

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СЕП»

Методичні вказівки

до виконання практичних занять для студентів

денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки:

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу»)

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації виробничих процесів,
протокол № 9 від 30.01.2018р.

Кропивницький 2018

Енергетичний моніторинг та оптимізація СЕП. Методичні вказівки до виконання практичних занять для студентів денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу») / О. П. Голик, М.С. Мірошніченко, І.А. Березюк – Кропивницький: ЦНТУ. -2018. - 56 с.

Укладачі: Голик О. П., кандидат технічних наук, доцент кафедри АВП;
Мірошніченко М.С., кандидат технічних наук, доцент кафедри АВП;
Березюк І.А., кандидат технічних наук, доцент кафедри АВП.

Рецензент: Віхрова Л.Г., кандидат технічних наук, професор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Практичне заняття №1 Аналіз режимів системи електропостачання та оптимізація параметрів її елементів.....	5
Практичне заняття №2 Пошук оптимальних рішень щодо вибору джерел енергії.....	22
Практичне заняття №3 Побудова нейронної мережі для керування системою електропостачання.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

Метою дисципліни є формування у студентів знань основних понять у сфері енергетичного моніторингу та оптимізації систем електропостачання, теорії оптимізації задач електропостачання, методів розв'язання задач оптимізації систем електропостачання. Курс розглядає інформаційні системи енергетичного моніторингу споживання енергетичних ресурсів у різних сферах.

Дані методичні вказівки містять практичні завдання направлені на розв'язання задач енергетичного моніторингу та оптимізації систем електропостачання, пошук оптимальних джерел енергії для об'єкта енергопостачання та побудову нейронної мережі для об'єкта енергозабезпечення.

Вчасно захищеною вважається робота захист якої студентом відбувся в межах часу передбаченого для цієї роботи в робочій навчальній програмі та згідно з розкладом занять.

Якщо за результатами рубіжного контролю студент отримав середнє арифметичне за два рубіжні контролі, яке менше ніж 4 бали, то студент не допускається до іспиту і вважається таким, що не виконав всі види робіт, які передбачаються навчальним планом на семестр з дисципліни «Машини та обладнання АПК».

Практичне заняття № 1

«Аналіз режимів системи електропостачання та оптимізація параметрів її елементів»

Мета заняття: ознайомитись з методами розподілу потужності по колах живлення споживачів, виконати статистичний аналіз транспортного циклу, здійснити вибір джерел бортового живлення та розрахувати баланс енергії борта та зарядного балансу акумуляторної батареї.

Теоретичні відомості

Еквівалентна схема бортової мережі електропостачання для заданих параметрів її елементів представлена на рис. 1.

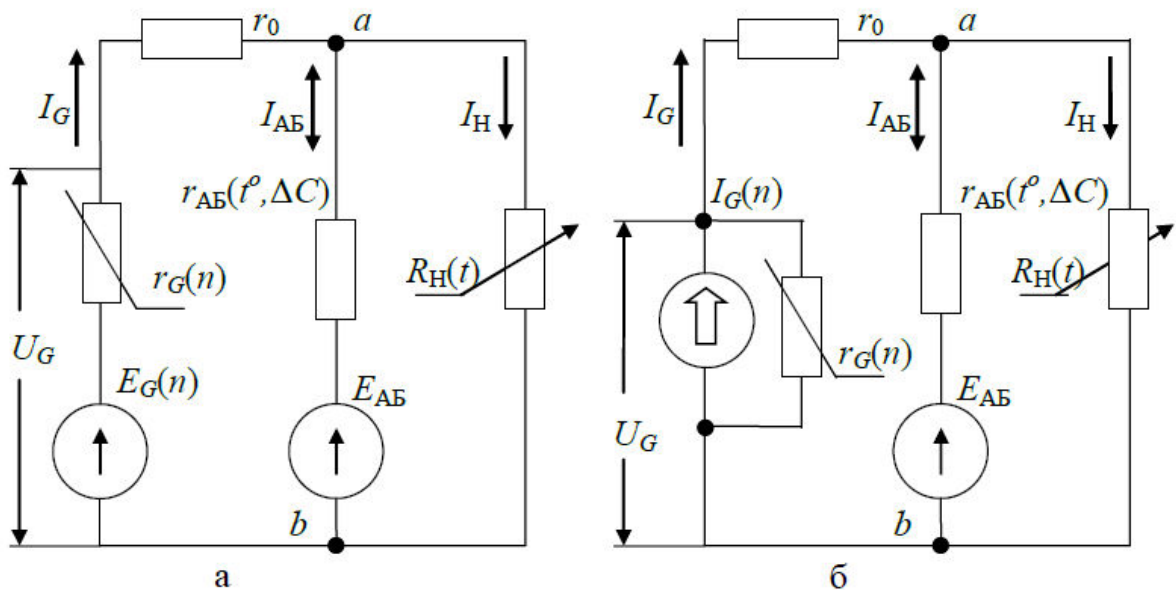


Рисунок 1 – Еквівалентні схеми системи електропостачання із заміщенням генератора:

а – у вигляді джерела ЕРС; б – у вигляді джерела струму

Генератор характеризується вироблюваною ЕРС - E_G і внутрішнім опором r_G , акумуляторна батарея відповідно – E_{AB} , r_{AB} . Еквівалентне навантаження

системи R_H заміщує на схемах споживачів потужності. Величина опору R_H змінюється під час експлуатації автомобіля. Опір кола на ділянці АКБ–генератор позначено r_0 . Для наведених схем можна скласти систему рівнянь за законами Кірхгофа:

$$\left. \begin{aligned} U_G &= I_G r_0 + I_H R_H \\ E_{AB} &= I_{AB} r_{AB} + I_H R_H \\ I_H &= I_G + I_{AB} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

Перше рівняння описує коло схеми без АКБ, друге – без генератора, третє – справедливо для узгодженого режиму роботи обох джерел енергії. Вирішуючи систему (1) відносно струмів у гілках схеми, одержимо рівняння, що описують систему електропостачання при визначених параметрах її елементів (вирішення задачі в загальному виді):

$$\begin{aligned} I_G &= \frac{U_G r_{AB} + (U_G - E_{AB}) R_H}{R_H r_0 + r_{AB} (r_0 + R_H)}, \\ I_{AB} &= \pm \left[\frac{U_G - E_{AB}}{R_H - E_{AB} r_0} \right] / \left[\frac{R_H r_0 + r_{AB}}{r_0 + R_H} \right], \\ I_H &= \frac{U_G r_{AB} + E_{AB} r_0}{R_H r_0 + r_{AB} (r_0 + R_H)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Слід зауважити, що величина ЕРС генератора залежить від швидкісного режиму ДВЗ та її поточні значення, при постійному струмі збудження $I_3 - const$ визначаються швидкісною характеристикою електричної машини $E_G = f(n)$. З іншого боку, генератор в системі працює з регулятором напруги і його можна представити у вигляді джерела струму з постійною номінальною напругою на виході U_H (рис. 1, б). В такому разі, струм генератора визначається струмшвидкісною характеристикою машини $I_G = f(n)$ та враховується ефект самообмеження струму (реакція якорю) в генераторах змінного струму.

Струмшвидкісна характеристика автомобільного генератора змінного

струму будується для фіксованих значень напруги $U_H - const$ та струму збудження $I_3 - const$ і може апроксимуватися експоненціальною залежністю:

$$I_G(n) = I_{G_{\max}} \left[1 - e^{-\left(\frac{n_{GX} - n}{n_{GX}}\right)} \right], \quad (3)$$

де $I_{G_{\max}}$ – максимальний струм, що віддає генератор (залежно від його потужності та номінальної напруги) n_{GX} – оберти холостого ходу генератора.

Швидкісна та струмошвидкісна характеристики описують потенційну можливість генератора, щодо віддачі потужності в мережу живлення при заданих швидкісних режимах. Реальна потужність, яку забезпечує генератор в системі, визначається його струмовим навантаженням. Щоб адекватно описати генератор, як джерело регульованої напруги, слід визначити залежність його внутрішнього опору від швидкісного режиму і ступеню збудження одночасно $r_G = f(n, I_3)$ та призначити $E_G = U_H$. На практиці, нема потреби вирішувати таку задачу, тому що в експлуатаційних умовах навантаження генератора та швидкість його обертання не мають ніякої залежності між собою.

Слід також зазначити що напруга та внутрішній опір АКБ в експлуатаційних умовах залежать від температури електроліту t_{el}^o та ступеню розрядженості ΔC_p (фактичної ємності АКБ). Параметри t_{el}^o та ΔC_p змінюються у часі та у свою чергу залежать від режимів зарядно-розрядного циклу та температурних умов експлуатації.

В залежності від співвідношення значень струму генератора I_G і струму в навантаженні I_H , розрізняють три характерні режими системи електропостачання.

Розвантажений режим заряду АКБ, коли $I_H = 0$, ($R_H = \infty$). В цьому режимі при $U_G > E_{AB}$ відбувається заряд АКБ струмом генератора $I_G = I_{AB} = U_G - E_{AB} / r_{AB} + r_0$.

Режим заряду АКБ під час навантаження системи, коли $I_H \leq I_G$. В цьому випадку при зниженні опору навантаження, зарядний струм АКБ зменшується й при $R_H = E_{AB} r_0 / (U_G - E_{AB})$ струм заряду АКБ дорівнює нулю. Живлення споживачів при цьому відбувається тільки за рахунок енергії генератора $I_H = I_G$.

Режим розряду АКБ, коли $I_H \geq I_G$. Для такого режиму опір споживачів визначається за умовою $R_H < E_{AB} r_0 / (U_G - E_{AB})$.

Таким чином режим системи електропостачання визначається: швидкісним режимом $n(t)$ та потужністю генератора, рівнем напруги, що регулюється U_H , параметрами та станом АКБ (E_{AB} , r_{AB}), навантаженням споживачами R_H .

Рівняння (1), (2) з урахуванням (3) являють рішення задачі в загальному виді при стаціонарних експлуатаційних умовах. Щоб визначити режими системи на будь який момент періоду експлуатації, необхідно задатися часовими функціями транспортного циклу $n=f(t)$, $R_H=f(t)$ та визначити температурний стан АКБ.

Статистичний аналіз транспортного циклу.

Транспортний (їздовий) цикл це функція, що описує зміну вихідних характеристик транспортного засобу протягом певного періоду часу або за визначений пробіг, який повторюється під час експлуатації (міський, міжміський, автобусний, маршрутний).

Під час експлуатації автомобіля швидкісний режим генератора носить випадковий характер та залежить від режимів руху (за призначенням транспорту) та умов руху (по місту чи по шосе, у день чи у ночі, в літку чи зимою). Для окремих типів (категорій) рухомого складу можна встановити статистичні залежності (статичні характеристики випадково-змінного процесу) між струмом, що потребується споживачами борта та обертами генератора на цей час.

Найпростішими статичними характеристиками є функція розподілу та щільність ймовірності випадкової величини. Для аналізу режимів системи електропостачання як вихідні розглядаються дані циклограми транспортного

циклу, отримані на підставі хронометричних спостережень або шляхом аналітичних розрахунків (для конкретних маршрутів). Залежно від постановки задачі циклограма може відображати характер розподілу швидкості руху, обертів двигуна, забезпечення необхідного крутного моменту чи потужності на колесах за період часу чи на заданому пробігу. Для прикладу, проаналізуємо часову циклограму швидкості руху автомобіля яка використовується для визначення потужності, що віддає генератор в мережу живлення (рис. 2).

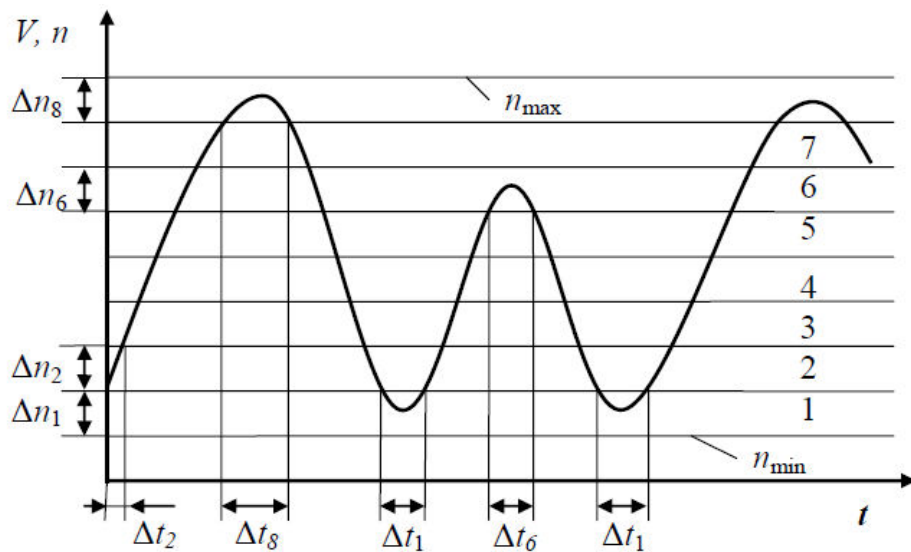


Рисунок 2 – Циклограма транспортного процесу

Щоб перейти від режиму руху транспортного засобу до швидкісного режиму генератора треба враховувати: передаточні відношення приводу генератора i_G , коробки передач $i_{КП}$, головної передачі заднього моста $i_{ЗМ}$; статичний радіус ведучих коліс $R_{кол}$. Перелічені характеристики враховуються через коефіцієнт обертаності, який пов'язує частоту обертання генератора n_G зі швидкістю руху транспортного засобу V_A :

$$K_G = \frac{n_G}{V_A} = 2660 \frac{i_G i_{КП} i_{ЗМ}}{R_{кол}}, \quad (4)$$

Швидкісну циклограму (рис. 2) перетворюють до діаграми розподілу частот обертання генератора $n_G(t)=K_G V_A(t)$ та поділяють на окремі діапазони частот. Функцію $n(t)$ поділяють на однакові швидкісні діапазони Δn та визначають періоди часу Δt_i перебування генератору в межах цих діапазонів.

