

РАВСЬКА Н.С., ПАРНЕНКО В.С., ГАСАНОВ М.І., ЗАКОВОРОТНИЙ О.Ю., КЛОЧКО О.О.

НАУКОВІ ОСОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕОРІЇ РІЗАННЯ В АЛГОРИТМАХ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Наукові основи визначення залежностей теорії різання є складною структурною системою яка супроводжується безліччю різних фізичних явищ. До них відносяться такі як пластичні деформації, тертя, вібрації, теплові, хімічні та ін, які визначаються, в основному верстатом, інструментом, оброблюваним матеріалом. Великою мірою ефективність процесу різання залежить від управління цим процесом. Останнім часом для управління технологічними процесами використовуються штучні нейронні мережі (ШНМ) і являють математичну модель з її програмним або апаратним втіленням. Ці моделі не що інше як залежність між досліджуваними вхідними факторами та вихідними параметрами. Вони придатні лише управління процесами в аналізованому діапазоні змінних і розкриває сутності «чорного ящика» тобто. явищ їх супроводжуючих. Створення нейронних мереж на основі явищ, що супроводжують аналізований технологічний процес, відкриває широкі можливості оптимального управління його параметрами з подальшою корекцією системи. Такий підхід значно підвищить точність управління, скоротить витрати на навчання та реалізацію управління. Створення таких ШНМ на прикладі процесу різання є актуальною проблемою та її вирішення має велике практичне значення

Ключові слова: залежності, теорія різання, штучні нейронні мережі, математична модель, метод штучних нейронних мереж, метод групового обліку аргументу

RAVSKA N.S., PARNENKO V.S., GASANOV M.I., ZAKOVOROTNYI O.Yu., KLOCHKO O.O.

SCIENTIFIC AXES OF DETERMINING DEPENDENCES OF CUTTING THEORY IN ALGORITHMS IN IMPLEMENTATION OF NEURON NETWORKS OF FORMATION PROCESSES

The scientific basis of determining the dependencies of cutting theory is a complex structural system that is accompanied by many different physical phenomena. These include plastic deformations, friction, vibrations, thermal, chemical, etc., which are mainly determined by the machine tool, the tool, and the material being processed. To a large extent, the efficiency of the cutting process depends on the management of this process. Recently, artificial neural networks (ANNs) are used to control technological processes and represent a mathematical model with its software or hardware implementation. These models are nothing more than the dependence between the studied input factors and output parameters. They are suitable only for managing processes in the analyzed range of variables and reveal the essence of the "black box", i.e. phenomena accompanying them. The creation of neural networks based on the phenomena accompanying the analyzed technological process opens up wide opportunities for optimal management of its parameters with further correction of the system. This approach will significantly increase the accuracy of management, reduce costs for training and implementation of management. The creation of such ANNs on the example of the cutting process is an actual problem and its solution is of great practical importance

Keywords: dependencies, cutting theory, artificial neural networks, mathematical model, method of artificial neural networks, method of group accounting of the argument

рийняті скорочення:

МГОА - метод групового обліку аргументу;

МШНМ -метод штучних нейронних мереж;

ШНМ - штучні нейронні мережі;

МСА модифікований спрощений алгоритм ;

НМ – нейронні мережі.

Вступ. Процес різання як із технологічних процесів є структурою складну систему, супроводжувану безліччю різних фізичних явищ. до них відносяться такі як пластичні деформації, тертя, вібрації, теплові, хімічні та ін, які визначаються, в основному верстатом, інструментом, оброблюваним матеріалом.

Великою мірою ефективність процесу різання залежить від управління цим процесом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для управління технологічними процесами використовуються штучні нейронні мережі (ШНМ). ШНМ є математичну модель з її програмним або апаратним втіленням [1, 7, 10].

Ці моделі не що інше як залежність між досліджуваними вхідними факторами та вихідними параметрами [2]. вони придатні лише управління процесами в аналізованому діапазоні змінних і розкриває сутності «чорного ящика» тобто. явищ їх супроводжуючих. [3, 7, 9, 12, 13, 14].

