

УДК 51:(007:159.955

Л.С. Ямпольський, к.т.н., проф.

О.І. Лісовиченко, магістр

Г.С. Птічкіова, магістр

Національний технічний університет України "КПІ"

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ У ГНУЧКИХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ С АГРЕГАТНИМИ СТАНАМИ

Розглядається новий підхід щодо дослідження гнучких комп'ютеризованих виробничих систем (ГКВС), який базується на моделюванні у просторі агрегатних станів нештатних режимів їх функціонування.

Обґрунтовано застосування методів та засобів відображення властивостей таких режимів шляхом використання фазі-нейротехнологій для усунення невизначеностей належності до відповідних штатних агрегатних станів системи.

Вступ. Зростаюче ускладнення технологічного устаткування та зв'язків між елементами складних технічних систем, зокрема тих, які працюють в паливно-енергетичних, аерокосмічних та інших галузях промисловості, спричинює підвищення ймовірності виникнення непередбачених, зокрема й надзвичайних, ситуацій, що відбивається на навколишньому середовищі, призводить до зростання матеріальних та енергетичних витрат.

У зв'язку з цим великого значення набувають методи та моделі формального подання можливих станів складних технічних систем, зокрема гнучких комп'ютеризованих виробничих систем (ГКВС), у тому числі й у процесі прогнозування, та формування дій, спрямованих на відтворення функціонування систем за умов виникнення непередбачених обставин. В існуючих виробництвах такі функції, як правило, виконуються вручну, що призводить до втрати продуктивності системи та зниження інших характеристик функціонування виробництв.

Загальна характеристика нештатних ситуацій та виникнення нових агрегатних станів ГКВС. Складні технічні системи, зокрема ГКВС, відносяться до об'єктів керування (ОК), які характеризуються високою ймовірністю виникнення нештатних ситуацій.

Означення 1. Нештатною ситуацією є така непередбачена, зокрема надзвичайна, ситуація, що виникає як внаслідок можливих відмов окремих компонентів системи, так і відхилень параметрів технологічних режимів під дією різних факторів, а також при якій невідомі принципи функціонування системи і невизначений алгоритм її управління.

Непередбачені, зокрема надзвичайні, ситуації в процесі функціонування ГКВС змінюють стан її компонентів та системи в цілому, в результаті чого ГКВС переходить до нового *агрегатного стану* (АС), який не обов'язково адекватно відбивається моделлю чи алгоритмом управління.

Означення 2. Під агрегатним станом ГКВС розуміється відображення її у дискретно-подійну систему, яке визначається множиною P подій $p \in P$, множинами $X_{int_{ax}}$ та $Y_{int_{aux}}$ атрибутів $x \in X_{int_{ax}}$, $y \in Y_{int_{aux}}$ вхідного та вихідного інтерфейсів відповідно, множиною G керуючих елементів $g \in G$, множиною Z внутрішніх станів $z \in Z$, а також випадковими операторами переходів I і виходів J , що реалізують функції $z(p)$ і $y(p)$ [4].

Процеси, що відбуваються в таких системах, – це сім'я паралельно виконуваних послідовностей операцій, пов'язаних між собою причинно-наслідковими зв'язками, які визначаються технологічним регламентом та поточним станом ОК.

При моделюванні процесів у складних технічних системах, зокрема й у ГКВС, широко використовуються розширення апарату сіток Петрі (СП) – логічні, нечіткі динамічні, ймовірнісні, часові самонавантажені, ієрархічні та ін. [6], [8], [11], які дозволяють у задачах аналізу/синтезу задавати (враховувати й прогнозувати) часовий взаємозв'язок між елементарними подіями.

Моделі, які будуються для дослідження складних систем типу ГКВС і базуються на використанні відомих поширень апарату СП, можуть мати *одновекторний вимір*, коли послідовність чергування подій у "плані" представляє планарну композицію процесу і свідчить про *просторово-подійну розподіленість* (ППР) ГКВС, або *двовекторний вимір*, тобто коли має місце ще й уточнення (деталізація) будь-якої з компонент ГКВС шляхом заміни її групою підмоделей нижчого рівня чи навпаки – абстракція, що свідчить про *просторово-ієрархічну розподіленість* (ПІР) ГКВС.

Такі моделі відбивають властивості об'єкта досліджень в *одному* АС.

Для моделювання і розв'язання задач синтезу/аналізу коректних алгоритмів керування процесами ГКВС з урахуванням непередбачених ситуацій (у тому числі й надзвичайних), в результаті яких система переходить до нових АС, є доцільним розширити область подання об'єкта моделювання ще, принаймні, одним виміром – *простором* АС, що свідчить про *просторово-агрегатну розподіленість* (ПАР) ГКВС [1].

Формалізоване подання гіперпростору АС системи з урахуванням штатних та нештатних режимів її функціонування. Множина АС, у яких може перебувати ГКВС, у загальному випадку нескінченна, характеризує режими її функціонування.

Означення 3. Штатним режимом (ШР) роботи системи є такий режим, при якому відомі принципи функціонування системи і визначений алгоритм її управління.

Означення 4. Нештатним режимом (НР) роботи системи є такий режим, при якому невідомі принципи функціонування системи і невизначений алгоритм її управління.

У цілому НР роботи потребують впровадження методів прогнозування або планування серій експериментів для дослідження.