На основі аналізу, побудованої у такий спосіб діаграми, визначають відносний час кожного режиму, який розглядається як ймовірність перебування генератора в заданому діапазоні частот:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1} t_{i,j}}{t_B} , \quad (5)$$

де j – часові фрагменти перебування генератора на i -тому швидкісному режимі.

В загальному випадку треба також враховувати ймовірність руху автомобіля накатом p_H , коли швидкість автомобіля має кінцеві значення, а генератор перебуває на обертах холостого ходу та ймовірність роботи ДВЗ на обертах холостого ходу p_X , коли автомобіль не рухається. При практичних розрахунках вважають ці ймовірності врівноваженими.

Отримані результати використовуються для побудування функції розподілу ймовірності обертання генератора з частотою нижче означених обертів за базовий період часу (рис. 3).

На практиці за результатами статистичного аналізу будують так звані інтегральні криві розподілу ймовірності обертання генератора на визначеній частоті для різних типів рухомого складу та умов руху. Для поменшання кількості характеристик, що розглядаються залежно від конкретної марки транспортного засобу, виконують приведення їх до загального коефіцієнту обертаності $K_G=60[\text{хв}^{-1}\text{год/км}]$. В результаті приведення отримують типові залежності, що необхідні для розрахунку балансу енергії (рис. 4).

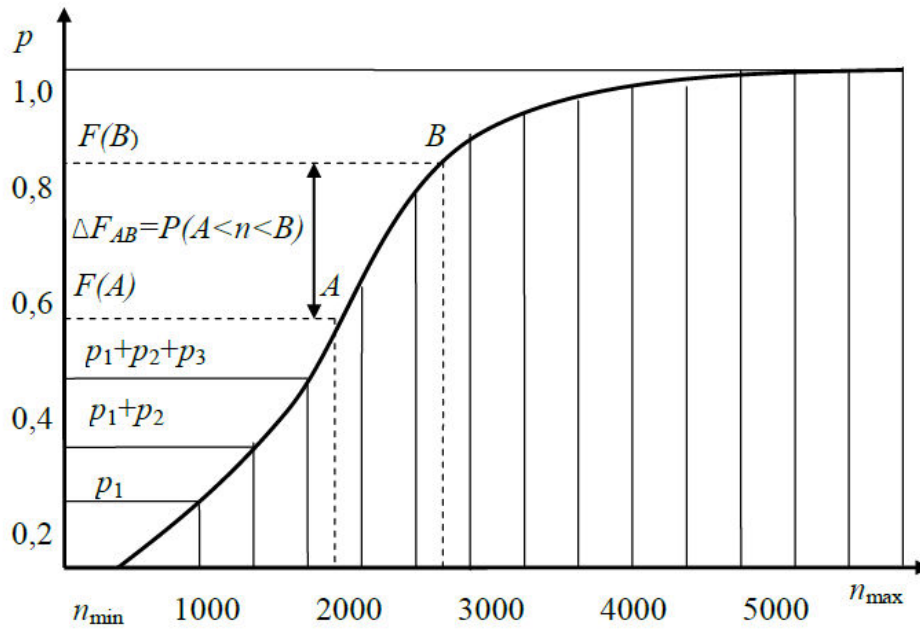


Рисунок 3 – Розподіл ймовірності і перебування генератора в частотному діапазоні

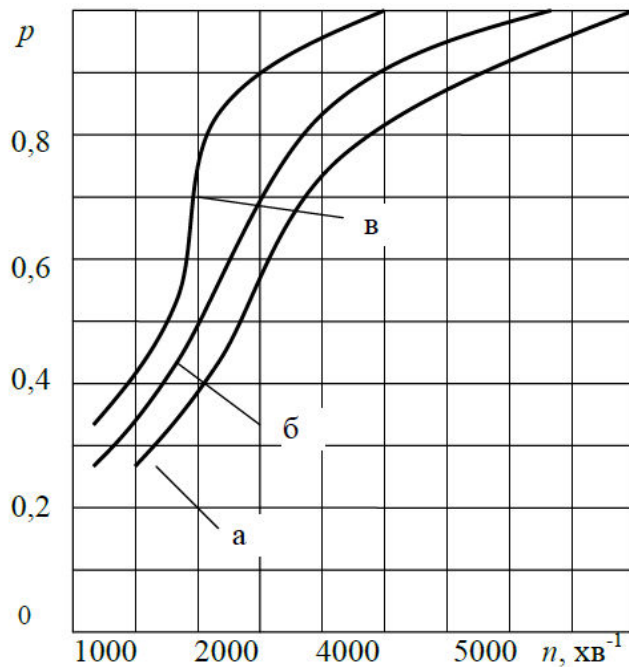


Рисунок 4 - Типові (інтегральні) залежності, розподілу ймовірності роботи генератора на обертах нижче заданих при експлуатації:

а – легкових автомобілів; б – вантажівок; в – автобусів

Щоб перейти від типових залежностей до кривих, що характеризують розподіл частоти конкретного транспортного засобу, слід перерахувати вісь обертів n^1 відносно фактичного коефіцієнта обертаності. При цьому початкові оберти генератора n_0 визначаються через оберти холостого ходу ДВЗ n_{XX} :

$$n^1 = n \frac{K_G}{60}, \quad n_0 = n_{XX} i_G. \quad (6)$$

У загальному виді кількість енергії в ампер-годинах (при постійній напрузі), яку виробляє генератор, визначають шляхом інтегрування струму, який забезпечує генератор за базовий період часу t_B

$$Q_G = \int^{t_B} I dt. \quad (7)$$

З позицій оцінки генератора як перетворювача енергії розглядають струмошвидкісну характеристику $I_G=f(n)$, яка встановлює зв'язок між витраченою механічною та отриманою електричною енергіями. Ця характеристика може надаватися у паспорті обраного типу генератору, бути отриманою за результатами досліджень або апроксимуватися виразом (3) на етапі попереднього розрахунку. Для визначення кількості енергії яку генератор може виробити при заданому режимі руху, аналізують суміщені швидкісні характеристики (рис. 5).

За допомогою цих характеристик розраховують кількість ампер-годин, що віддає генератор за базовий період часу. Для цього (7) вирішують у кінечно-мірному виді:

$$Q_G = t_B \sum_{i=1}^v I_{i,cp} \Delta p_i = t_B \sum_{i=1}^v \frac{I_i + I_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1}), \quad (8)$$

де i - поточні номери діапазонів частот обертання генератора; v - кількість швидкісних діапазонів; I_i - струм, що віддає генератор по правій границі i -го діапазону; p_i - відносний час (ймовірність) роботи генератора по правій границі i -го діапазону; $I_{i.cр}$ - середні значення струму в i -ому діапазоні; Δp_i - відносний час (ймовірність) роботи генератора в i - ому діапазоні.

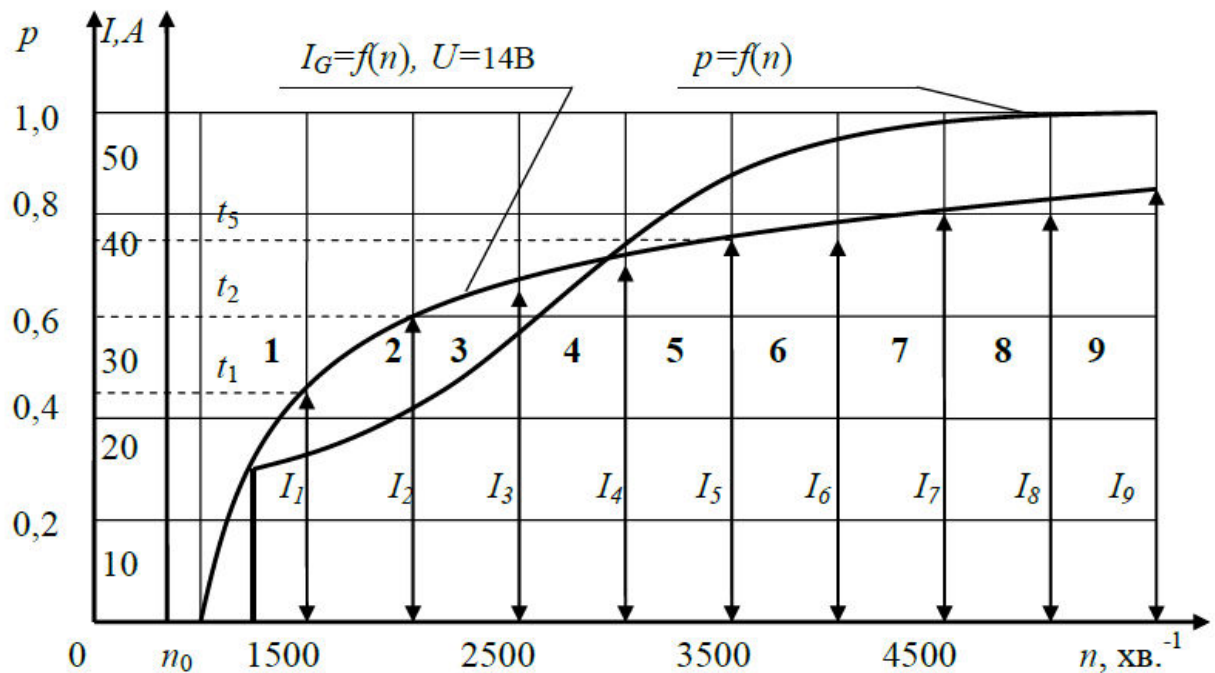


Рисунок 5 - Суміщені характеристики швидкісного режиму та струму, що забезпечує генератор

Критерії вибору джерел бортового живлення.

Акумуляторна батарея є спільним елементом системи пуску та системи електропостачання. Ємність АКБ обирається за умовою забезпечення пуску автомобіля, виходячи з потужності стартера. Потужність генератора, вид його струмошвидкісної характеристики та рівень напруги, що підтримується на борту регулятором напруги, обираються за умовою забезпечення електроенергією всіх споживачів борта при підтримці працездатності (ємності, внутрішнього опору) АКБ протягом певного терміну.

З метою подовження терміну служби АКБ обраної ємності, характеристики генераторної установки та споживачів електроенергії узгоджують таким чином, щоб виключити можливість глибокого розряду, або постійного перезаряду АКБ в умовах експлуатації. Придатність генераторного пристрою до борту автомобіля визначають за балансом електроенергії цього борта. Під балансом енергії борта автомобіля розуміють різницю між кількістю енергії, що виробляє генератор та кількістю енергії, потрібної для живлення споживачів за базовий період часу (година, доба, транспортний цикл).

Розрахунок зарядного балансу АКБ полягає в порівнянні енергії, що витрачається на заряд АКБ та енергії, яку АКБ віддає в мережу живлення. Розрахунок балансів енергії виконується з метою оптимізації бортових джерел енергії (генератора, АКБ) при проектуванні систем електропостачання та пуску ДВЗ або при встановленні на боту транспортного засобу додаткових (не штатних) споживачів. До розбалансу енергії борта також може привести відхилення умов та режимів експлуатації транспортного засобу (цілодобова робота з ввімкненими фарами та отоплювачем).

Під час вибору типу генератора для борта автомобіля з визначеним складом споживачів прагнуть обрати генератор мінімально необхідної потужності. Це пов'язано з невиправданими втратами потужності ДВЗ на подолання гальмівного моменту, що спричиняє генератор та перезарядом АКБ.

На підставі статистичного аналізу (обробки хронометричних спостережень) визначають коефіцієнти часу роботи $K_{\text{ч}}$ (відношення часу роботи споживача до часу роботи ДВЗ) та коефіцієнти навантаження $K_{\text{н}}$ для споживачів не постійного включення (середнє споживання потужності за період роботи автомобіля). Для попередньої оцінки необхідної потужності генератора визначають розрахункове навантаження від споживачів борта:

$$I_{\text{PC}} = \sum_{i=1}^N I_{\text{Hi}} K_{\text{чi}} K_{\text{Hi}} \cdot \quad (9)$$

Необхідний номінальний струм генератора в загальному вигляді

визначають з урахуванням можливого розряду АКБ:

$$I_{GH} = I_{PC} / (1 - \tau_p) \quad (10)$$

де τ_p - відносний час розряду АКБ (без роботи ДВЗ).

Підсумковий час розряду АКБ за базовий період визначають за результатами хронометричних спостережень (кількість та тривалість періодів пуску ДВЗ, освітлення та теплення на стоянках).

Необхідну номінальну потужність генератора визначають через номінальну напругу АКБ та розрахунковий струм споживачів з урахуванням умов заряду АКБ:

$$P_{GH} = k_{AB} U_{AB} I_{PC} \quad (11)$$

де k_{AB} – коефіцієнт, що враховує оптимальний режим заряду АКБ ($k_{AB}=1,15$ для легкових автомобілів, $k_{AB}=1,25$ – для вантажівок).

Якщо система електропостачання проектується для нового борта (склад споживачів, режими їх навантаження та умови експлуатації транспортного засобу відрізняються від середньостатистичних) параметри генератора слід визначати за результатами розрахунку балансу енергії. При цьому, якщо режим руху має певні особливості, залежність (рис. 3) будується персонально для обраної категорії автомобілів.

Згідно до нормативних документів придатність системи електропостачання оцінюють за добовим балансом енергії при експлуатації транспортного засобу у місті взимку та за годинним зарядженням або розрядженням АКБ. При цьому розбаланс АКБ за годину визначають як відсоток від номінальної ємності АКБ, що експлуатується в найбільш важких умовах (зима, місто, ніч).

Система електропостачання вважається придатною, якщо добовий баланс енергії борта позитивний та негативний годинний баланс енергії АКБ не перевищує припустимих значень, що обумовлені в нормативних документах. Позитивний добовий баланс виключає можливість щоденного розрядження АКБ (втрати ємності) в режимі циклування. Негативний годинний баланс

виключає можливість перезарядження АКБ при відхиленнях режимів системи електропостачання від середньостатистичних (робота ДВЗ на підвищених обертах при мінімальній потужності підключених споживачів).

Методика розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ.

Метою розрахунку балансів енергії є вибір типу генератора для системи електропостачання або перевірка придатності обраного генератора при заданих параметрах АКБ.