Створення нейронних мереж на основі явищ, що супроводжують аналізований технологічний процес, відкриває широкі можливості оптимального управління його параметрами з подальшою корекцією системи. такий підхід значно підвищить точність управління, скоротить витрати на навчання та реалізацію управління.

Створення таких ШНМ на прикладі процесу різання є актуальною проблемою та її вирішення має велике практичне значення.

Нейронні мережі управління технологічними процесами, зокрема і процесом різання, належить до методом теорії евристичної самоорганізації. з методів евристичної самоорганізації при моделюванні процесів різання застосовуються метод штучних нейронних мереж (МШНМ) та метод групового обліку аргументу (МГОА) [4, 5, 6]. Теорія самоорганізації заснована на засадах самоорганізації та неостаточних рішень (масової селекції [6, 8, 9]

Поняття штучного нейрона та штучної нейронної мережі з'явилися досить давно, ще 1943 року. Це була чи не перша стаття, в якій робилися спроби змоделювати роботу мозку. Її автором був Уоррен Мак-Каллок. Ці ідеї продовжив нейрофізіолог Френк Розенблатт. Він запропонував схему пристрою, який моделює процес людського сприйняття, і назвав його «перцептроном» (від латинського perceptio – сприйняття).

У 1960 році Розенблатт представив перший нейрокомп'ютер - "Марк-1", який був здатний розпізнавати деякі літери англійського алфавіту. Таким чином, перцептрон є однією з перших моделей нейромереж, а «Марк-1» – першим у світі нейрокомп'ютером.

Перцептрони стали дуже активно досліджувати. На них покладали великі надії. Однак, як виявилось, вони мали серйозні обмеження. У основі перцептрона лежить математична модель сприйняття інформації мозком. У найзагальнішому своєму вигляді (як його описував Розенблатт) він представляє систему з елементів трьох різних типів: сенсорів, асоціативних елементів та реагуючих елементів.

Створення Розенблаттом Ф. перцептрона [3, 6, 7, 8, 9, 10, 11] забезпечило створення МШНМ та МГОА, незважаючи на загальну теорію самоорганізації та її принципів. МШНМ і МГОА відрізняються за способом їх застосування, враховуючи спільність принципів їх побудови моделей та використанням МШНМ та МГОА у роботі [3, 6] розглянуто основні положення їх здійснення.

Мета дослідження є збільшення швидкості навчання, точності управління та зниження витрат на навчання за рахунок створення ІНМ, що розкривають фізичні явища, що супроводжують процес різання.

Основна частина. У МШНМ нейрон реалізує такі дії (рис. 1): підсумовує сигнали, що надійшли на нього, і видає на виході сигнал відповідний заданій активаційній функції (наприклад,

$$OUT = \frac{1}{1 + e^{-NET}},$$

де NET – сумарний сигнал, що надійшов на нейрон).