У загальному випадку гіперпростір АС системи може бути представлений наступним чином:

$$P_{AC} = (S_{AC_1} \oplus S_{AC_2} \oplus S_{AC_3}) = (S_{ШС} \oplus S_{НШС}), \quad (1)$$

де P_{AC} – гіперпростір АС системи;

$S_{AC_1}, S_{AC_2}, S_{AC_3}$ – виміри можливих АС системи;

$S_{ШС}$ – виміри штатних АС системи, що мають вигляд:

$$S_{ШС} = S_{ШС1} \times S_{ШС2} \times \dots \times S_{ШСi}; \quad (2)$$

$S_{НШС}$ – виміри нештатних АС системи, що мають вигляд:

$$S_{НШС} = S_{НШС1} \times S_{НШС2} \times \dots \times S_{НШСi}. \quad (3)$$

Означення 5. Штатними АС системи є такі стани, для яких у системі визначені алгоритми управління.

Означення 6. Нештатними АС системи є такі стани, для яких у системі невизначені алгоритми управління.

Сукупність нештатних АС характеризують нештатні режими роботи системи (наприклад, на рис. 1 траєкторія *нештатного* режиму).

Якщо в процесі експлуатації або випробування систем на деякі нештатні АС буде розроблено алгоритм управління системою, то вони переходять у розряд штатних.

Формалізоване подання процесу обробки надзвичайної ситуації в гіперпросторі агрегатних станів системи. Процеси, що відбуваються в ГКВС, можна представити як *рух* (або пересування) між АС системи. Сукупність АС, між якими відбувається рух системи, є *траєкторією* цього руху.

Тоді обробка даної надзвичайної ситуації буде полягати в пошуку оптимальної траєкторії виведення системи з АС надзвичайної ситуації ($S_{НС}$) через підмножину проміжних [$S_{НР}$] до одного зі штатних (у даному випадку – цільового $S_{ШСЦ}$) АС (рис. 1).

Означення 7. Проміжними АС системи є такі стани, в яких система ще може працювати з певними обмеженнями згідно зі штатним алгоритмом функціонування.

Послідовність S станів, між якими відбувається рух системи, можна подати у вигляді:

$$S = ([S_{pref}], [S_{obr}]), \quad (4)$$

де $[S_{pref}] = [S_1, S_2, \dots]$ – префікс, або рух системи між АС;

$[S_{obr}] = [S_{НСi}, \dots, [S_{НР}], \dots, S_{ШСj}]$ – послідовність обробки надзвичайної ситуації.

Згідно з рис. 1, траєкторія 1 обробки надзвичайної ситуації відноситься до *штатного цільового без аномалій* режиму роботи системи, тобто в якому досягається реалізація заданої цільової функції згідно з визначеним алгоритмом, траєкторія 2 – до *штатного цільового з аномаліями* режиму роботи системи, тобто в якому досягається реалізація заданої цільової функції з відхиленнями від визначеного алгоритму, траєкторія 3 – до *штатного, що не забезпечує виконання цільової функції*, режиму роботи системи, тобто який характеризується неспроможністю реалізації заданої цільової функції, траєкторія 4 – до *штатного аварійного* режиму роботи системи, тобто який характеризується наявністю відмов окремих її компонентів або системи в цілому, які не підлягають відновлюванню.

$s(t)$, $x(t)$, $y(t)$, $g(t)$ відповідно та простором B параметрів $b = (b_1, \dots, b_p) \in B$ агрегату (значення b фіксовано в рамках кожної конкретної задачі), а також операторами H переходів та D виходів, що реалізують функції $s(t)$ та $y(t)$.

При цьому відображення $s(t): T \rightarrow S$ є рухом системи, $x(t): T \rightarrow X$ – вхідним процесом, $y(t): T \rightarrow Y$ – вихідним процесом, а сукупність станів s , що відповідають усім t у даному русі, називається траєкторією цього руху.

Зведена уніфікована схема – агрегат, отримується із стохастичної системи загального вигляду конкретизацією операторів переходів та виходів і тим самим позбавлена основного недоліку останньої (коли надмірні узагальнення неминуче призводять до збіднення змісту теорії – для стохастичних систем загального вигляду характерні тривіальні загальні властивості).

Однак при цьому підході зустрічаються труднощі, пов'язані, зокрема, з трудомісткістю та громіздкістю опису теоретико-множинних відношень агрегатів у просторово-часовій області з урахуванням численних причинно-наслідкових зв'язків між подіями, складністю синхронізації вхідних, керуючих і вихідних сигналів, які визначають взаємодію агрегатів у часі.

Формальний апарат подання процесу управління системою у просторі АС на основі надлишкового абстрактного графа. При *другому підході* формальний апарат подання АС представляється у вигляді дводольного орієнтованого графа – *надлишкового абстрактного графа* (НАГ) процесу управління об'єктом у просторі можливих АС, заданого в просторово-часовій області [9], [10].

Означення 9. НАГ є дводольний орієнтований граф $\Phi(P, T, S)$ з нескінченною кількістю дуг S і вершин P, T , визначений в просторово-часовій області координатами вершин P , заданих сім'єю неперетинних підмножин $P^{(h)}$, $h \in H$, кожна з яких відповідає певній точці просторової осі, причому

$$\hat{P} = \bigcup_{h \in H} P^{(h)}, \quad \hat{T} = \bigcup_{i \in I} T^{(i)}, \quad \hat{P} \cap \hat{T} = \emptyset, \quad \bigcap_{h \in H} P^{(h)} = \emptyset, \quad \bigcap_{i \in I} T^{(i)} = \emptyset. \quad (6)$$

Конкретним процесам управління технічними системами в просторі АС відповідають підграфи НАГ, вершини яких відповідають умовам, що описують поточний стан об'єкта, і керуючим операціям (заходам), що відображають прийняття рішення.