Як вихідні дані при розрахунку балансів енергії розглядаються: склад споживачів, значення їхніх номінальних струмів або потужностей, характер роботи споживачів в експлуатаційних режимах, передаточні числа трансмісії та приводу генератора, стумошвидкісна характеристика генератора (якщо перевіряється придатність запропонованого типу генератора), зарядно-розрядні характеристики АКБ, циклограма транспортного режиму $V=f(t)$, яку треба підтримувати. Розрахунок балансу енергії борта виконується в наступній послідовності (рис. 6).

1. Розраховують коефіцієнт обертаності K_G згідно (4) та визначають початкові оберти n_0 (6).

2. Циклограму, що задана $V=f(t)$, перетворюють до діаграми розподілу частот обертання генератора $n(t)=K_G V(t)$ та поділяють на окремі діапазони частот. По часовій осі визначають відповідні інтервали часу протягом якого генератор перебуває у заданому швидкісному режимі (рис. 2).

3. На підставі аналізу діаграми розподілу частот обертання визначають ймовірність перебування генератора в заданому швидкісному діапазоні згідно (5).

4. Діаграму (рис. 2) перебудовують у графік функції розподілу ймовірності по швидкісним діапазонам $p_i=f(n)$ (рис. 3).

5. На осі обертів графіка (рис. 2) добудовують стумошвидкісну характеристику генератора $I_G=f(n)$ який пропонується або функцію, що її апроксимує (3) по заданих значеннях навантаження, співвідношенню шківів

приводу генератора та швидкісному діапазону ДВЗ. Значення $I_{G,max}$ (вразі підбору генератора) обирають, виходячи з пікових навантажень борта.

6. По сполученим характеристикам (рис. 5) розраховують кількість ампер-годин Q_G , що віддає генератор за базовий період, згідно виразу (8).

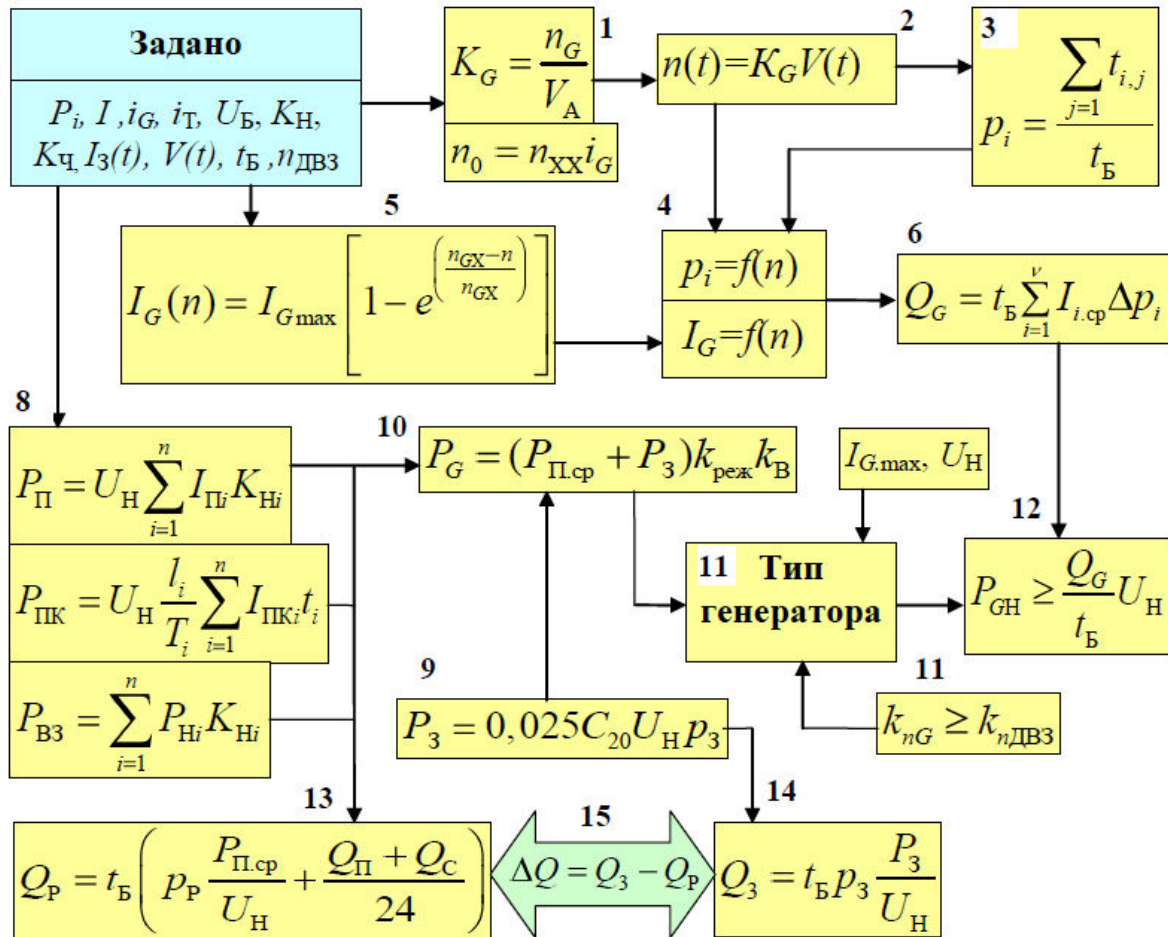


Рисунок 6 – Схема розрахунку балансів енергії

7. За результатами аналізу характеру роботи споживачів в експлуатаційних режимах (вихідні дані) визначають відповідні коефіцієнти часу $K_Ч$ й навантаження K_H , (або обирають по довідковим таблицям).

8. Розраховують потужність, що витрачається споживачами енергії. При цьому розрізняють три складові потужності, що споживається (три типи споживачів):

Потужність споживачів, які працюють з постійним навантаженням (система запалювання, прилади освітлення, отоплювач) визначається через струм споживання:

$$P_{\Pi} = U_{\text{H}} \sum_{i=1}^n I_{\Pi i} K_{\text{H}i} , \quad (12)$$

де $K_{\text{H}i}$ - коефіцієнт навантаження i -го споживача; U_{H} – номінальна напруга бортової мережі; $I_{\Pi i}$ - струм, що споживаються i -м споживачем.

Потужність споживачів, які працюють у повторно короткочасному режимі (двирники, сигнали поворотів) визначається з урахуванням параметрів циклічного режиму:

$$P_{\text{ПК}} = U_{\text{H}} \frac{l_i}{T_i} \sum_{i=1}^n I_{\text{ПК}i} t_i , \quad (13)$$

де $I_{\text{ПК}i}$ -струм, що споживається i -м споживачем при постійному включенні; t_i - час роботи i -го споживача в циклі; l_i - кількість циклів за час роботи i -го споживача; T_i - період переключення i -го споживача в циклі.

Потужність споживачів, які працюють з випадково-змінним навантаженням (стартер) підраховують з урахуванням коефіцієнту навантаження:

$$P_{\text{ВЗ}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{H}i} K_{\text{H}i} , \quad (14)$$

де $P_{\text{H}i}$ - номінальна потужність i -го споживача.

Загальна потужність споживачів визначається як сума її складових:

$$P_{\text{Пср}} = P_{\Pi} + P_{\text{ПК}} + P_{\text{ВЗ}} . \quad (15)$$

При розрахунках середню споживану потужність $P_{П.ср}$ визначають для найбільш напруженого режиму місто-зима-ніч.

9. Визначають потужність, необхідну для заряду АКБ виходячи з номінального режиму заряду:

$$P_3 = 0,025C_{20}U_H p_3, \quad (16)$$

де C_{20} – номінальна ємність АКБ; $p_3 = t_3/t_B$ – відносний час заряду АКБ при працюючому ДВЗ.

Якщо оберти неробочого ходу генератора не перевищують початкові n_0 , вважають $p_3=1$. Якщо навпаки p_3 визначають за розподілом частоти обертання генератора (рис. 2). Вразі значного відхилення умов заряду АКБ в системі, що проектується (форсований заряд, застосування АКБ з оригінальними характеристиками), від загально прийнятих норм, потужність яка витрачається на заряд, визначають на підставі зарядних характеристик АКБ.

10. Визначають потрібну потужність генератора з урахуванням допустимого режиму навантаження $k_{реж}$ та схеми випрямляча k_B :

$$P_G = (P_{П.ср} + P_3)k_{реж}k_B, \quad (17)$$

Коефіцієнт режиму визначає теплове навантаження генератора (робочу точку стумо-швидкісної характеристики при номінальному навантаженні). Величину $k_{реж}$ обирають за рекомендованими значеннями в залежності від умов експлуатації. Коефіцієнт схеми k_B враховує діюче значення струму при одно чи двонапівперіодному випрямленні (довідкові дані).

11. По розрахованому значенню P_G , обраному піковому навантаженню $I_{G.max}$ та номінальній напрузі борта U_H обирають тип генератора. При виборі генератора необхідно, щоб кратність частоти обертання ДВЗ не перевищувала кратності робочого діапазону обертання генератора:

$$\frac{n_{G.max}}{n_{GX}} \geq \frac{n_{ДВ.max}}{n_{ДВ.min}}, \quad (18)$$

12. Перевіряють придатність обраного генератора з номінальною потужністю P_{GH} для заданого режиму за умовою:

$$P_{GH} \geq \frac{Q_G}{t_B} U_H . \quad (19)$$

13. Розраховують кількість енергії, що віддає АКБ у мережу живлення:

$$Q_P = t_B \left(p_P \frac{P_{Псп}}{U_H} + \frac{Q_{П} + Q_C}{24} \right) , \quad (20)$$

де p_P - ймовірність роботи генератора на обертах при яких не забезпечується заряд АКБ; $Q_{П}$ - ємність, що витрачається на пуски ДВЗ електростартером; Q_C - ємність, що витрачається на живлення окремих споживачів які можуть підключатися до АКБ при непрацюючому ДВЗ (прилади освітлення, аудіо-відео апаратура, система передпускового підігріву двигуна).

Значення $p_P=1-p_3$ розраховують, виходячи з початкової частоти (частоти холостого ходу ДВЗ) та частоти холостого ходу обраного генератора. Рекомендовані значення $Q_{П}$ на добу для бензинових ДВЗ складають $0,03C_{20}$, для дизельних ДВЗ – $0,1C_{20}$.

Якщо стартерний режим борта, що проектується, значно відрізняється від середньостатистичного режиму (кількість та тривалість стартів), значення $Q_{П}$ розраховують на підставі розрядних характеристик АКБ. Ємність Q_C обирають в залежності від характеристик та режимів роботи відповідних споживачів.

14. Розраховують кількість енергії (ємність), що витрачається на заряд АКБ за базисний час:

$$Q_3 = t_B p_3 \frac{P_3}{U_H} . \quad (21)$$

15. Перевіряють зарядний баланс АКБ:

$$\Delta Q = Q_3 - Q_P . \quad (22)$$

Потужність обраного генератора повинна бути такою, щоб забезпечувався невеликий позитивний добовий зарядний баланс. Якщо зарядний баланс виходить негативним, необхідно вибрати генератор більшої потужності або збільшити діаметр шківу приводу генератора i_G дотримуючись умови

$$n_{G.\max} > n_{ДВ.\max}^{i_G} .$$

Завдання:

Виконати розрахунок балансу енергії борта та зарядного балансу акумуляторної батареї, згідно варіанту.

Варіанти:

Номер варіанту	Номінальний струм, А	Номінальна потужність, Вт	Передаточні числа трансмісії	Передаточні числа приводу генератора
1	12	200	2	5
2	0,26	150	2	6
3	5	100	2	2
4	4,3	46	3	7
5	1,58	75	5	4
6	8	28	6	6
7	2,58	69	4	9
8	7	35	4	5
9	6,48	186	2	5
10	3,44	173	2	6

Звіт з практичного заняття повинен містити:

1. Титульний аркуш
2. Назву роботи
3. Мету роботи
4. Результати виконання завдання
5. Висновки

Практичне заняття № 2

«Пошук оптимальних рішень щодо вибору джерел енергії»

Мета заняття: навчитись виконувати вибір джерел енергії за допомогою побудови матриці рішень.

Теоретичні відомості

В загальному випадку, невизначеність – це недостатня (або відсутність) інформації про об'єкт дослідження. Можуть бути такі невизначеності:

- природних явищ, таких як погодні умови та ін.;
- пов'язані з недостатніми знаннями про надходження інформації, яка впливає на прийняття рішення (ПР);
- пов'язані з недостатньою кількістю досвіду та знання факторів, що впливають на ПР.

Загалом перераховані вище невизначеності можуть носити наступний характер.

Стохастична невизначеність виникає, коли невідомі фактори статистично стійкі і тому представляють собою звичайні об'єкти теорії імовірності – випадкові величини. Під статистичною стійкістю розуміють, що будь-який статистично значимий результат є «стійким», в тому сенсі, що при повторному проведенні експерименту можна впевнено очікувати аналогічні результати. При

цьому повинні бути визначені всі необхідні статистичні характеристики (закони розподілу та їх параметри).

Невизначеність не стохастичного виду, при якій ніяких припущень про стохастичну стійкість не існує.

Невизначеність коли рішення приймається на основі яких-небудь гіпотез про закони розподілу випадкових величин. При цьому необхідно мати на увазі можливість несумісності рішення з реальними умовами. Така можливість несумісності формалізується за допомогою коефіцієнтів ризику.

Рішення – це вибір альтернативи. До рішень, які приймаються в умовах ризику відносяться такі рішення, результати яких не є визначеними, але імовірності кожного можливого результату можна визначити.

Рішення приймають в умовах невизначеності, коли неможливо оцінити імовірність потенційних результатів. Це має місце тоді, коли фактори, що потребують врахування настільки нові та складні, що неможливо отримати достатню кількість інформації, яка може об'єктивно визначити імовірність, або наявна ситуація не підлягає відомим закономірностям. Тому імовірність деяких наслідків неможливо передбачити з достатньою ступенем достовірності.

При ПР поза залежністю від використовуваних моделей існують деякі правила ПР. правило ПР – це критерій, згідно якого виноситься думка про оптимальність даного конкретного результату. Існує два типи правил. Перший тип не використовує чисельні значення імовірнісних результатів, другий – використовує чисельні значення.