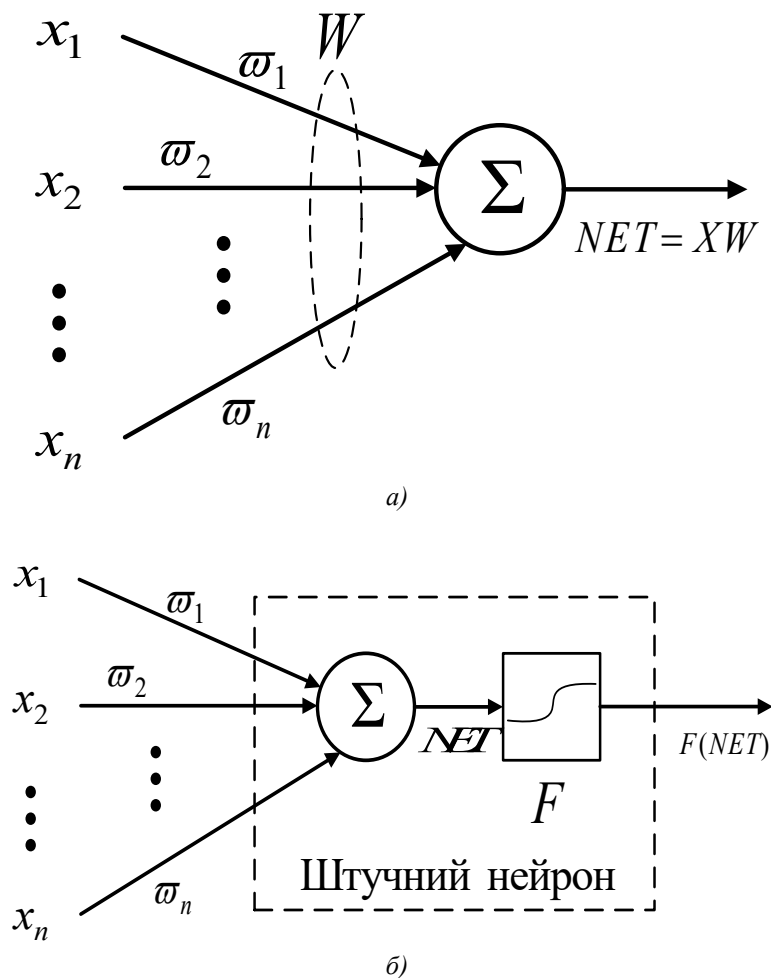


Рис. 1 – Схема реалізації дії нейронів методом штучних нейронних мереж: а) – штучний нейрон; б) – штучний нейрон з активаційною функцією.

За аналогією з електронними системами активаційну функцію вважатимуться нелінійною підсилювальною характеристикою штучного нейрона. У нейронних мережах (НМ) (рис. 2) опис образу у вигляді вектора подається на вхідний (нульовий) шар нейронів, з кожного нейрона нульового шару зважений сигнал (помножений на відповідний зв'язок вага $W_{i,j}$) передається на кожен нейрон першого шару. На виході першого шару формується безліч найкращих рішень щодо належності даного образу до певного класу.

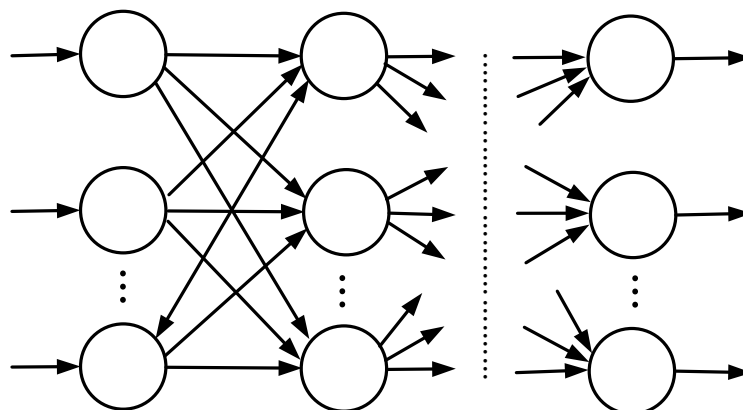


Рис. 2 – Багатошарова нейронна мережа

Активаційні функції виступають як порогових, інтегральних впливів (відбір кращих рішень). Рішення про належність образу певному класу не приймається відразу, а хіба що відтягується. Вихідні сигнали нейронів першого шару надходять до другого шару, і відбір рішень повторюється. На виході вихідного шару нейронів приймається остаточне рішення.

У МГОА принципи евристичної самоорганізації використовуються для відшукування структури моделі описуваного процесу. Формується безліч "приватних" моделей. Як порогові, інтегральні впливи виступають евристичні критерії, що є зовнішнім доповненням. На кожному етапі селекції здійснюється відбір кількох найкращих (у сенсі обраного критерію) "приватних" моделей, на підставі яких формуються "приватні" моделі наступного ряду селекції. Остаточна модель вибирається з умови глобального мінімуму зовнішнього критерію.

Таким чином, МШНМ, користуючись принципами евристичної самоорганізації, визначає належність образу певного класу, а МГОА визначає структуру моделі аналізованого процесу.