Відношення між НАГ і підграфом конкретного процесу управління складним об'єктом є аналогічним щодо понять випадкового процесу та окремої його реалізації.

Запропонований підхід дає змогу сформулювати початкову задачу оптимізації управління складним технічним об'єктом у відповідних режимах його роботи у вигляді пошуку на графі можливих процесів управління такого підграфа конкретного режиму, який відповідає оптимальному значенню заданого критерію.

Нечіткість відображення належності системи до певного АС. При дослідженні об'єктів з АС існує нечіткість визначення належності ОК до певного АС через невизначеність апріорної інформації (інформаційних масивів або векторів), яка характеризує стан об'єкта.

Для розробки формалізмів нечіткого відображення належності системи до певного АС доцільно застосування методів роботи з невизначеністю, таких як *фазі-логіка* (нечітка логіка) та *фазі-нейротехнологія*.

Нечіткий підхід з використанням фазі-логіки [5], [7] припускає відмовлення від основного твердження класичної теорії множин про те, що деякий елемент може або належати, або не належати множині. Розробка й широке використання апарата теорії нечітких множин пов'язані з прагненням формально описувати лінгвістичні поняття, якими оперує людина в процесі прийняття рішень, а також імітувати міркування на підставі тих категорій та правил, на які вона спиралася.

Нехай, наприклад, треба розробити алгоритм управління зусиллям затиєку об'єктів маніпулювання (ОМ) захватним пристроєм (ЗП) промислового робота (ПР) при можливому *деякому* чи *значному* просковзуванні ОМ між губок ЗП при недостатній силі захвату внаслідок розсіяння розмірів ОМ. У наведеному прикладі невизначеність зумовлена нечіткими поняттями “деяке”, “значне”. Такого роду невизначеність називається *лінгвістичною*.

Означення 10. Лінгвістичною змінною є змінна, що може бути подана набором (X, T, U, G, M) , де X – назва змінної; T – терм-множина змінної X , тобто множина всіх назв лінгвістичних значень змінної X (до того ж кожне з таких значень є нечіткою змінною X із значеннями з універсальної множини U при базовій змінній u); G – синтаксичне правило, що спричинює назву значення змінної X ; M – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній X зміст $M(X)$.

Конкретна назва X , яка спричинена синтаксичним правилом G , називається *термом*.

У свою чергу, нечітка множина M визначається як деяка множина значень X з функцією приналежності (ФП) $M_M(X)$, що набуває значень в інтервалі $[0, 1]$:

$$M = \int_{x \in X} \mu_A(X)/X \quad (7)$$

де $M_M : X \rightarrow [0, 1]$ – ФП.

Для кожного терма з терм-множин, які визначено для лінгвістичних змінних, будується відповідна нечітка множина μ із своїм носієм, що визначається після вивчення експертних оцінювань.

На наступному етапі будується набір *фазі-правил*.

Означення 11. Фазі-правилом називається правило наступного вигляду:

$$\text{ЯКЩО } A = N, \text{ ТО } B = M, \quad (8)$$

де A, B – лінгвістичні змінні; N, M – їх терми.

Процедура обробки бази фазі-правил з формуванням результуючої ФП являє собою логічне рішення, для якого найчастіше застосовується *мінімаксний метод*.

Означення 12. Мінімаксом називається метод логічного рішення, у якому на першому кроці (“міні”-крок) ФП частини ТО кожного з правил поєднується з величиною істинності частини ЯКЩО (“міні”-операція), а на другому кроці (“макс”-крок) сполучені ФП окремих правил взаємно накладаються відповідно вимогам “мінімаксної” операції, тобто результуюча ФП має вигляд:

$$\mu^{(y)} = \max_{R_1, \dots, R_n} \{ \mu_{R,k}(y) \} = \max_{k=1, \dots, n} \{ \min [\mu_{Я,k}, \mu_{Т,k}(y)] \}, \quad (9)$$

де n – число правил; $\mu_{Я,k}$ – величина істинності частини ЯКЩО в k -му правилі; $\mu_{Т,k}(y)$ – ФП частини ТО k -го правила.

Сполучення фазі-логіки й нейронних сіток називається *фазі-нейротехнологією* [5]. Нелінійне моделювання на фазі-базі може виконуватися лінгвістично якісно, а потім на базі штучної нейронної сітки (ШНС) виконується кількісна апроксимація.

Переведення невизначених ситуацій до визначених умов функціонування ГКВС. Найбільшого поширення при багатосерійному та масовому характері виробництва набуло селективне складання, яке забезпечує потрібні характеристики спряження.

Для найпоширенішої пари, якою є з'єднання вала із втулкою, у виробничих умовах технологія виготовлення *отворів* (A) передбачає наявність максимального діапазону розсіювання похибок (що описуються нормальною кривою розподілу) $6\sigma_A$ (рис. 2, *a*), яке формується на *первинних* (грубих) операціях (наприклад, свердління). У подальшому виправляється лише якість поверхні отвору.

Технологія виготовлення *валів* (B) передбачає розсіювання похибок (що також описуються нормальною кривою розподілу) $6\sigma_B$ (рис. 2, *a*), яке формується на *фінішних довідних* операціях (наприклад, безцентрового шліфування), тобто в дуже вузькому діапазоні σ_B , причому $\sigma_B \ll \sigma_A$.

Таким чином, *управління підбором складальних комплектів* здійснюється за рахунок валів.

На сьогодні в сучасних умовах складального виробництва процес зміщення носить неорганізований характер, при якому необхідна кількість валів у кожній із допускових груп зміщення *не визначається* (число груп зміщення визначається відношенням δ_A/δ_B або $6\sigma_A/6\sigma_B$). У зв'язку з цим кількість деталей, що утворюють придатні з'єднання, обмежена. Це призводить до збільшення об'єму незакінченого виробництва і знижує ймовірність підбору пари пристроями автоматичного пошуку.