Для прийняття оптимальних рішень використовуються наступні методи:

- матриця рішень;
- дерево рішень.

Матриця рішень корисна в тому випадку, коли:

- необхідно встановити, яка стратегія в найбільшій мірі буде сприяти досягненню мети;
- кількість альтернатив або варіантів стратегії не дуже велика;

- імовірність події не може бути точно та повністю визначена;
- результати ПР залежать від того, яку саме обрано альтернативу та які події в дійсності мають місце.

Дерево рішень – схематичне представлення проблеми ПР. Використовується для вибору найкращого напрямку дій з тих варіантів, що існують.

Метод дерева рішень може використовуватись як в ситуаціях, в яких використовується матриця рішень, так і в більш складних ситуаціях, в яких результати одного рішення впливають на наступні рішення (послідовні рішення).

В більшості складних структурах кожному допустимому варіанту A_i внаслідок різних зовнішніх умов λ_i можуть відповідати різні результати y_{ij} . Так і створюється сукупність рішень, які описуються матрицею (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця рішень $\parallel y_{ij} \parallel$

Стратегії	Фактори					
	λ_1	λ_2	...	λ_j	...	λ_n
A_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1j}	...	y_{1n}
A_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2j}	...	y_{2n}
:	:	:	...	:	...	:
A_i	y_{i1}	y_{i2}	...	y_{ij}	...	y_{in}
:	:	:	...	:	...	:
A_m	y_{m1}	y_{m2}	...	y_{mj}	...	y_{mn}

Невизначені фактори, закон розподілу яких невідомий, є найбільш характерними при дослідженні якості адаптивних систем. Під адаптивними системами розуміють системи на основі адаптивного керування, яке представляє собою сукупність методів теорії управління, що дозволяють синтезувати системи керування, які мають можливість змінювати параметри

регулюючих органів в залежності від змін параметрів об'єкта керування або зовнішніх збуджень, що діють на об'єкт керування. Врахування таких факторів базується на формуванні спеціальних критеріїв, на основі яких приймаються рішення. Критерії *Вальда*, *Севіджа*, *Гурвіца та Лапласа* вже давно увійшли в теорію прийняття рішень.

У відповідності з *критерієм Вальда* в якості оптимальної обирається стратегія, що гарантує найкращий результат серед найгірших [1-5]:

$$W = \max_i \min_j W_{ij}, \quad (1)$$

де i – альтернативи; j – фактори, що впливають на вибір альтернативи.

Обране таким чином рішення повністю виключає ризик. Використання цього критерію може бути оправдане, якщо ситуація, в якій приймається рішення, характеризується наступними обставинами:

- про імовірність появи стану U_{ij} нічого не відомо;
- появу стану U_{ij} необхідно враховувати;
- реалізується невелика кількість рішень;
- не допускається ніякого ризику.

Критерій Байєса-Лапласа на відміну від критерію Вальда, враховує кожний з можливих наслідків всіх варіантів рішень:

$$W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij}(A_i, \lambda_j), \quad (2)$$

де n – кількість факторів, що впливають на ПР при виборі альтернатив; A_i – можливі альтернативи; λ_j – фактори, що впливають на вибір альтернативних рішень.

Критерій Байєса-Лапласа використовують в ситуаціях коли:

- імовірність появи стану U_{ij} відома і не залежить від часу;
- ПР теоретично допускає нескінченно велику кількість реалізацій;
- допускається деякий ризик при невеликій кількості реалізацій.

У відповідності з *критерієм Севіджа* в якості оптимальної обирається така стратегія, при якій величина ризику приймає найменше значення в найгіршій ситуації:

$$W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij}), \quad (3)$$

Тут величину W можна інтерпретувати як максимальний додатковий результат, який досягається, якщо у стані U_{ij} замість варіанту A_i обрати інший, оптимальний для цього зовнішнього стану, варіант.

Згідно *критерію Гурвіца* обирається така стратегія, яка займає положення між крайнім песимізмом та оптимізмом:

$$W = \max_j [\alpha \min_i W_{ij} + (1 - \alpha) \max_i W_{ij}], \quad (4)$$

де α - коефіцієнт оптимізму-песимізму.

При $\alpha = 1$ критерій Гурвіца перетворюється в критерій Вальда (песимізму), а при $\alpha = 0$ – в критерій Байєса-Лапласа (оптимізму). Частіше всього приймають $\alpha = 0,5$.

Критерій Гурвіца використовують у ситуаціях, коли до ПР висуваються наступні вимоги:

- про імовірність появи стану U_{ij} нічого не відомо;
- появу стану U_{ij} необхідно враховувати;

- реалізується невелика кількість рішень;
- допускається деякий ризик.

Необхідно відмітити наступне: якщо в окремих ситуаціях не допускається навіть мінімальний ризик, то необхідно використовувати критерій Вальда; якщо певний ризик допускається, то можна скористатися критерієм Севіджа. Доцільним є одночасне використання різних критеріїв. Після цього серед декількох варіантів, отриманих таким чином, в якості оптимального необхідно обрати кінцевий результат.

Такий підхід дозволяє, по-перше, краще зрозуміти всі внутрішні зв'язки проблеми ПР та, по-друге, послаблює вплив суб'єктивного фактора. Крім того, в області технічних задач різні критерії часто призводять до одного результату.

Приклад

Припустимо, що для забезпечення електроенергією присадибної ділянки споживач хоче придбати один з трьох типів енергообладнання (сонячні батареї, вітроелектричну установку або акумуляторні батареї). Невизначеність Иси полягає в тому, що споживач наперед не має інформації про те, яке обладнання слід придбати. Необхідно визначити, яке обладнання слід придбати споживачу для задоволення своїх енергопотреб.

Розв'язок. Першим кроком необхідно побудувати матрицю рішень. Будується вона наступним чином. Рядки матриці відповідають можливим діям (альтернативним рішенням), а стовбці – можливим станам системи. Тобто в якості альтернативних рішень A_1, A_2, A_3 – можливі комбінації енергетичних потоків (A_1 – сонячна батарея; A_2 – вітроелектрична установка; A_3 – акумуляторна батарея). Факторами, що впливають на ПР при виборі альтернатив є множина $A\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6\}$ (λ_1 - питома вартість обладнання; λ_2 - вартість виробленої електроенергії; λ_3 - здатність задовольнити потреби в

електроенергії; λ_4 - погодні умови; λ_5 - кількість виробленої енергії; λ_6 - безперебійність). Кожній дії A_i і кожному стану системи λ_j відповідає очікуваний результат $U_{ij}(A_i, \lambda_j)$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$, що визначає перевагу даної дії і реалізації даного стану системи, наприклад, U_{11} – питома вартість λ_1 при використанні сонячної установки A_1 . Очікувані результати матриці $\{U_{ij}\}$ формуються за 10-бальною приведеною шкалою. Зазвичай, цю шкалу визначають за допомогою експертів. В нашому випадку ми власноруч визначимо результати, покладаючись на власні знання.

10 – найкращій результат; 1 – найгірший результат.

Матриця рішень наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця рішень для пошуку оптимального джерела енергії

Альтернативи	Фактори					
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
A_1	8	10	8	8	8	8
A_2	9	10	10	9	10	9
A_3	10	9	9	10	9	10

Наприклад, розглянемо стовпчик λ_1 . Результати тут обрані таким чином. Питома вартість акумуляторної батареї є найнижчою, отже цей варіант є найкращим для стовпчика λ_1 . тому результат в комірці U_{31} становить 10. аналогічним чином визначаються інші результати. Оптимальне рішення знаходимо за допомогою відомих критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа.

Критерій Вальда.

Згідно правила:

$$A_i^* = \max_i \min_j \{U_{ij}\}$$

Визначаємо множину оптимальних рішень $A_i = \{A_1, A_2, A_3\}$:

$$A_1 = \min \{8, 10, 8, 8, 8, 8\} = 8$$

$$A_2 = \min \{9, 10, 10, 9, 10, 9\} = 9$$

$$A_3 = \min \{10, 9, 9, 10, 9, 10\} = 9$$

Оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{8, 9, 9\} = 9$$

Згідно з критерієм Вальда, оптимальним рішенням є вибір вітроелектричної установки або акумуляторної батареї.

Критерій Лапласа.

Згідно правила:

$$A_i^* = \max a_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N U_{ij} \right\}$$

Кількість факторів, які впливають на вибір джерела енергії $n = 6$.

Визначимо множину альтернативних рішень:

$$A_1 = \frac{1}{6} \cdot (8 + 10 + 8 + 8 + 8 + 8) = 8,3$$

$$A_2 = \frac{1}{6} \cdot (9 + 10 + 10 + 9 + 10 + 9) = 9,5$$

$$A_3 = \frac{1}{6} \cdot (10 + 9 + 9 + 10 + 9 + 10) = 9,5$$

Оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{8,3; 9,5; 9,5\} = 9,5$$

Знову оптимальним рішенням є вибір альтернатив A_2 та A_3 .

Критерій Гурвіца.

Згідно правила:

$$A_i^* = \max a_i \left\{ \alpha \max \lambda_j \{U_{ij}(a_i \lambda_j)\} + (1 - \alpha) \min \lambda_j \{U_{ij}(a_i \lambda_j)\} \right\}$$

Обираємо коефіцієнт оптимізму-песимізму α рівним 0,5, тоді маємо:

$$A_i^* = \max a_i \left\{ 0,5 \max \lambda_j \{U_{ij}(a_i \lambda_j)\} + (1 - 0,5) \min \lambda_j \{U_{ij}(a_i \lambda_j)\} \right\}$$

Оптимальні стратегії:

$$A_1 = \{0,5 \max \{8,10,8,8,8,8\} + (1 - 0,5) \min \{8,10,8,8,8,8\}\} = \{0,5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 8\} = 9$$

$$A_2 = \{0,5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 9\} = 9,5$$

$$A_3 = \{0,5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 9\} = 9,5$$

Оптимальне рішення: $A^* = \max \{9; 9,5; 9,5\} = 9,5$.

Знову приходимо до одного висновку (A_2 та A_3).

Критерій Севіджа.

Згідно правила:

$$A_i^* = \min \max r_{ij}$$

де r_{ij} – матриця втрат: $r_{ij} = \max U_{ij} - U_{ij}$, $i=1, m$.

Необхідно сформувати матрицю втрат r_{ij} . Для цього треба визначити в кожному рядку максимальний елемент $\max \lambda_j$ та, відняти всі останні елементи рядка, отримаємо нову матрицю втрат, яка наведена в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця втрат $r_{ij}(a_i; \lambda_j)$

Альтернативи	Фактори					
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
A_1	2	0	2	2	2	2
A_2	1	0	0	1	0	1
A_3	0	1	1	0	1	0

Згідно табл. 3 визначаємо оптимальні стратегії:

$$A_1 = \max \{2, 0, 2, 2, 2, 2\} = 2$$

$$A_2 = \max \{1, 0, 0, 1, 0, 1\} = 1$$

$$A_3 = \max \{0, 1, 1, 0, 1, 0\} = 1$$

Висновок: згідно критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвіца та Севіджа, оптимальним рішенням для споживача є вибір альтернатив A_2 та A_3 , тобто для енергопостачання присадибної ділянки йому слід придбати вітроелектричну установку або акумуляторні батареї.

Завдання до практичного завдання

Виконати пошук оптимальних джерел енергії для об'єкту, використовуючи критерії прийняття рішень в умовах невизначеності та побудувати матрицю рішень. Кількість джерел енергії повинна бути не менше 4, крім того всі джерела енергії розподілити по альтернативам.

Звіт з практичного заняття повинен містити:

1. Титульний аркуш
2. Назву роботи
3. Мету роботи
4. Результати виконання завдання
5. Висновки

Практичне заняття № 3

«Побудова нейронної мережі для керування системою електропостачання»

Мета заняття: навчитись виконувати побудову нейронної мережі з використанням нечіткого регулятора для керування системою електропостачання.

Теоретичні відомості

Одним з традиційних шляхів розв'язання задачі керування об'єктами в умовах невизначеності є використання адаптивних методів керування. Їхнє застосування дозволяє успішно розв'язувати поставлені задачі. Проте, подібні методи мають деякі особливості, серед яких можна виділити наступні.

На етапі параметричної ідентифікації визначаються параметри моделі об'єкта керування. Таким чином, виникає необхідність у формуванні адекватних моделей об'єктів керування. Однак, із збільшенням розмірів і складності системи істотно ускладнюється її моделювання за допомогою відомих математичних виразів, зростає кількість змінних і параметрів.

Вимірювання окремих змінних і визначення параметрів, особливо у режимі реального часу, можливе лише у лабораторних умовах, і створення цілком адекватної моделі стає досить складною задачею. До того ж деякі особливості поведінки динамічних систем важко формалізувати, тому їх врахування у моделях неможливе.

Тому приходимо до висновку щодо доцільності використання апарату нечіткої логіки (НЛ) з нейромережною адаптацією. Оскільки внаслідок зміни зазначених вище умов нейронної мережі (НМ) можна буде перенавчати за рахунок накопичення бази знань в ході роботи системи. Тим більше, що саме така можливість програмно реалізована у середовищі ANFIS Editor пакету

прикладних математичних програм MatLab[®].

Загалом НЛ призначена для формалізації людських можливостей до наближених міркувань.

Класична логіка по своїй суті ігнорує проблему невизначеності, оскільки всі висловлювання в формальних логічних системах можуть мати лише значення “істина” $\{I, 1\}$ та “фальш” $\{F, 0\}$. На відміну від цього в НЛ істинність міркувань оцінюється з певним ступенем, який може приймати й інші відмінні значення, ніж $\{I, F\}$.

При формуванні системи керування на базі НЛ виходять, насамперед, з того, що стан складної динамічної системи та керуючий вплив системи автоматичного керування (САК) розглядається як лінгвістичні змінні, які оцінюються якісними термами (засобами природної мови). Кожен терм розглядається як нечітка множина і формалізується за допомогою функції належності.

