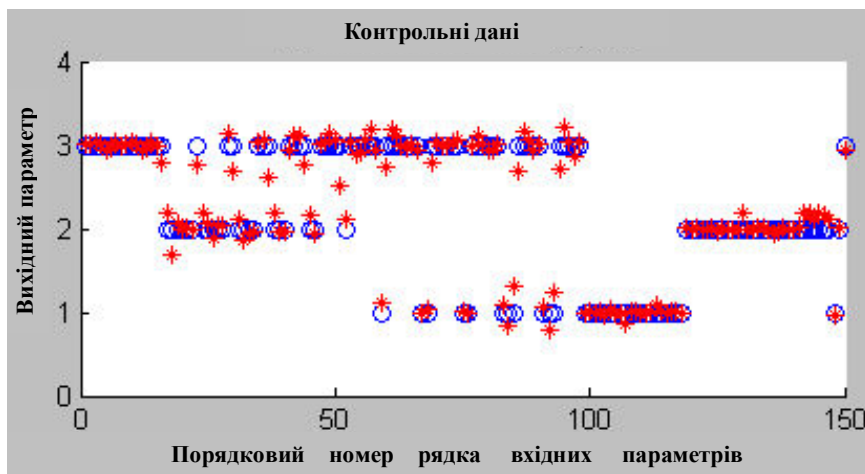


Рис. 5. Якість функціонування нечіткої системи при контрольній вибірці після додаткових циклів навчання

Тоді завантажили блок перевіряльнич даних (рис. 6), який підтвердив адекватність роботи нечіткої системи: середньоквадратична похибка – 6,279%, та відсутність ефекту «перенавчання».

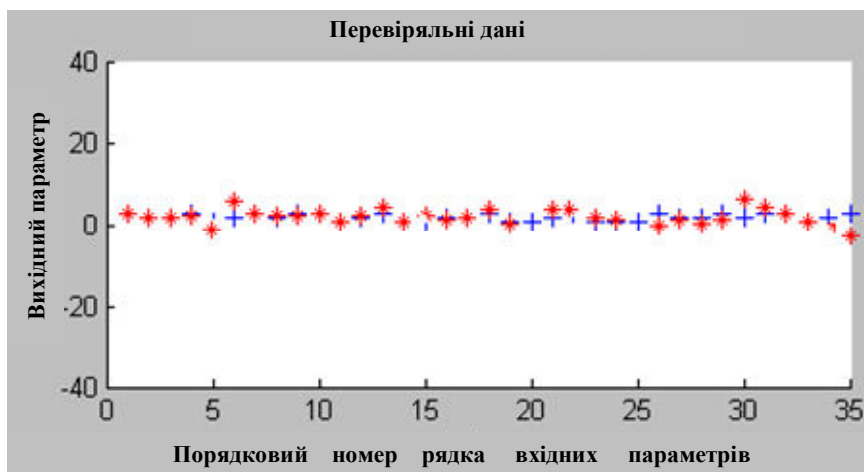


Рис. 6. Якість функціонування нечіткої системи при перевіряльній вибірці

4. Вибір структури САК САЕП та алгоритму опрацювання інформації.

Архітектура нейронечіткої мережі ANFIS-системи вибиралась згідно рекомендацій ANFIS-Editor та нами не змінювалась. Потім було створено систему нечіткого висновку (FIS-систему). FIS-система апроксимує залежність між входами та виходами на основі нечіткої бази знань та нечіткого логічного висновку.

Для опрацювання інформації було використано алгоритм Сугено. Сугено – це нечітка база знань, яка ділить простір вхідних змінних на нечіткі зони, в яких зв'язок між вхідними та вихідною змінною задають лінійною функцією. Результат нечіткого висновку отримують як зважену лінійну комбінацію результатів нечітких логічних висновків для кожного правила [8, 9].

В нашому випадку система нечіткого керування буде містити 17 правил нечітких продукцій.

5. Фазифікація, дефазифікація та побудова функцій належності.

На рис. 7 наведено функції належності для термів вхідних змінних: потужність СБ (in1), потужність ВЕУ (in2), потужність, яка потрібна споживачу (in3), вихід на пристрій комутації (out), mf1...mf17 – ім'я функцій належності.