У тих же випадках, коли кількість валів у кожній із груп зміщення визначена, забезпечити повне зміщення кривих розподілу не вдається внаслідок несиметричності площі під ділянками кривої розподілу розмірів отворів під вал у кожній із груп зміщення (рис. 2, *b*).

Як видно з рис. 2, *b*, кількість деталей, котрі утворюють придатні з'єднання у цьому випадку, обмежується площею S_C при накладанні S_A і S_B .

Зазначену *невизначеність* у процесі підбору складальних комплектів можна усунути зміною в технології управління процесом преселективної обробки валів.

Можна запропонувати підхід, який зумовлює рівність полів розсіювання розмірів для однакових партій спряжуваних деталей, що досягається вимушеним збільшенням поля розсіювання розмірів при виготовленні вала від його мінімального значення δ_B , яке обумовлене довідною операцією, до максимального δ_A , економічно доцільного для отворів, шляхом штучного зміщення поля розсіювання розмірів вала (рис. 2, *a*).

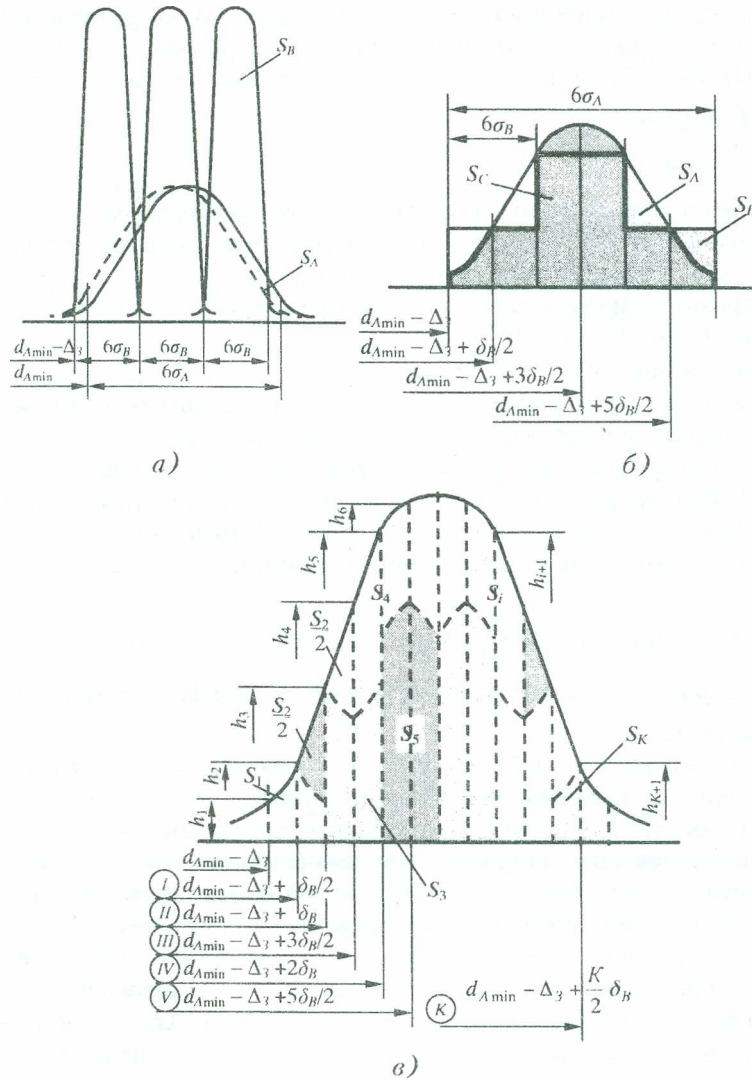


Рис. 2. Процес суміщення кривих розподілу розмірів спряжуваних елементів

При настроюванні довідного безцентрово-шліфувального верстата (зокрема, при фінішній операції обробки валів) необхідне забезпечення повного суміщення кривих розподілу для однакових партій спряжуваних деталей. Пропонується зміщення настроювання здійснювати не на величину δ_u розсіяння розмірів вала, а на величину $\delta_u/2$ (рис. 2, в). Тобто кількість переналаджувань довідного верстата дорівнює $6\sigma_A/3\sigma_B$.

Для визначення числа оброблених валів у кожній із K груп зміщення настроювання необхідний розрахунок площі під кривою Гауса із середнім квадратичним відхиленням $6\sigma_A$, яка матиме вигляд:

$$S = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{d_{Amin}}^{d_{Amax}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz. \tag{10}$$

Такий розрахунок є більш точний, проте вимагає обчислень інтегралу. Якщо спростити розрахунок до припустимих меж міжопераційного заділу виробів, то можна скористатись апроксимованою кривою через лому. При цьому елементарні площі S_i приймаються обмеженими прямолінійними трапеціями з висотою $\delta_u/2$ та основами h_i і h_{i+1} (рис. 3, в).

Таким чином, запропонований нами підхід дозволяє визначати кількість валів у кожній із груп зміщення настроювання довідного безцентрово-шліфувального верстата практично при будь-якій формі кривої, що обмежує елементарні площі S_i (у тому числі і гауссової кривої). Ступінь можливих спрощень у цьому випадку обумовлюється, з одного боку, порівнянням витрат (що у деяких випадках можна виконати тільки за допомогою складних обчислювальних пристроїв), а з іншого — об'ємом незавершеного виробництва, що визначається неповним збігом кривих розподілу при спрощеному розрахунку.