Формування керуючого впливу здійснюється на основі певного набору правил, які встановлюють зв'язок між станом динамічної системи та керуючим впливом у САК. Визначення керуючого впливу здійснюється шляхом реалізації процедури переходу від функції належності до конкретного числового значення, яке і передається на виконавчий механізм.

Загалом алгоритм функціонування системи керування на базі НЛ наведено на рис. 1. Однак основні етапи можуть бути реалізовані різними способами. Існує ряд апробованих алгоритмів нечіткого виведення: алгоритм Мамдані, алгоритм Цукамото, алгоритм Сугено, алгоритм Ларсена.

У свою чергу, НМ – це обчислювальні структури, що моделюють прості біологічні процеси, звичайно асоціативні із процесами людського мозку.

Штучний нейрон має групу синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, з'єднаних з виходами інших нейронів, а також аксон – вихідний канал, через який сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Кожний вхід множиться на відповідний ваговий коефіцієнт (вагу),

аналогічний синаптичній силі, і всі добутки підсумовуються, визначаючи рівень активації (рис. 2).

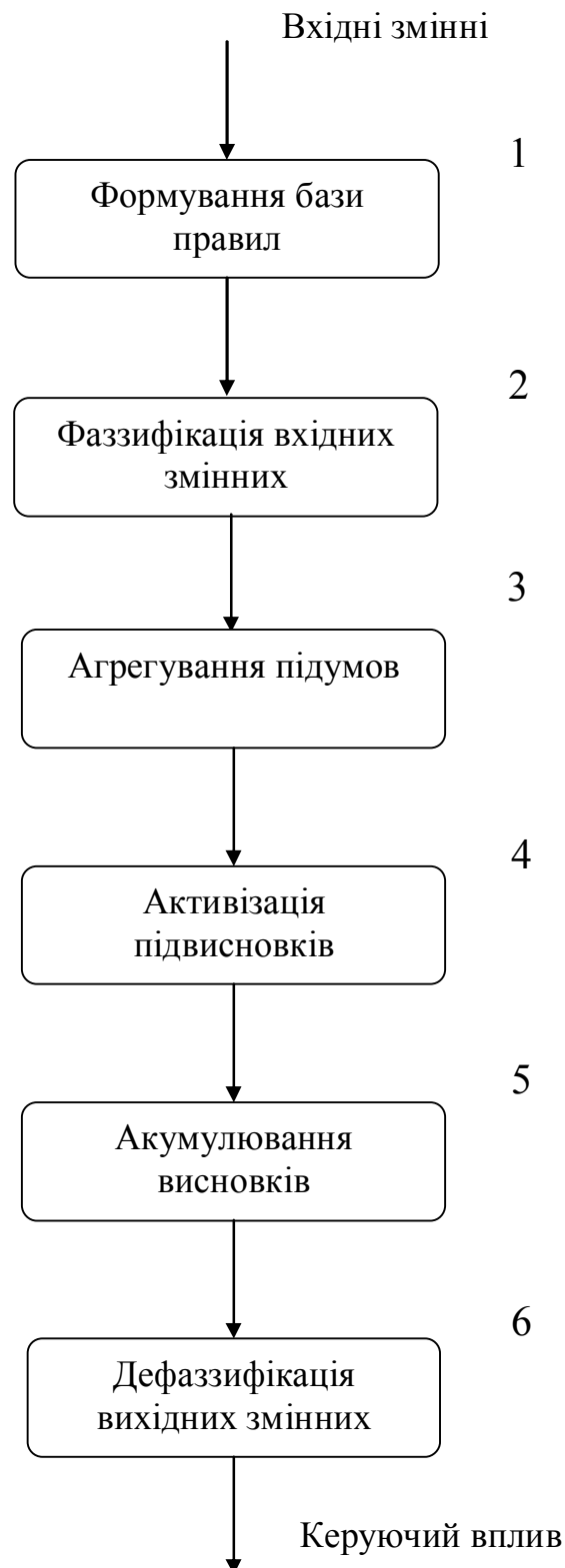


Рисунок 1 – Загальний алгоритм роботи нечіткої САК

Найпоширенішою активаційною функцією є нелінійна функція активації S-подібного виду з насиченням (сігмоїд, або логічна функція з насиченням):

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}} . \quad (1)$$

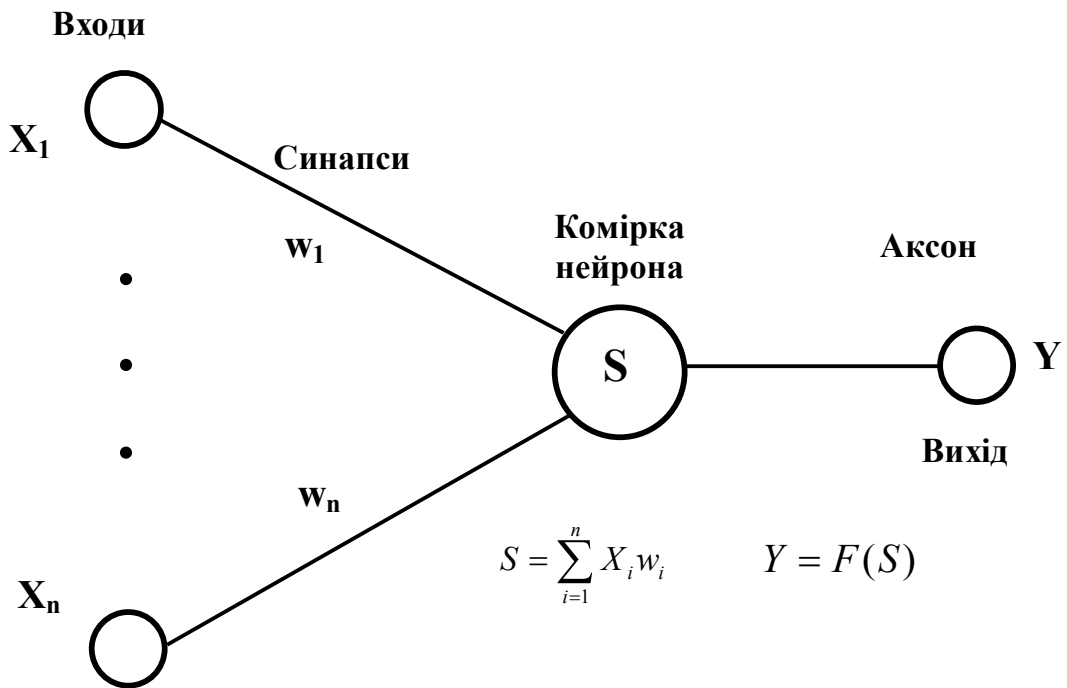


Рисунок 2 – Штучний нейрон:

*X_{1...n} – входи, Y – вихід, w_{1...n} – синаптичні ваги,
S – алгебраїчний суматор зважених входів, F – нелінійна активаційна функція*

В цілому нейрон реалізує скалярну функцію векторного аргументу. Його математична модель:

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b , \quad (2)$$

де: w_i – вага синапса, $i = 1 \dots n$;

b – значення зміщення;

s – результат підсумовування;

x_i – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал), $i = 1 \dots n$

y – вихідний сигнал нейрона;

n – кількість входів нейрона;

f – нелінійне перетворення (функція активації).

Очевидно, що процес функціонування НМ залежить від величини синаптичних ваг. Тому, вибравши певну структуру мережі (залежно від поставленої задачі), потрібно знайти оптимальне значення всіх змінних вагових коефіцієнтів. Цей етап називається навчанням НМ: від того на скільки якісно він буде проведений, залежить здатність НМ розв'язувати у процесі функціонування поставлені перед нею задачі.

Працюючи, НМ формує вихідний сигнал (Y) відповідно з вхідним сигналом (X), реалізуючи деяку функцію: $Y = g(X)$. Якщо архітектура мережі задана, то вигляд функціональної залежності визначається величинами синаптичних ваг та зміщень мережі.

Позначимо через G множину всіх можливих функцій g , що відповідають заданій архітектурі мережі.

Прийmemo, що розв'язком деякої задачі є функція v : $Y = v(X)$, задана парами вхідних-вихідних даних $(X^1, Y^1), \dots, (X^k, Y^k)$, для яких $Y^k = v(X^k)$, $k = 1 \dots N$ (кількість елементів навчальної вибірки). E – функція помилки (функціонал якості), що показує для кожної із функцій g ступінь близькості до v .

Розв'язання даної задачі за допомогою певної НМ – це побудова функції g з множини G , підбравши значення синаптичних ваг та зміщень таким чином, щоб функціонал якості перетворювався на оптимум для всіх пар (X^k, Y^k) .

Таким чином, задача навчання НМ визначається сукупністю п'яти компонентів: $\langle X, Y, v, G, E \rangle$. Навчання полягає в ітераційному створенні

функції g , оптимальній по E .

На сьогодні існує цілий ряд автоматичних систем керування та експертних систем із нечіткими та нейромережними структурами, які переважають традиційні аналоги при роботі із нелінійними та нестаціонарними об'єктами (процесами).

Перевагами розробок із використанням НЛ та НМ є:

- робота в умовах невизначеності щодо характеру вхідних сигналів;
- надійне функціонування при великій кількості, порівняно з традиційними системами, вхідних змінних.

До недоліків НМ можна віднести:

- тривалий час навчання;
- складність аналізу структури “навченої” мережі, відповідно неможливість її оптимізації;
- неможливість введення апріорної (експертної) інформації для прискорення навчання мережі.

А до недоліків систем із використанням НЛ можна віднести:

- неможливість автоматичного здобуття знань у процесі функціонування;
- необхідність розбиття універсальних множин на окремі області створює граничну кількість вхідних параметрів.

Усунення даних недоліків сприяло б підвищенню продуктивності роботи САК та керованих об'єктів (процесів). Дані міркування були покладені в основу створення гібридних нейронних мереж, де висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції належності підстроюються із використанням алгоритму навчання нейронних мереж. Ці системи можуть не лише використовувати апріорну інформацію, а і отримувати в процесі функціонування нові знання.

Тобто, нечітка НМ – це нейронна мережа з чіткими сигналами, вагами і активаційною функцією, але для об'єднання їх використовуються t -норми, t -

конорми або інші неперервні операції (рис. 3).

Розроблену мережу можна описати наступним чином.

ШАР 1. Виходи нейронів цього шару являють собою значення функції належності при конкретних (заданих) значеннях входів.

ШАР 2. Виходами нейронів цього шару є ступені істинності передумов кожного правила бази знань системи, вираховуються за формулами:

$$\alpha_1 = L_1(x_1) \cdot \wedge \cdot L_2(x_2); \quad (3)$$

$$\alpha_2 = H_1(x_1) \cdot \wedge \cdot H_2(x_2). \quad (4)$$

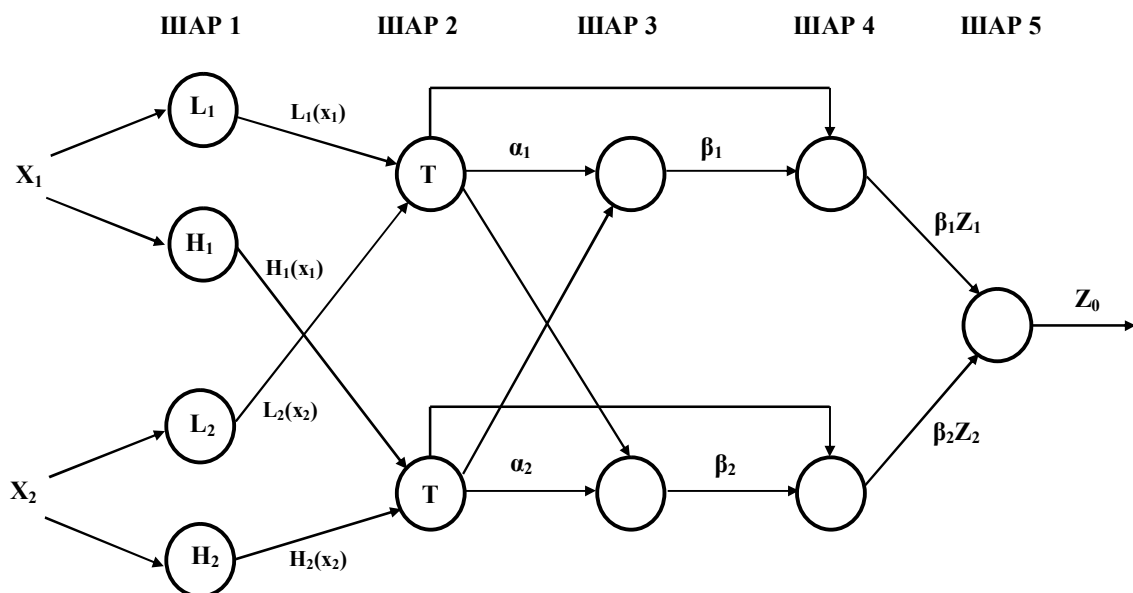


Рисунок 3 – Структура нечіткої нейронної мережі

Усі нейрони шару позначені літерою T, що означає їх функціональну можливість реалізувати довільну t-норму для моделювання операції “T”.

ШАР 3. Нейрони цього шару вираховують величини:

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}; \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (5)$$

ШАР 4. Нейрони даного шару виконують операції:

$$\beta_1 Z_1 = \beta_1 D^{-1}(\alpha_1); \quad \beta_2 Z_2 = \beta_2 M^{-1}(\alpha_2). \quad (6)$$

При чому коефіцієнти N та M встановлюють із співвідношень:

$$D^{-1}(\alpha_1) = c_4 + c_5 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1}; \quad (7)$$

$$M^{-1}(\alpha_2) = c_4 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2}. \quad (8)$$

ШАР 5. Нейрон цього шару розраховує вихід мережі:

$$Z_0 = \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2. \quad (9)$$

Коригування параметрів мережі для функцій належності N та M відбуваються відповідно до вибраного алгоритму (у даному випадку використано зворотне розповсюдження помилки) за формулами:

$$b_4 = b_4' - \frac{\eta}{b_4'^2} \cdot \delta_k \cdot \frac{\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}; \quad (10)$$

$$c_4 = c_4' + \eta \delta_k; \quad (11)$$

$$c_5 = c_5' + \eta \delta_k \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}; \quad (12)$$

$$\delta_k = y^k - o^k, \quad k = 1 \dots N, \quad (13)$$

де: η – задана швидкість навчання нейронної мережі;

y^k – еталонний вихід нейронної мережі;

o^k – фактичний вихід нейронної мережі;

b'_4, c'_4, c'_5 – значення цих самих коефіцієнтів на попередньому етапі ітераційного навчання нейронної мережі;

N – кількість комплектів зразкових наборів вхідних (навчальних) даних.