МШНМ дозволяє вирішувати завдання класифікації образів, кластеризації/категоризації, апроксимації функцій (імітації процесу), одиничного прогнозу, оптимізації та управління. МШНМ завдяки своїй структурі дозволяє вирішувати завдання, що часто не формалізуються або важко формалізуються простіше, ніж стандартні методи. Однак, слід помітити серйозну нестачу МШНМ, особливо на вирішення завдань механічної обробки, - для алгоритмів навчання чи самонавчання НМ потрібна велика навчальна вибірка. [5]

Тому, незважаючи на те, що МШНМ дозволяє замінити складні та громіздкі аналітичні або емпіричні залежності, за якими можна керувати процесом різання, цей метод не застосовується для отримання моделей процесу з метою прогнозування явищ його супроводжуваних та оптимізації умов проведення процесу. Аби вирішити подібних завдань доцільно застосовувати алгоритми МГОА [3].

Особливості алгоритму МГОА для моделювання процесів різання. Серед безлічі алгоритмів для моделювання процесу різання обрано модифікований спрощений алгоритм МГОА [4, 7, 10]. Блок – схема цього алгоритму наведено на рис.3.

Цей алгоритм має загальними ознаками та принципами побудови алгоритмів МГОА.

Разом з тим, його перевагами в порівнянні з іншими алгоритмами є:

- наявність можливості розширення вектора розмірних вихідних даних з урахуванням накопиченого досвіду. Заздалегідь ставлячи найімовірніший вид масштабного простору, де здійснюється побудова моделі;

- наявність апарату усунення колінеарності – прийом ортоаналізації;

- як селекція моделі, тобто. критерієм вибору найбільш перспективних приватних описів даного ряду до роботи наступного ряду алгоритму, використовується критерій мінімуму зміщення, коефіцієнтів.

Застосування критерію мінімуму зміщення коефіцієнтів, отриманого за даними навчальної та перевіркової послідовності, дозволяє алгоритму найближче підійти до ідентифікації фізичних законів об'єкта, що вивчається.

Методики досліджень процесу різання включає три основні розділи:

- методика експериментального дослідження;

- визначення математичної моделі;

- методика оптимізації параметрів процесу.

Експериментальні дослідження призначені для отримання даних для побудови математичних моделей та проведення контрольних випробувань для підтвердження здатності одержаних моделей описувати фізичні явища, що супроводжують процес, що вивчається.

Алгоритми МГОА можуть працювати як у різноманітних статичних планах, і на інформації, зібраної за умов нормального функціонування системи (виробництва). Ця здатність алгоритмів МГОА

властива і МШНМ.

Ширше лабораторії відповідають активному експерименту, в умовах виробництва – пасивному.

Незалежно від активного чи пасивного експерименту при моделюванні з використанням алгоритмів МГОА необхідно:

- вибрати кількості досліджуваних змінних;
- визначити межі їх зміни;
- визначити рівні зміни змінних;
- визначити загальну кількість експериментів (експериментальних точок);
- використовувати різні комбінації при постановці активних та пасивних експериментів.

Застосування методів самоорганізації, зокрема алгоритмів МГОА, не накладає обмежень на кількість змінних, що обираються для моделювання процесу. Обмеження кількості змінних обумовлюється метою моделювання та можливістю практичної інформації (активний, пасивний експеримент).

При активному експерименті з використанням МГОА діапазон зміни змінних вибирається якнайширше досвід показує, що при вузькому інтервалі зміни змінних, при оптимізації параметрів процесу їх значення відповідаю довідковим [11].

Для опису результатів експериментальних досліджень у різанні металів найбільш поширеним ласом функцій є логарифмічні функції. Однак цими функціями в основному описується залежність різних параметрів процесу різання та його явищ від режимів різання. Функції, що описують вплив великої кількості змінних, що визначають процес різання, пов'язаних зі станом та конструкції інструменту, верстата, матеріалу на характеристики процесів різання невідомі і не використовувалися.