Нечітке відображення належності до певного агрегатного стану системи взаємодії промислового робота з навколишнім середовищем. Механізми ЗП є одними з основних елементів маніпуляційної системи ПР, які визначають технологічні можливості ПР. Специфічними вимогами до ЗП є надійність захвату та утримування ОМ, які визначаються умовами взаємодії ЗП з ОМ, тобто умовами накладання затримуючих та ненадмірних зв'язків на ОМ у процесі його захвату.

Виникнення нового агрегатного стану при взаємодії захватного пристрою з об'єктами маніпулювання. При захваті деталі ЗП може виникнути непередбачена ситуація через можливе просковзування ОМ між губок ЗП при недостатній силі захвату внаслідок розсіяння розмірів деталей.

Зокрема, як було вище зазначено, для найпоширенішої пари, якою є з'єднання вала із втулкою, у виробничих умовах технологія виготовлення отворів передбачає наявність максимального діапазону розсіяння похибок (що описуються нормальною кривою розподілу) $6\sigma_A$ для всієї партії отворів, тобто розміри яких лежать у межах від мінімального $d_{A \min}$ до максимального $d_{A \max}$ у просторі $6\sigma_A$ (рис. 2).

Зазначена непередбачена ситуація, внаслідок якої система взаємодії ЗП з ОМ переходить до нового АС, може бути наочно описана за допомогою застосування теорії фази-логіки, наприклад, наступним чином:

- ФП $M_{M1}(x_1)$ нечіткої множини M_1 для зусилля захвату ОМ x_1 через лінгвістичні невизначеності: "мале", "середнє", "велике" (рис. 3, а);
- ФП $M_{M2}(x_2)$ нечіткої множини M_2 для ступеня просковзування ОМ x_2 через лінгвістичні невизначеності: "трохи просковзує", "сильно просковзує" (рис. 3, б);
- ФП $M_{M3}(x_3)$ нечіткої множини M_3 для ступеня можливого збільшення зусилля затиску, яке не перевищує допустиме навантаження на поверхні ОМ, x_3 через лінгвістичні невизначеності: "деяке збільшення", "значне збільшення" (рис. 3, в);
- ФП $M_{M4}(y)$ нечіткої множини M_4 для необхідної керуючої дії, яку треба подавати на привод ЗП, y через лінгвістичні невизначеності: "трохи збільшити зусилля затиску", "значно збільшити зусилля затиску" (рис. 3, г).

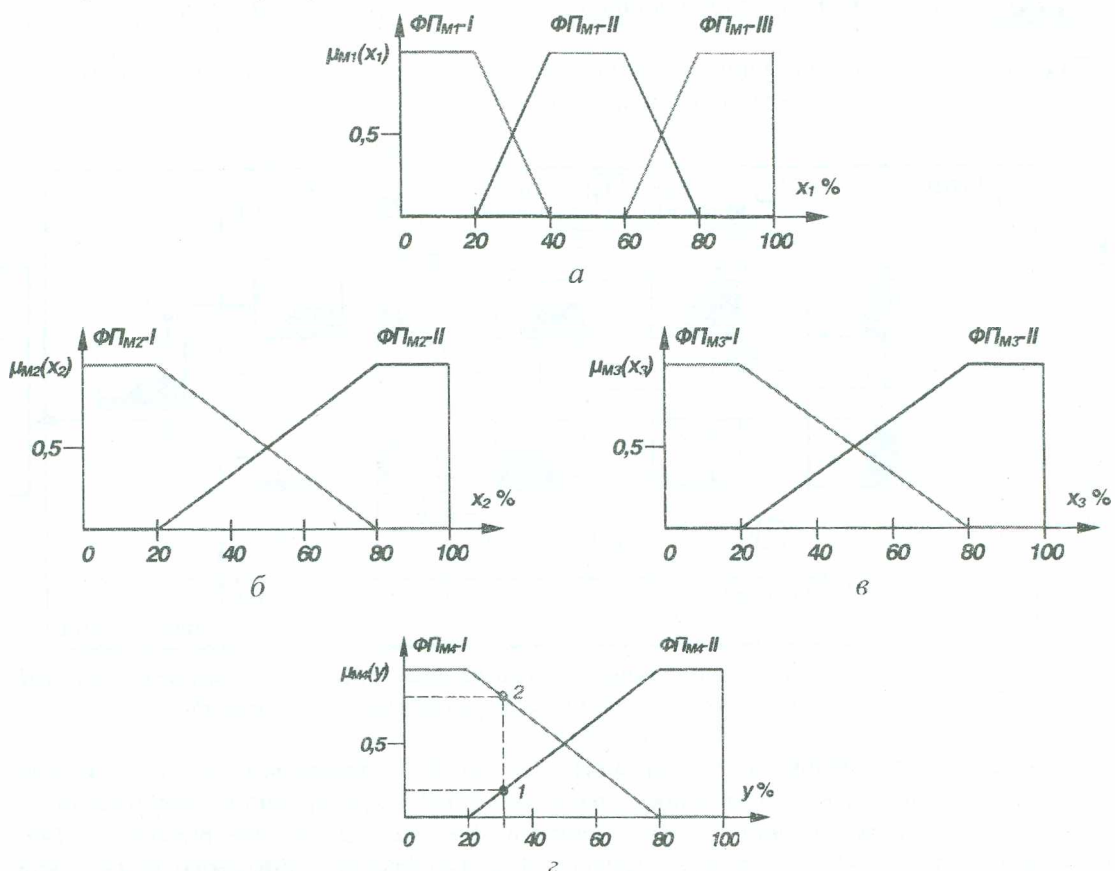


Рис. 3. Варіанти ФП для лінгвістичних величин і залежності від величин зусилля захвату ОМ x_1 (а), ступеня просковзування ОМ x_2 (б), ступеня можливого збільшення зусилля затиску x_3 (в), необхідної керуючої дії y (г)