Приклад

На рис. 4 наведено загальний вигляд САЕП на основі сонячної та вітрової енергій і резервної електростанції – ЕА з ДВЗ.

Система акумулювання має в своєму складі акумуляторні батареї, контролер заряду батарей, зарядний пристрій та ін.

Автономний інвертор, який входить до складу системи гарантованого живлення, також має у своєму складі стабілізатор напруги, перетворювач струму та інші пристрої, необхідні для надання електроенергії належної якості.

Завданням нашої САК САЕП є оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача. Він залежить головним чином від:

- метеорологічних та кліматичних умов місцевості (енергетичні потенціали джерел енергії);
- енергетичних потреб автономного споживача;
- обладнання та пристроїв, які входять до складу САЕП.

Метеорологічні та кліматичні умови Кіровоградського регіону, а саме результати визначення енергетичних потенціалів сонячної та вітрової енергій наведено в роботах. Однак передбачити наявність та доступність цих джерел енергії можна лише з деякою імовірністю (внаслідок стохастичного характеру їх надходження). Тобто, можемо сказати, що присутня певна невизначеність.

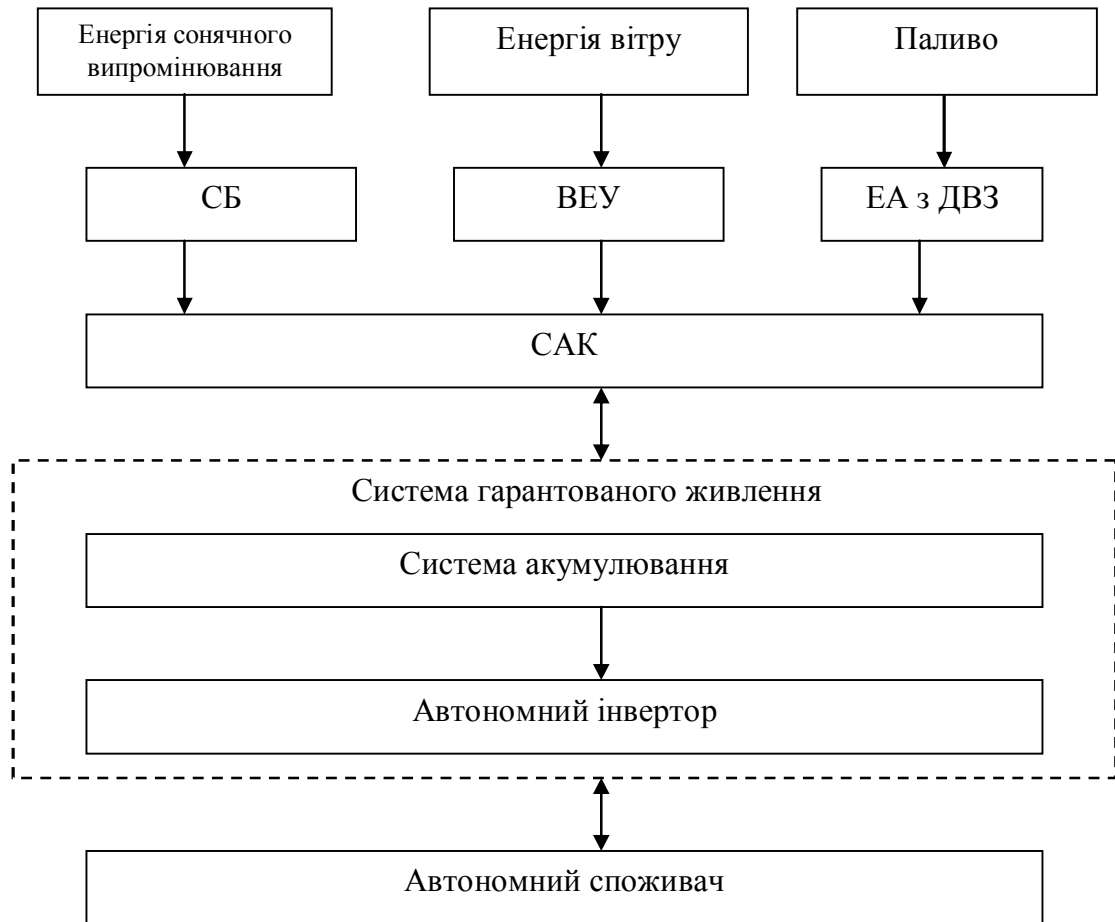


Рисунок 4 – Загальний вигляд САЕП на основі сонячної та вітрової енергій і резервного джерела енергії:

СБ – сонячна батарея; ВЕУ – вітроелектрична установка; ЕА з ДВЗ – електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання; САК – система автоматичного керування

Енергетичні потреби автономного споживача також мають елемент невизначеності, оскільки повністю передбачити енергетичні потреби споживача досить складно. Це можна зробити з деякою імовірністю, а врахувати наперед додаткових споживачів енергії майже неможливо, внаслідок чого може змінитися графік енергетичного навантаження автономного споживача та збільшитися пікове навантаження системи, а це, в свою чергу, може призвести до неефективної роботи САЕП та неможливості повністю задовольнити потреби споживача в енергії.

Обладнання та пристрої, які входять до складу САЕП, досить суттєво впливають на задоволення енергетичних потреб автономного споживача. Наперед, неможливо передбачити, в який момент часу може вийти з ладу те чи інше обладнання. Наприклад, якщо з будь-якої причини свою роботу зупинять СБ чи ВЕУ (або разом), то споживач не зможе повністю задовольнити свої енергетичні потреби. А якщо вийде з ладу хоча б один з елементів системи гарантованого живлення, то САЕП взагалі припинить свою роботу.

Виходячи з вищевикладеного, можемо сказати, що САЕП працює в умовах невизначеності.

Постає задача – розробити САК САЕП, яка повинна оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача, враховуючи умови, в яких планується впроваджувати САЕП (енергетичні потенціали ДЕ, енергетичні потреби споживача тощо).

Для визначеності подальші дослідження було виконано з урахуванням умов Кіровоградського регіону, які наведені в.

Архітектура комплексу прийняття рішень нейронечіткої САК САЕП, наведена на рис. 5.

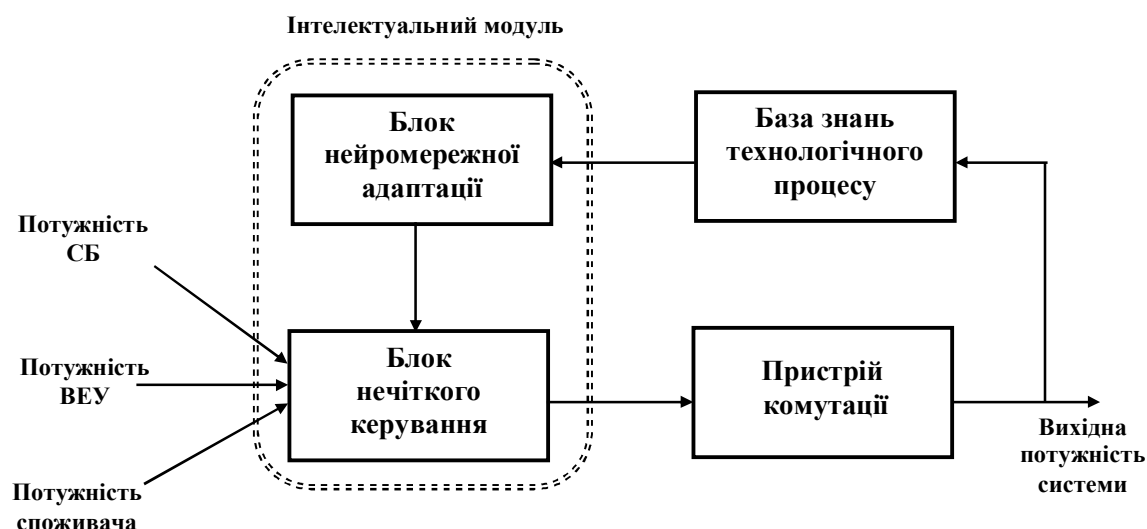


Рисунок 5 – Архітектура САК САЕП

Вона має у своєму складі:

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

На вхід надходять дані щодо потужності, яку здатні забезпечити сонячні батареї (СБ) та вітроелектрична установка (ВЕУ). Третій вхідний параметр – потужність, яка потрібна споживачеві. В залежності від їхніх значень комутаційний пристрій має 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.

На початковому етапі за допомогою нейронної мережі із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі нечіткої логіки. 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 здійснюється на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки (градієнтний метод), який можна реалізувати за допомогою графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж модуля ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) у пакеті прикладних програм системи MatLab[®].

Вхідні параметри:

- Потужність, яку може забезпечити СБ: 0...2,5 кВт;
- Потужність, яку може забезпечити ВЕУ: 0...6 кВт;
- Потужність, яка потрібна споживачу: 0...7 кВт.

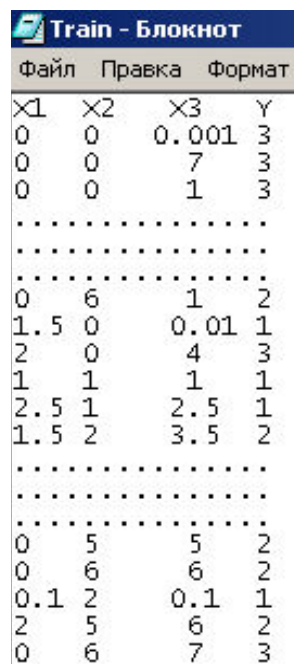
Вихідний параметр системи:

- Вибір одного із 3 режимів (записуватимемо в умовних одиницях від 1 до 3).

Для ефективного моделювання було використано три блоки: по 150 наборів експертних даних навчальні (Training data) і контрольні (Testing data); та 35 наборів перевіряльних даних (Checking data). Наявність трьох блоків покращує якість подальшої роботи системи керування, оскільки дає можливість впевнитись, що не відбулося «перенавчання» мережі.

Інформаційні блоки заповнювались із врахування 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. На рис. 6 наведено частину даних, які було використано для навчання нейронної мережі.



X1	X2	X3	Y
0	0	0.001	3
0	0	7	3
0	0	1	3
.....			
0	6	1	2
1.5	0	0.01	1
2	0	4	3
1	1	1	1
2.5	1	2.5	1
1.5	2	3.5	2
.....			
0	5	5	2
0	6	6	2
0.1	2	0.1	1
2	5	6	2
0	6	7	3

Рисунок 6 – Загальний вигляд навчальних даних:

*X1 – «потужність СБ»; X2 – «потужність ВЕУ»;
X3 – «потужність споживача»; Y – вибір одного з режимів*

Активувавши ANFIS Editor, завантажили навчальну вибірку (рис. 7).

Нейромережне навчання нечіткої системи розпочали із використанням стандартних налаштувань ANFIS Editor. Функції належності – trimf.

Запустивши навчання із 500 епохами та гібридним алгоритмом підлаштування функцій належності нечіткої системи отримали середньоквадратичну похибку – 0,24744 у.о. (рис. 8)

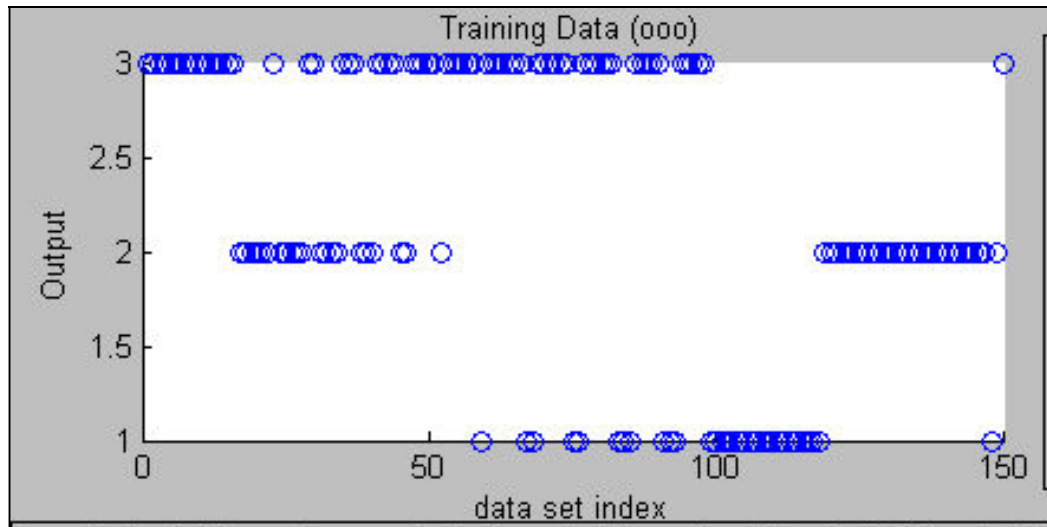


Рисунок 7 – Навчальна вибірка

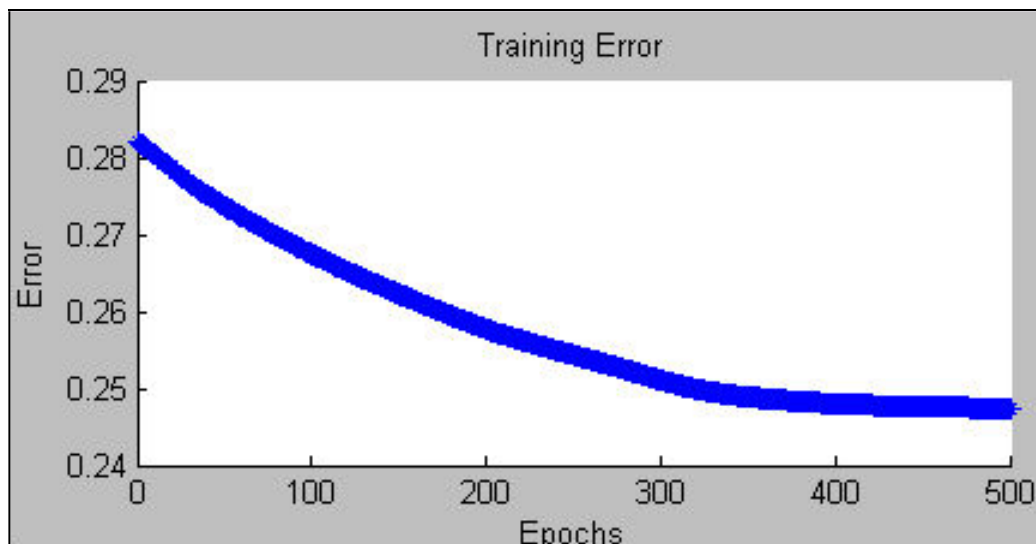


Рисунок 8 – Якість навчання із використанням функції належності - trimf

У відсотковому відношенні вона становить – 12,37%. Така якість функціонування системи нас не влаштовує. Тому після ряду апробацій вибрали функцію належності *gbellmf*, що 1000 тренувальних епох забезпечують середньоквадратичну похибку – 0,095218 у.о. (4,76%), наведена на рис. 9.