- N – кількість змінних
- M – кількість точок (експериментів)
- K – кількість узагальнених змінних
- IR – кількість точок послідовності для навчання
- IV – види зовнішніх критеріїв
- NR – кількість рядів
- LG – вільний вибір
- NC – кількість корекцій
- KF – глибина прогнозу
- KP – глибина врахування передсторії $L1, L2, L3$
- φ_j – вихідна функція ($j = 1, M$)
- X_{ij} – змінна у вихідній матриці ($i = 1, N$)
- $L1$ – число корекцій

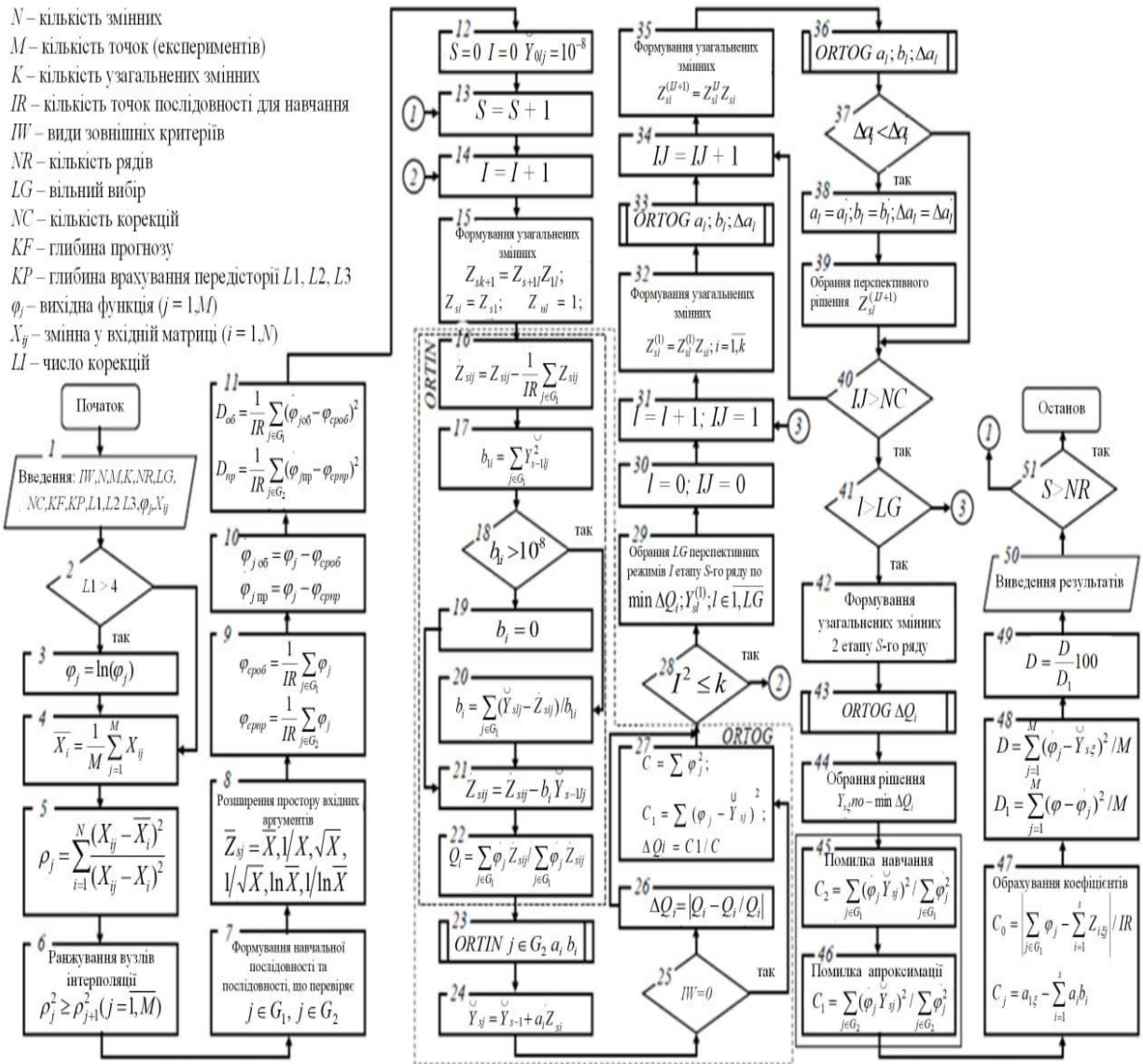


Рис. 3 – Блок-схема модифікованого спрощеного алгоритму МГОА

Тому простір вихідних даних в інформаційній матриці було розширено до $\vec{X}, 1/\vec{X}, \sqrt{\vec{X}}, \ln\vec{X}, 1/\ln\vec{X}, \sqrt{\ln\vec{X}}$. Вихідні параметри, які досліджується, вводяться в просторі $\ln y$, тобто:

$$M \left(\ln y / \vec{X}, 1/\vec{X}, \sqrt{\vec{X}}, \ln\vec{X}, 1/\ln\vec{X}, \sqrt{\ln\vec{X}} \right) = F,$$