Фрагмент фазі-системи та штучної нейронної сітки для розробки алгоритму управління зусиллям затиску. Тоді фрагмент продукційної системи, що описує алгоритм управління зусиллям затиску ОМ при можливому його просковзуванні між губок ЗП через недостатню силу захвату, можна подати у вигляді такого набору правил:

Правило 1: ЯКЩО ($x_1 = \text{"мале"}$)
 І ($x_2 = \text{"трохи просковзує"}$),
 І ($x_3 = \text{"деяке збільшення"}$),
 ТО ($y = \text{"трохи збільшити зусилля затиску"}$).

Правило 2: ЯКЩО ($x_1 = \text{"мале"}$)
 І ($x_2 = \text{"сильно просковзує"}$),
 І ($x_3 = \text{"значне збільшення"}$),
 ТО ($y = \text{"значно збільшити зусилля затиску"}$).

Графічне подання одного з варіантів реалізації фазі-правил 1 і 2 представлене на рис. 4.

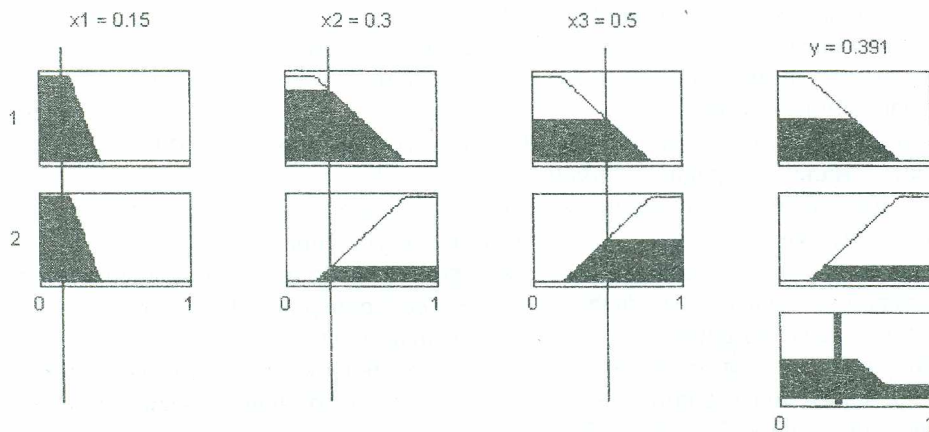


Рис. 4. Графічне подання одного з варіантів реалізації фазі-правил 1 і 2

Тоді можна навести наступну структуру фазі-контролера (рис. 5), де на його вхід через елемент, який нормує, подаються сигнали x_1 , x_2 і x_3 .

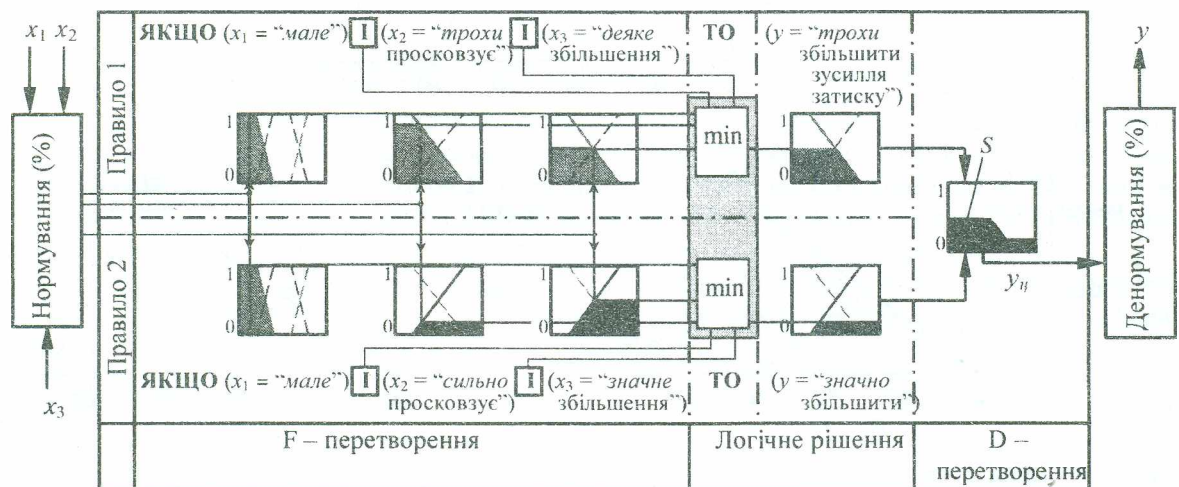


Рис. 5. Структура фазі-контролера в системі управління зусиллям затиску ОМ ЗП
 входи ФП входів правила ФП виходу зважений вихід

Обробка вхідної інформації у лінгвістичній формі здійснюється по двох каналах, які працюють відповідно за вищенаведеними правилами 1 і 2 у три кроки: 1) фазифікація, тобто F-перетворення фізичних величин у нечітку описову формулу; 2) логічне рішення, тобто пошук нечіткої величини керуючого впливу контролера; 3) дефазифікація, тобто зворотне D-перетворення нечіткого логічного рішення на 2-му кроці у вихідну фізичну величину керуючого впливу контролера.