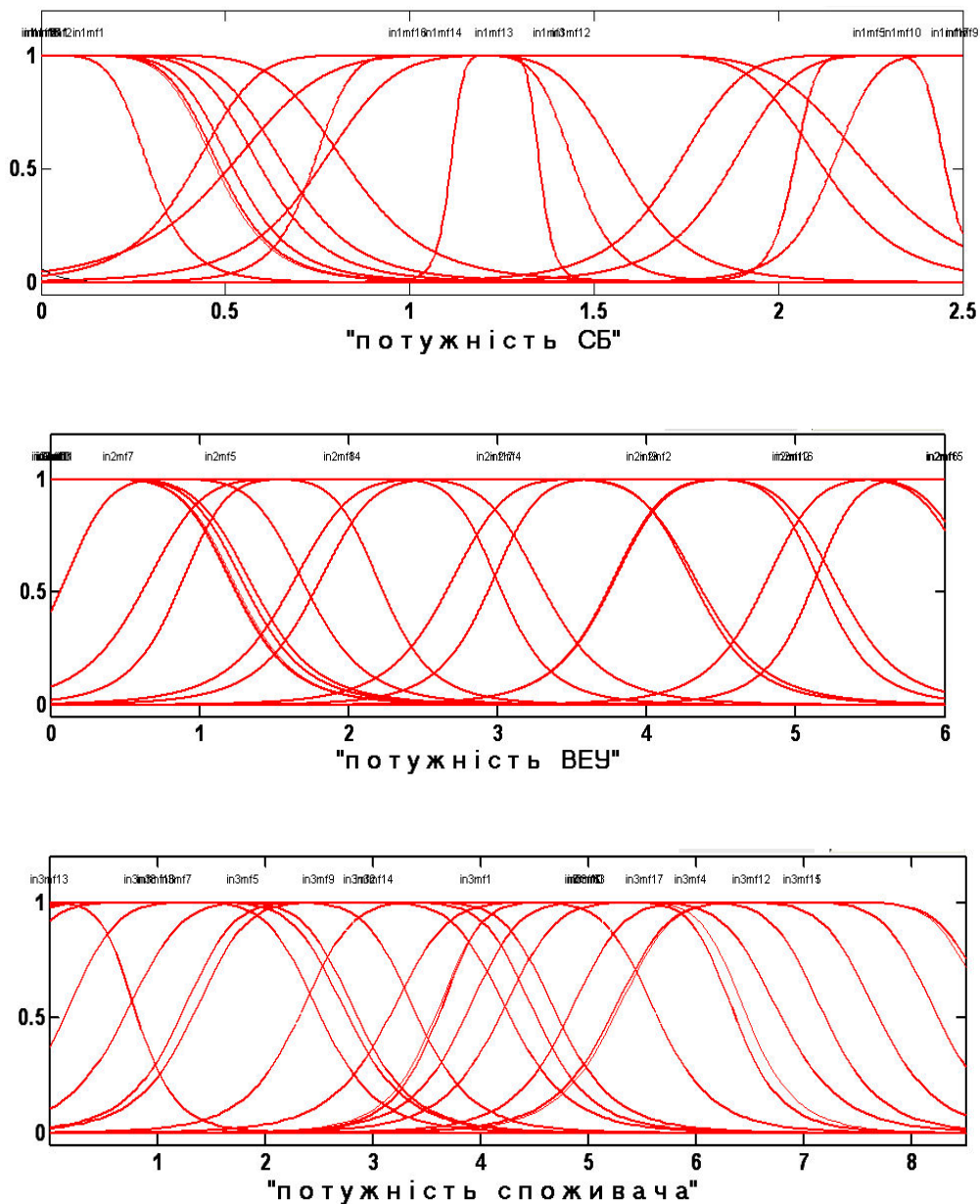


Рис. 8. Графіки функцій належності для термів вхідних змінних

Отримані результати. Однак така кількість функцій належності вказує на невизначеність. Тому необхідно проводити додаткові дослідження по визначенню ваги (пріоритету) тієї чи іншої функції належності.

На рис. 9 наведено синтезовану систему у вигляді нечіткої системи з нейропідлаштованими параметрами функцій належності.