де $F(\vec{X}, 1/\vec{X}, \sqrt{\vec{X}}, \ln\vec{X}, 1/\ln\vec{X}, \sqrt{\ln\vec{X}}, \vec{\theta})$ – невідомий функціонал (функція зв'язку),
 $\vec{\theta} = \|\vec{\theta}_1, \vec{\theta}_2, \dots, \vec{\theta}_m\|$ – невідомий вектор оцінюваних параметрів.

Основною процедурою при побудові моделей, здатних відображати фізичну сутність досліджуваних процесів, є формування безлічі приватних описів кожного ряду селекції алгоритму.

Ця процедура полягає у відборі групи (Γ штук) "перспективних" рішень, що складаються з Γ приватних описів на кожному ряду селекції. Їх відбір провадиться за критерієм мінімуму зміщення $n2cm$.

Оптимальна складність моделі визначається за критерієм збіжності (точності) – середньоквадратичної помилки (помилки апроксимації) по всій послідовності.

Зупинення селекції здійснюється за мінімум цієї помилки.

З R обраних за критерієм мінімуму усунення рішень один із найменшим значенням $n2cm$ входить кожному ряду селекції у структуру моделі. У кожний наступний ряд селекції переходять як "узагальнені" змінна всі Γ "перспективні" рішення.

Структура моделі формується з рішень із найменшим $n2cm$. Незалежно, яке з "перспективних" рішень обрано до структури моделі, всі перспективні рішення виводиться на друк. Це забезпечує етапи аналізу отриманої моделі коригування структури моделі з урахуванням фізичної сутності процесу.

Нарощування рядів селекції (ускладнення моделі) проводиться доти, доки зменшується помилка апроксимації.

Отримана таким чином модель аналізується з точки зору її можливостей опису фізичної сутності. При цьому насамперед перевіряється найбільш загальні положення та вимоги.

За даними аналізу проводиться коригування структури моделі та уточнюються її коефіцієнти.

Відкоригована за структурою та уточнена модель піддається експериментальній перевірці та статичній перевірці її адекватності досліджуваному процесу.

На стадії експериментальної перевірки ставиться серія паралельних контрольних дослідів, аналізується відповідність експериментальних даних та розрахованих за моделлю, перевіряється гіпотеза адекватності моделі.

Модель адекватна досліджуваному процесу вважається придатною для оптимізації проведення процесу.

Методика оптимізації умов проведення процесу (у разі процесу різання) є машинний пошук за моделлю його оптимальних значень.

Це завдання з математичної постановки формується як завдання відшукування екстремуму деякої цільової функції (функціоналу) F за певних обмежень.

В основу визначення оптимальних значень досліджуваних змінних покладено метод випадкового пошуку. Він може бути реалізований як при моделюванні з використанням МГОА так і МШНМ.

Штучні нейронні мережі управління процесом різання з використанням моделей, отриманих МГОА. Як було показано, моделювання на основі МІНМ та МГОА засноване на загальній теорії самоорганізації та загальних принципах побудови моделей.

У рівній мірі моделювання з МІНМ і МГОА починається з визначення масиву вхідних даних, які в ІНМ представлені вхідним шаром " ρ " [1], що відповідає масиву змінних в МГОА.

ІНМ є математичною моделлю, яка за організацією та функціонуванням відповідають біологічній нейронній мережі. Здатність ІНМ до навчання дозволяє керувати процесом різання з урахуванням характеристик, що не піддаються чисельному виміру процесу.

З використанням МГОА (рис.3) за експериментальними даними одержують моделі, які описують фізичні явища в досліджуваній області зміни змінних процесу різання.

Слід зазначити, що процес різання відноситься до складних процесів, що швидко змінюються в часі і залежить від великої кількості змінних.