Сполучення І нечітких висловлювань у частині правила ЯКЩО реалізується набором мінімуму поточних значень величин істинності x_1, x_2 і x_3 (правила 1 і 2):

$$\mu_{M_{i,1}}(y) = \min [\mu_{M_{i,1}}(x_1), \mu_{M_{i,1}}(x_2), \mu_{M_{i,1}}(x_3)], \tag{11}$$

$$\mu_{M_{i,2}}(y) = \min [\mu_{M_{i,2}}(x_1), \mu_{M_{i,2}}(x_2), \mu_{M_{i,2}}(x_3)], \tag{12}$$

де $\mu_{M_{i,k}}(x_i)$ – значення ФП фазі-множини M_i у k -му правилі, $\mu_{M_{i,k}}(y)$ – значення ФП фазі-множини M_i у k -му правилі $i = 1, 2, 3, k = 1, 2$.

Результуюча ФП фазі-правил має вигляд:

$$\mu^{(y)} = \max \{ \mu_{y,1}(y), \mu_{y,2}(y) \}. \tag{13}$$

При дефазифікації за методом центра тяжіння вихідною величиною y_c виступає значення абсциси положення центра тяжіння площі S , що лежить під графіком вихідної ФП (рис. 5, заштрихована площа на етапі дефазифікації).

Розрахунок абсциси центра тяжіння $y_c = S(x_s, y_s)$ ділянки площі, що охоплюється функцією $y = f(x)$, у багатьох застосуваннях дефазифікація спрощується завдяки тому, що ФП для частин правил ТО на монотонних ділянках, відмінних від нуля, можуть стискатися. Введенням позначення f_i для n обмежених монотонних величин в окремих правилах абсциса центра тяжіння може бути такою:

$$x_s = \frac{\sum_{k=1}^n (x_i f_i)}{\sum_{k=1}^n f_i}. \tag{14}$$

У відношенні застосованих у фазі-правилах лінгвістичних перемінних, а також їхніх структурних взаємозв'язків у фазі-нейросистемі задається структура задачі й тим самим виконується вимога до чітко *структурованої локальної ШНС*.

Згідно із структурою побудованого фрагменту фазі-системи (рис. 4) структура ШНС може бути наступною (рис. 6).

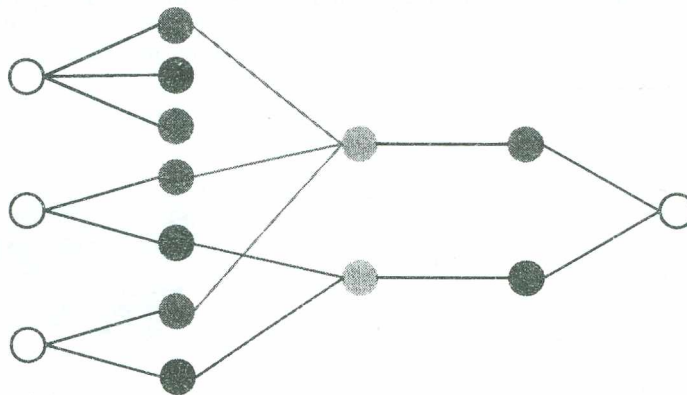


Рис. 6. Структура ШНС

Отримані залежності вихідної величини фазі-системи від вхідних у вигляді тривимірної поверхні при постійному значенні однієї з вхідних величин представлені на рис. 7. Отримані також залежності виходу ШНС (зі структурою, представленою на рис. 6, відповідно до фазі-системи, представленої на рис. 5) від входів у вигляді тривимірної поверхні при постійному значенні одного з входів та результати порівняння з даними фазі-системи (рис. 8, 9).

Таким чином, здійснена формалізація процедур фазифікації, логічного рішення на основі фазі-правил 1, 2 і дефазифікації, побудована фазі-система для управління зусиллям затиску ОМ ЗП, яка відображена на ШНС спеціальної структури.

При застосуванні нейронно-сітьового підходу з використанням зразкових значень фазі-системи забезпечується більш плавна поведінка системи (рис. 8), ніж та, яка виходить при фазі-реалізаціях (рис. 7), що використовують для ФП форми трикутника чи трапеції (як у даному випадку).

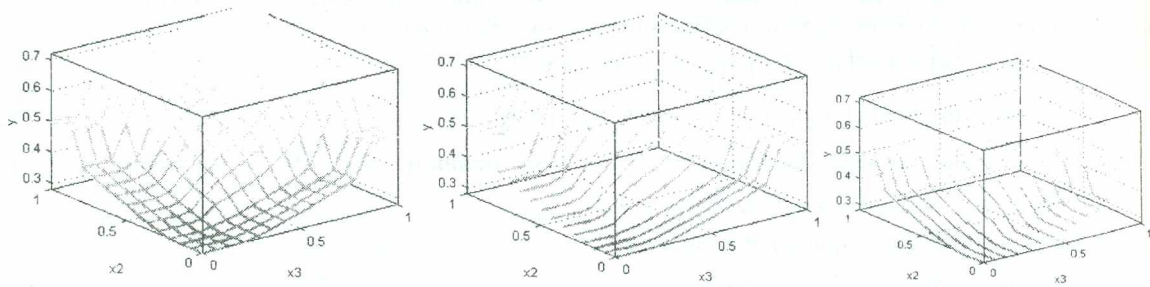


Рис. 7. Експериментальні залежності необхідної керуючої дії y від ступеня просковзування ОМ x_2 та ступеня можливого збільшення зусилля затиску x_3 при постійному значенні зусилля захвату ОМ x_1 ($x_1 = 0.15$) у фазі-системі