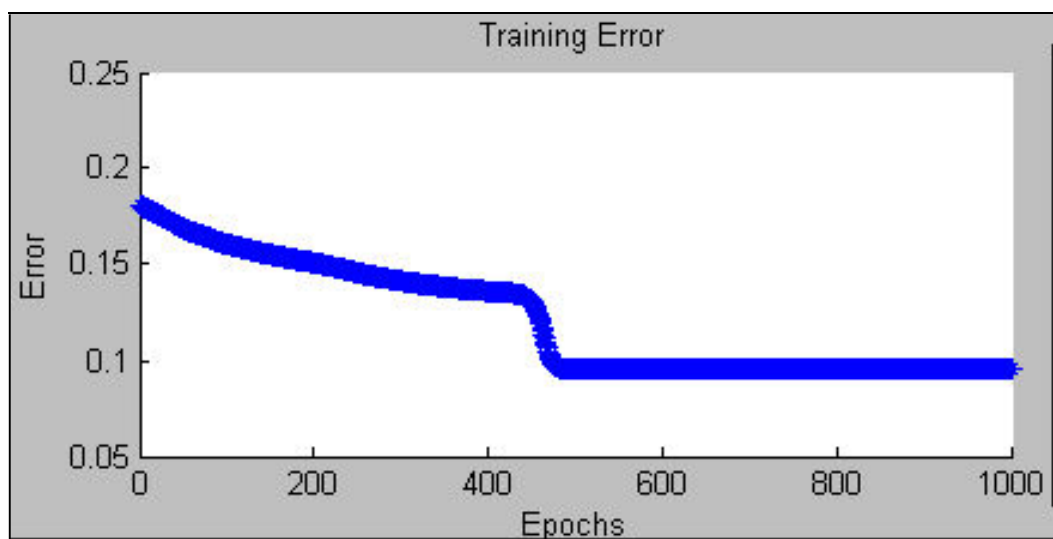


Рисунок 9 – Якість навчання із використанням функції належності – *gbellmf*

На рис. 10 наведено архітектуру нечіткої системи керування, згідно рекомендацій ANFIS-Editor.

Потім завантажили блок контрольних даних (рис. 11), встановивши, що середньоарифметична похибка роботи нечіткої системи – 0,40804 у.о. (20,4 %).

Після повторних циклів навчання (рис. 12) вдалося досягнути середньоарифметичної похибки у розмірі 0,11776 у.о. (5,888%).

Тоді завантажили блок перевіряльник даних (рис. 13), який підтвердив адекватність роботи нечіткої системи: середньоарифметична похибка – 0,12558 (6,279%), та відсутність ефекту “перенавчання”.

Наведену на рис. 10 нечітку САК САЕП було синтезовано за допомогою модуля FIS Editor пакету прикладних програм MatLab[®]. Синтезовану нечітку САК САЕП зображено на рис. 14. Алгоритм опрацювання інформації – Сугено.

В нашому випадку система нечіткого керування буде містити 17 правил нечітких продукцій. У контексті нечіткої логіки під фазифікацією розуміють процес знаходження значень функцій належності нечітких множин (термів) та на основі звичайних вхідних даних.

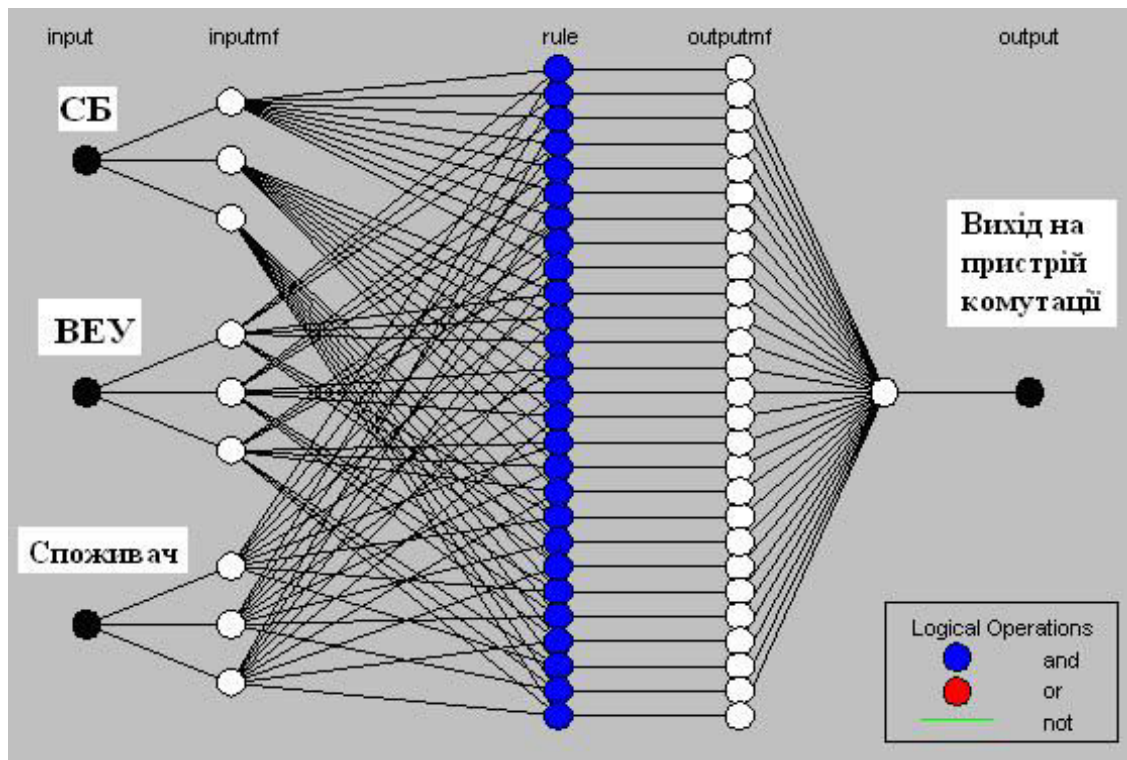


Рисунок 10 – Архітектура нечіткої САК САЕП, згідно рекомендацій ANFIS-Editor

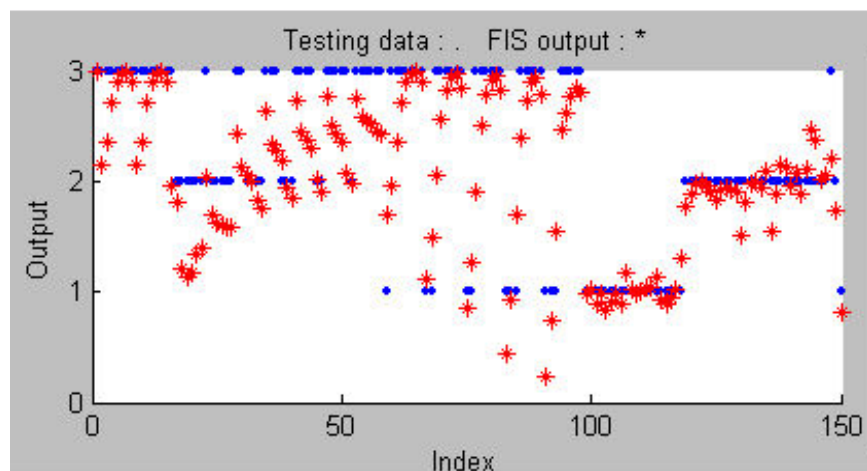


Рисунок 11 – Якість функціонування нечіткої системи при контрольній вибірці

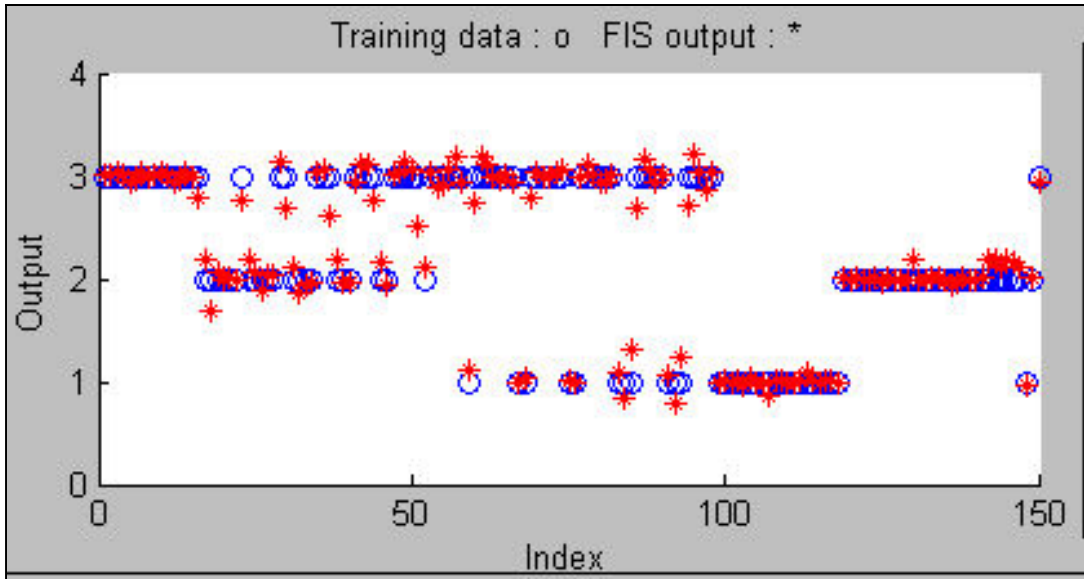


Рисунок 12 – Якість функціонування нечіткої системи при контрольній вибірці після додаткових циклів навчання