Для управління процесом методом ІНМ потрібна велика кількість змінних у вхідному шарі. Це, у свою чергу, призводить до неефективності ІНМ через час на їхнє навчання. Керувати процесом з урахуванням моделей, отриманих по МГОА немає можливості оскільки де вони враховують стану всієї системи.

Скорочення кількості змінних вхідного шару можна отримати, якщо у вхідний шар замість безлічі змінних ρ включити як змінну модель « Z », отриману МГОА.

Спрощена схема ІНМ з моделлю Z представлена на рис.4.

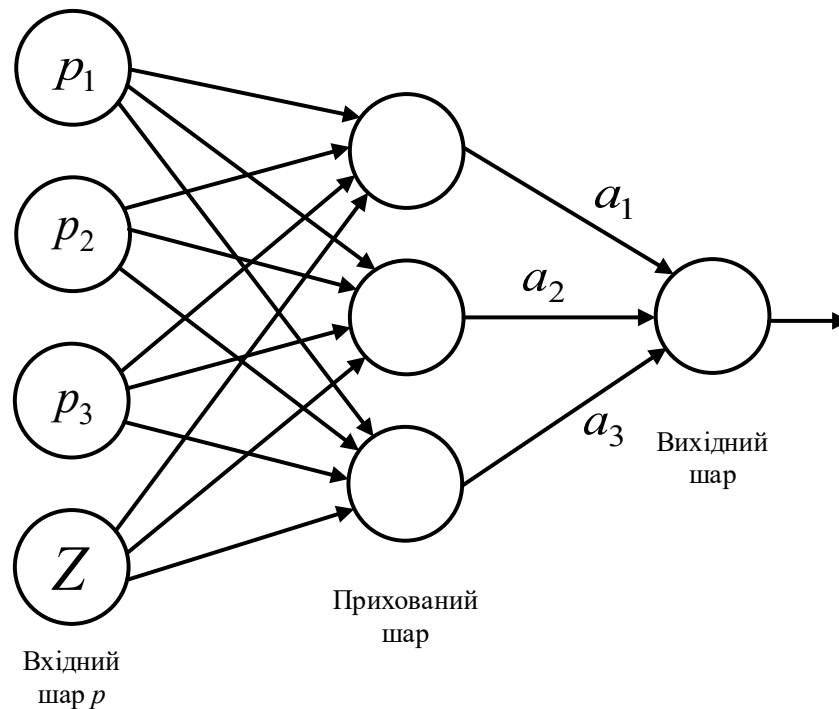


Рис. 4 – Спрощена схема ІНМ із моделлю Z

Таке уявлення ІНМ процесу різання дозволяє значно підвищити ефективність управління процесом різання..

Висновки. Показано, що МІНМ та алгоритми МГОА засновані на загальній теорії евристичної самоорганізації та її принципах. Це дозволяє у вхідному шарі ІНМ, такого складного та швидкозмінного процесу, як процес різання, безліч змінних замінювати моделлю, що описує фізичні явища, отриманої з використанням МГОА.

Така заміна значно підвищує ефективність управління процесом різання за рахунок скорочення часу на навчання ІНМ та підвищення точності управління..