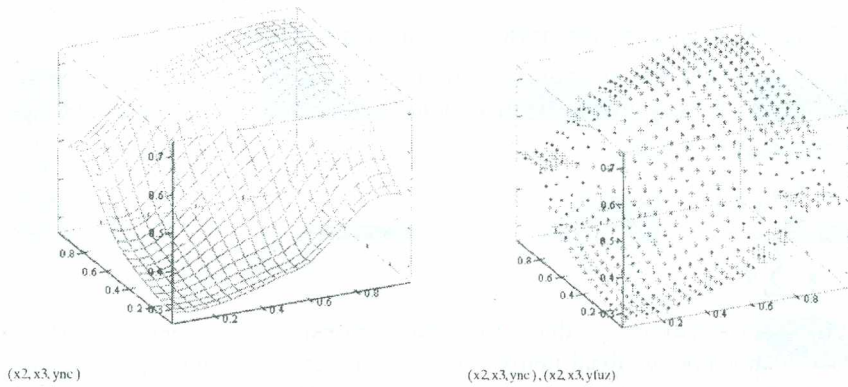


Рис. 8. Експериментальні залежності виходу y_{nc} від входів x_2 і x_3 при постійному значенні x_1 ($x_1 = 0.15$) у ШНС та порівняння з відповідними залежностями виходу y_{fuz} фазі-системи від входів x_2 і x_3

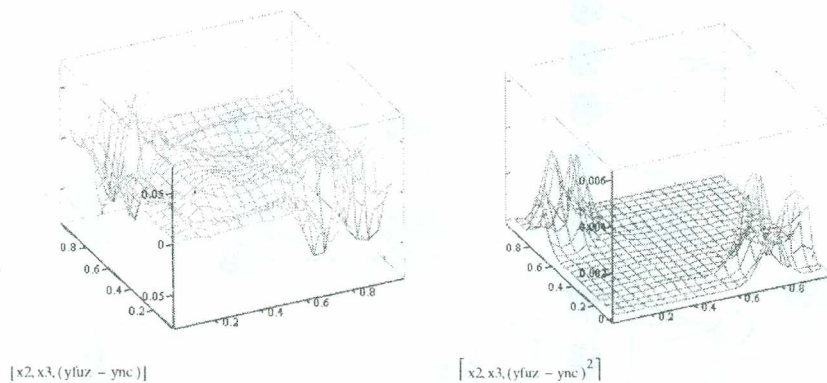


Рис. 9. Відхилення залежностей виходу y_{nc} ШНС від входів x_2 і x_3 від відповідних залежностей виходу y_{fuz} фазі-системи від входів x_2 і x_3

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблені класифікації, методики та моделі допомагають синтезувати коректні алгоритми керування процесами ГКВС з урахуванням непередбачених ситуацій, у тому числі й надзвичайних.

Наведені два приклади підвищення ефективності функціонування реальних систем, де розглядаються найскладніші в машинобудуванні процеси – преселективної обробки валів під операції складання комплектів підвищеної гарантованої точності та забезпеченості високої надійності обслуговування технологічного устаткування промисловими роботами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмишин Н.А. Нейронные сети в системах автоматизации. – К.: Техніка, 1999. – 364 с.

2. *Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюшин Н.А.* Системы функционирования. – К.: Техніка, 1997. – 208 с.
3. *Блажко О.В., Борисюк В.В., Гілязов А.М., Птічнікова Г.С., Лісовиченко О.І.* Концептуальний підхід до розробки інтегрованого об'єктно-орієнтованого середовища для моделювання гнучких виробничих систем // Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій "Нові технології". – 2003. – № 1(2). – С. 81–85.
4. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
5. *Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.Н.* Лекции по теории сложных систем. – М.: Советское радио, 1973. – 438 с.
6. *Кузьмін П.В., Лавров О.А., Остапенко К.Б., Ямпольський Л.С., Банашак З.* Нові підходи до моделювання і управління в гнучких комп'ютеризованих системах // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Адаптивні системи автоматичного управління". – Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 1998. – Вип. 1(21). – С. 47–63.
7. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
8. *Шостак В.Ф.* Модели и методы управления сложными технологическими комплексами в нештатных (экстремальных) режимах работы в АСУТП // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 10. – С. 158–164.
9. *Шостак В.Ф.* Управление сложными технологическими объектами с использованием баз знаний и имитационно-управляющих моделей // Тез. докл. 5-ого Всесоюз. семинара "Методы синтеза и планирования развития структур крупномасштабных систем". – М.: Ин-т проблем управления, 1990. – С. 119–120.
10. *Ямпольський Л.С., Банашак З.* Автоматизация проектирования и управления в гибком производстве. – К.: Техніка; Варшава: Науч.-техн. изд-во, 1989. – 214 с.
11. *Ямпольський Л.С., Банашак З., Хасегава К., Крөг Б., Такахаши К., Борусан А.В.* Управление дискретными процессами в ГПС. – К.: Техніка; Вроцлав: Изд-во Вроцлав. политехн. ин-та; Токио: Токосё, 1992. – 251 с.

ЯМПОЛЬСЬКИЙ Леонід Стефанович – кандидат технічних наук, професор кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України "КПІ", лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Наукові інтереси:

- робототехніка і гнучкі комп'ютеризовані системи;
- системи моделювання, управління і підтримки прийняття рішень.

ЛІСОВИЧЕНКО Олег Іванович – магістр, асистент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- моделювання складних систем.

ПТІЧНИКОВА Ганна Сергіївна – магістр, аспірант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- ідентифікація та моделювання процесів складних систем.

Тел.: 441-14-68 , 274-69-66.

E-mail: oliso@tk.ntu-kpi.kiev.ua

Подано 03.10.2003