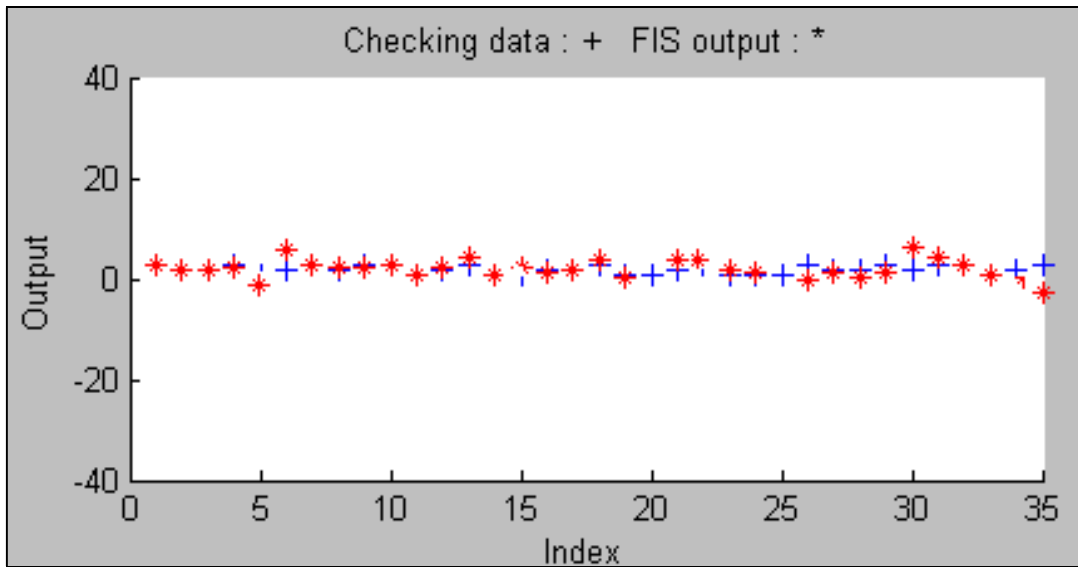


Рисунок 13 – Якість функціонування нечіткої системи при перевіряльній вибірці

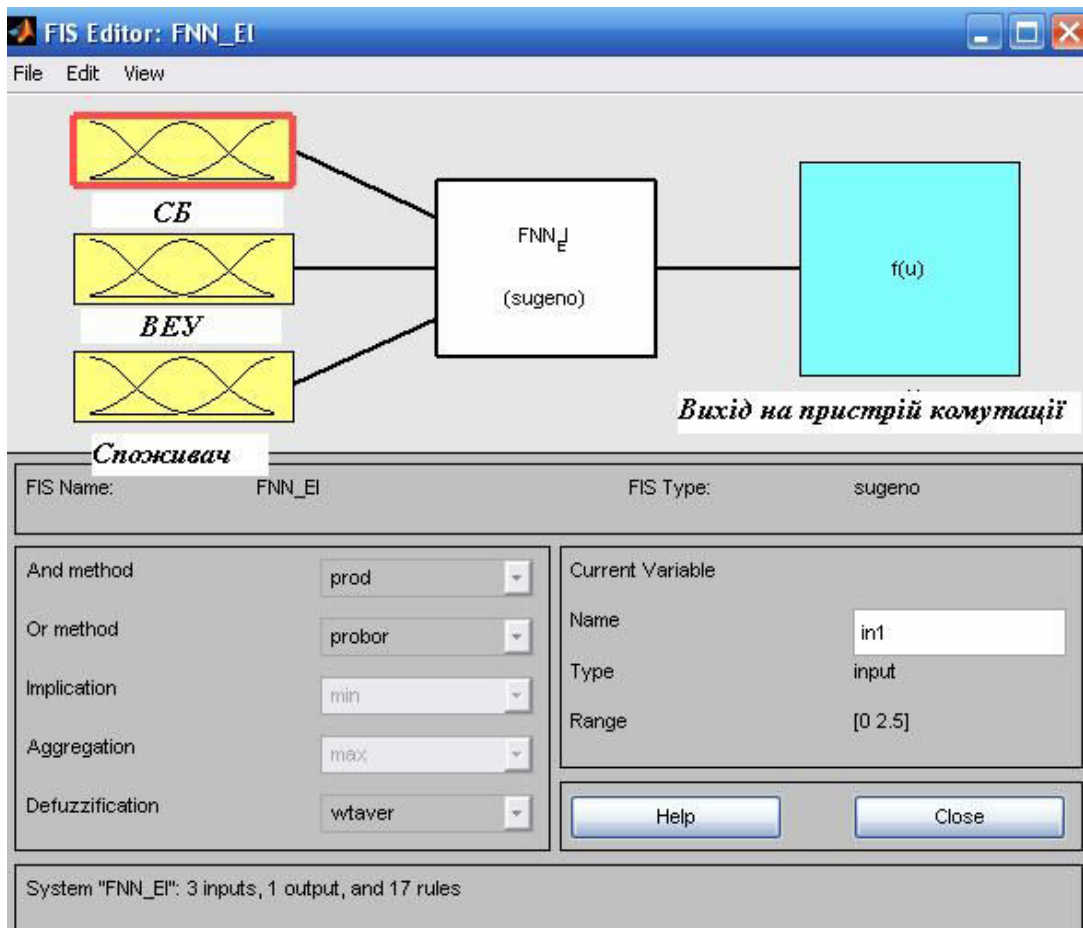


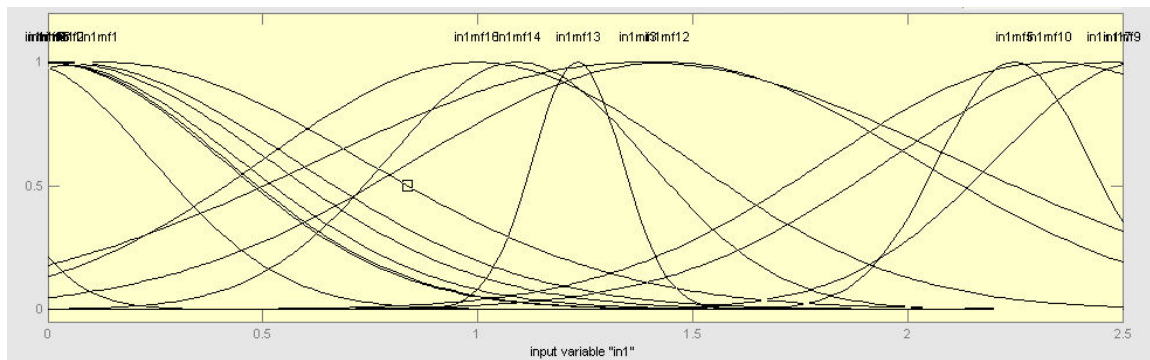
Рисунок 14 – Структура нечіткої САК САЕП у FIS-Editor MatLab®

Метою аналізу фазифікації є встановлення відповідності між окремою вхідною змінною системи нечіткого керування і значенням функції належності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної.

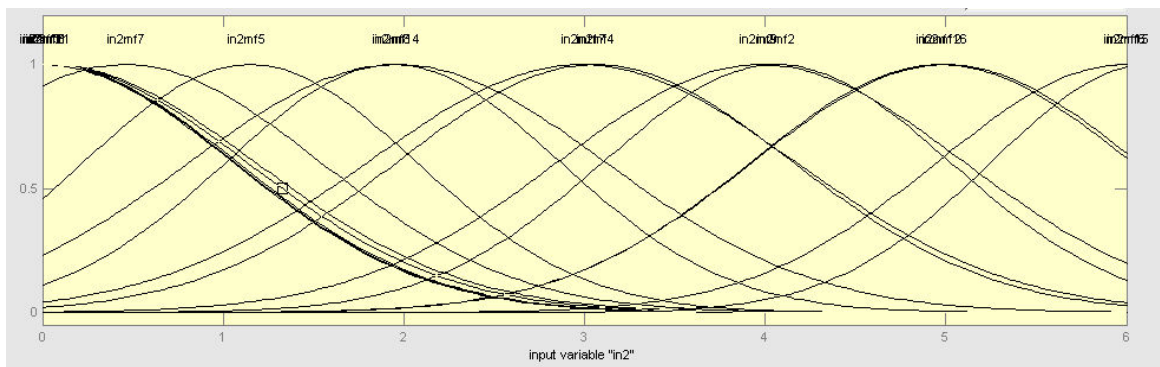
На рис. 15 наведено функції належності для термів вхідних змінних, а на рис. 16 – правила нечітких продукцій для нечіткої САК САЕП з нейропідлаштованими параметрами функцій належності.

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 контролерах (PLC – Programmable Logic Controllers) у вигляді структурованого тексту. FCL

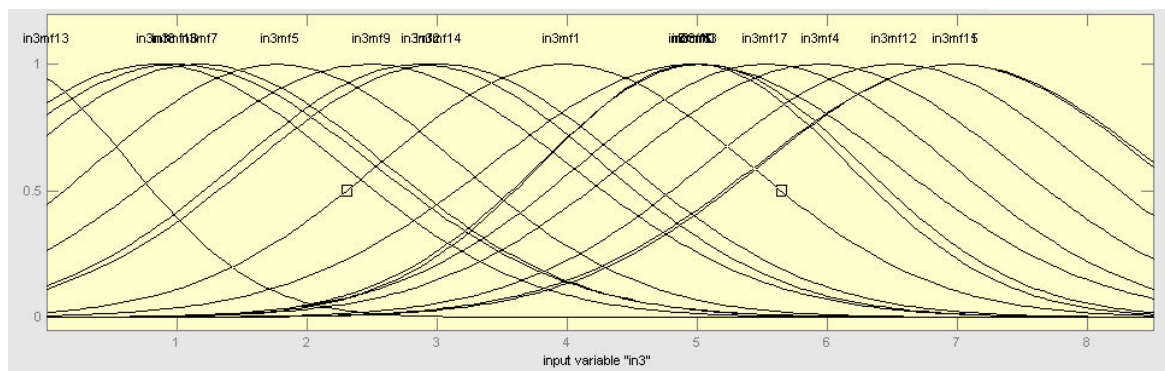
описана у стандарті ІЕС 1131-7, де визначені цілі розробки мови, її базова структура.



а



б

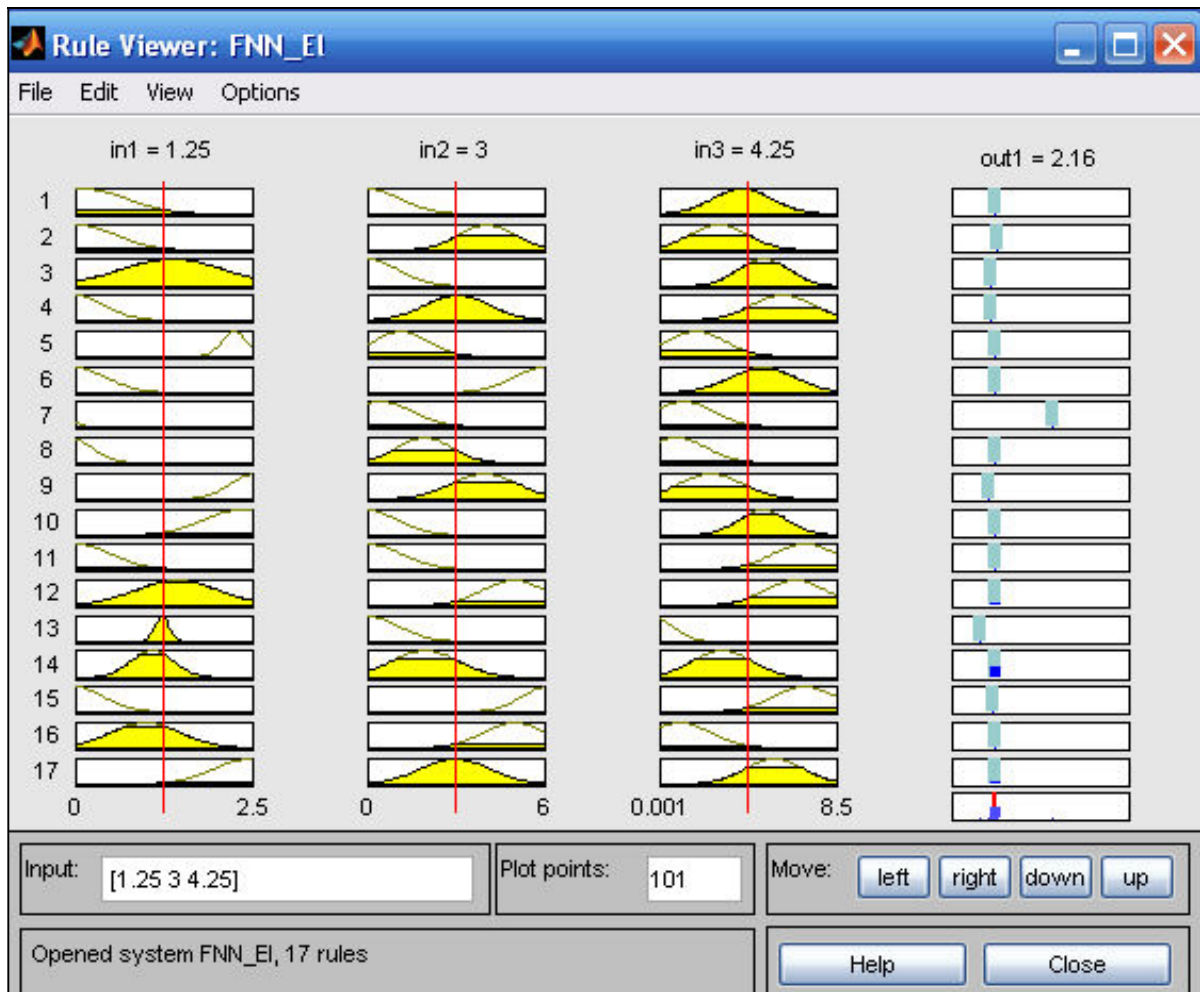


в

Рисунок 15 – Графіки функцій належності для термів вхідних

змінних:

- а) – «потужність СБ» ;***
- б) – «потужність ВЕУ»;***
- в) – «потужність споживача»***



**Рисунок 16 – Правила нечітких продукцій нечіткої САК САЕП,
нейромережно налаштовані**

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.

Саме тому реалізація алгоритму функціонування програмного забезпечення САК САЕП може бути виконана функціональним блоком, наприклад, у мові FBD/LD.

Завдання до практичного завдання

Побудувати нейронну мережу для оптимальних джерел енергії, визначених в практичному занятті 2.

Звіт з практичного заняття повинен містити:

1. Титульний аркуш
2. Назву роботи
3. Мету роботи
4. Результати виконання завдання
5. Висновки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Леоненков А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков – СПб: БХВ-Петербург, 2003 г. – 736 с.
2. Ross T. J. Fuzzy logic with engineering applications / T. J. Ross. – McGraw-Hill, 1995. – 600 p.
3. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
4. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи. / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
5. Голик О. П., Жесан Р. В., Штепа В. М. Нейроадаптивний контур нечіткої системи керування автономним енергопостачанням на основі енергій сонця та вітру // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» / № 161. – Київ: - НУБІП, 2011. – С. 133-142. С. 236
6. Голик О. П., Жесан Р. В., Штепа В. М. Обґрунтування вибору апарату нечіткої логіки з нейромережною адаптацією для керування системою автономного енергопостачання на основі вітро-сонячних установок // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 24, Ч. II – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 206-213. С.238
7. Голик Е. П. Автоматическое управление процессом энергоснабжения автономных потребителей на основе аппарата нечеткой логики с нейросетевой адаптацией /Е. П. Голик // Электрон. моделирование. - 2013. – Т. 35, №3. - С.113-123. С. 128
8. Голик О.П. Пошук оптимальних рішень щодо вибору джерел енергії, які доцільно використовувати для автономного енергопостачання / О.П. Голик// Відновлювана енергетика. – 2013. - № 2. – С. 24-27.

9. Голик О.П. Прийняття рішень в умовах вибору оптимального складу системи / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 24-25 березня 2016 року, м. Кіровоград: КНТУ, 2016. – 159 с. С.146-147.
10. Fuzzy neural network energy control system. / Holyk O., Zhesan R., Mirosznichenko M., Volkov I. // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. Aktualne naukowe problemy. Rozpatrzenie, decyzja, praktyka» (Gdańsk, Polska, 30.03.2016 – 31.03.2016) – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. – Str. 12-16. – (ISBN: 978-83-65207-77-7).
11. Розробка структури нечіткої нейронної мережі для автоматизованої системи керування енергопостачанням з відновлюваними джерелами енергії Голик О.П., Жесан Р.В. // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (27-29 вересня 2017 р., м. Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»). – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017. – С. 76-80.

ДЛЯ ПОДАТОК

Навчально-методичне видання

Енергетичний моніторинг та оптимізація СЕП

Методичні вказівки до виконання практичних занять для студентів
денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки:
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу»)

Укладачі: *О. П. Голик*
М. С. Мірошніченко
І.А. Березюк

Підписано до друку 16.02.2018. Формат 60x84 1/16. Папір газетний. Ум.
друк. арк. 3,5. Тираж 20 прим.