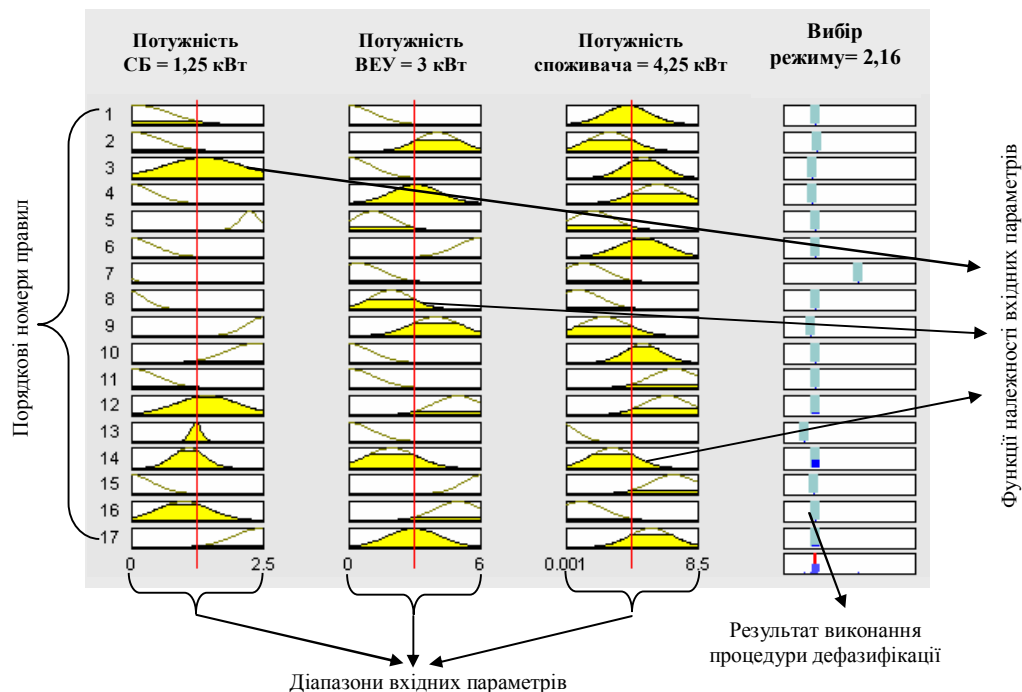


Рис. 9. Правила нечітких продукцій САК САЕП, які нейромережно налаштовані

Програмний код такої нечіткої системи за допомогою функціональних блоків MatLab® легко регенерувати на код мови програмування FCL (Fuzzy Control Language). Це дасть можливість інкапсулювати програмне забезпечення, розроблене на мові нечіткого керування FCL, у функціональний блок (на основі стандарту IEC 1131-3) програмованих логічних контролерів (PLC – Programmable Logic Controllers) у вигляді структурованого тексту. FCL описана у стандарті IEC 1131-7, де визначені цілі розробки мови, її базова структура.

Взаємодія алгоритму нечіткого керування САЕП з середовищем програмування, у нашому випадку можна використати такі SCADA-системи як ISaGRAF та Trace Mode, повинна бути прихована від інших програм цього середовища.

Висновки. За рахунок використання нейромережної адаптації можна оптимізувати структуру САК в умовах реального часу та створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування САЕП. Запропонований підхід відрізняється від відомих тим, що використання математичного апарату нечіткої логіки з нейромережною адаптацією, який було використано для створення САК, дозволило прогнозувати та узгоджувати процеси енергоспоживання та енергопостачання споживача від АДЕ.

Для апаратної реалізації нейронечіткої САК САЕП рекомендується використовувати мікроконтролер із стандартом підтримки програмного забезпечення ІЕС 1131-7.

Наведений в роботі алгоритм нейромережної адаптації САК САЕП, може бути використаний для автоматизації процесу керування енергопостачанням будь-яких об'єктів, які використовують для енергопостачання різнотипні автономні джерела енергії.

Список літератури:

1. Кваша Т. К. Розвиток альтернативних технологій в енергетиці у світі та Україні / Т. К. Кваша, О. Ф. Паладченко, А. В. Ямчук // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: зб. наук. статей за матеріали п'ятої міжнар. науково-практичної конф., 02-03 квітня 2009 р., Львів. – Львів: ЛьвЦНТЕІ, 2009. – С. 9-18.
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20.02.2003 року (із змінами, внесеними згідно із Законом № 601-VI (601-17) від 25.09.2008 р., Відомості Верховної Ради України, 2009, № 13).
3. Князевский Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник. / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Школа, 1979. – 431 с.
4. Голик О. П. Підхід до розв'язання задачі автоматизації процесу керування електропостачанням автономних споживачів в умовах невизначеності / О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. А. Березюк // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 26 – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 218-224.
5. Голик О. П. Автоматизована система керування автономним енергопостачанням на основі комбінованих вітро-сонячних установок / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 4 (23). – С. 20-22.
6. Голик О. П. Нейроадаптивний контур нечіткої системи керування автономним енергопостачанням на основі енергій сонця та вітру / О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» / № 161. – Київ: НУБІП, 2011. – С. 133-142.
7. Леоненков А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А. В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
8. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах: [Учебное пособие] / Деменков Н. П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 200 с.

9. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский. Л.; пер. с польск. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 452 с.
10. Голик О. П. Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб автономного споживача за рахунок відновлюваних джерел енергії / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Я. В. Степанова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 25, Ч.ІІ – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 155-161. С.398
11. Голик О. П. Методика автоматизації процесу керування електропостачанням фермерського господарства від автономних джерел енергії / О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. М. Каліч // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 130 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: - ХНТУСГ, 2012. – С. 76-78. С. 143

Голик Е. П., Беляев Ю. Б. Нейросетевая адаптация системы автоматического управления процессом автономного энергоснабжения от альтернативных источников энергии. Приведены результаты использования аппарата нечеткой логики и нейронных сетей для решения задачи автоматизации процесса управления энергоснабжением от альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергоснабжение, автономный потребитель, альтернативный источник энергии, неопределенность, система автоматического управления, нечеткая логика, нейронная сеть.

Golik O. P., Belyaev U. B. Adaptation by the neuron networks of the system of automatic control the process of autonomous power supply from alternative energy sources. The results of the use of vehicle of fuzzy logic and neuron networks are resulted for the decision of task of automation of process of management a power supply from alternative energy sources.

Key words: energy supply, autonomous user, alternative energy source, vagueness, system of automatic control, fuzzy logic, neuron network.

Рецензент – Гамалій В. Ф., д.ф.-м.н., професор, завідуючий кафедри маркетингу та економічної кібернетики Кіровоградського національного технічного університету.