Список літератури

1. Джиммі У.Кі. (2016), «Штучні нейронні мережі управління технологічними процесами. Частина 1», Control Engineering №3(63), липень, 2016, с. 62-66.
2. Равська Н.С., Ковальова Л.І. (2002), «Застосування методів самоорганізації для ідентифікації процесів та об'єктів», Lucrarile stiintifice all simpozion lui international, Universitaro Ropet 2002, Inginerie Mecanica, Petrosani, Focus.
3. Дюбнер Л.Г., Скринник П.В., Ковальова Л.І. (2004), «Основні положення алгоритму для моделювання процесу різання з урахуванням фізичних явищ, що його супроводжують», Надійність іНМтрументу та оптимізація технологічних систем, №15.
4. Заковоротний О.Ю., Дмитрієнко В.Д. (2015), «Автоматизація аналітичних перетворень геометричної теорії управління», Енергетичні та електротехнічні системи №2.
5. Івахненко О.Г. (1971), Системи евристичної самоорганізації у технічній кібернетиці. Техніка, 372 с.
6. Івахненко А.Г., та ін (1976). Ухвалення рішень на основі самоорганізації. Москва, Рад. радіо. 280с.
7. Круглов В.В., Борисов В.В. (2001), Штучні нейронні мережі. Теорія та практика. Москва, Гаряча лінія - Телеком, 382с.
8. Розенблатт Ф. (1965), Принципи неродинаміки: Перцептрон та теорія механізмів мозку. Москва, Світ.
9. Васильєв В.І. (1988), Розпізнавальні системи. Київ, Наукова думка.
10. Милокост І. О. Підвищення якості отворів при свердлінні тонкостінних виробів з ортотронних вуглепластиків : дис. канд. техн. наук : 05.06.01 / Милокост Ірина Олександрівна, Київ, 2016. 161с.
11. Родін Р.П., Равська Н.С., Касьянов А.І. (1965). Монолітні твердосплавні кінцеві фрези. Київ, Вища школа, 63с.
12. Равська Н.С., Корбут Є.В., Родін Р.П., Парненко В.С., Заковоротний О.Ю., Ключко О.О., Сапон С.П., dr. Rolahd Loroeh. Імітаційне моделювання процесами спрощеним алгоритмом методу групового врахування аргументів. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції 01 – 03 вересня 2022 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2022. – С. 180– 181. – ISBN 978-617-7889-20-4.
13. Равська Н.С., Корбут Є.В., Івановський О.А., Родін Р.П., Парненко В.С., Заковоротний О.Ю., Ключко О.О., Сапон С.П., Loroeh Rolahd Теорії евристичної самоорганізації в імітаційному моделюванні управління процесами. Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2021). Тези двадцять першої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2021. – С. 61 – 62.
14. Равська Н.С., Корбут Є.В., Івановський О.А., Родін Р.П., Парненко В.С., Заковоротний О.Ю., Ключко О.О., Сапон С.П., Rolahd Loroeh. Модифікований спрощений алгоритм методу групового врахування аргументів в імітаційному моделюванні процесами. Збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 5–6 листопада 2021 року. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – С. 48 –50.

References (transliterated):

1. Dzhimmi U.Ki. (2016), «Shtuchni nejronni merezhi upravlinnya tekhnologichnimi procesami. Chastina 1», Control Engineering №3(63), lipen', 2016, s. 62-66.
2. Rav'ska N.S., Koval'ova L.I. (2002), «Zastosuvannya metodiv samoorganizacii dlya identifikacii procesiv ta ob'ektiv», Lucrarile stiintifice all simpozion lui international, Universitaro Ropet 2002, Inginerie Mecanica, Petrosani, Focus.
3. Dyubner L.G., Skrinnik P.V., Koval'ova L.I. (2004), «Osnovni polozhennya algoritmu dlya modelyuvannya procesu rizannya z urahuvannyam fizichnih yavishch, shcho jogo suprovodzhuyut'», Nadijnist' iNMtumentu ta optimizaciya tekhnologichnih sistem, №15.

4. Zakovorotnij O.Yu., Dmitrienko V.D. (2015), «Автоматизация аналитических перетворен' геометричної теорії управління», Энергетични та електротехнічни системи №2.
5. Ivahnenko O.G. (1971), Sistemi evristichnoї samoorganizacii u tekhnichnij kibernetici. Tekhnika, 372 s.
6. Ivahnenko A.G., ta in (1976). Uhvalennya rishen' na osnovi samoorganizacii. Moskva, Rad. radio. 280s.
7. Kruglov V.V., Borisov V.V. (2001), Shtuchni neyronni mrezihi. Teoriya ta praktika. Moskva, Garyacha liniya - Telekom, 382s.
8. Rozenblatt F. (1965), Principi nerodinamiki: Perseptroni ta teoriya mekhanizmiv mozku. Moskva, Svit.
9. Vasil'ev V.I. (1988), Rozpiznaval'ni sistemi. Kiiv, Naukova dumka.
10. Milokost I. O. Pidvishchennya yakosti otvoriv pri sverdlinni tonkostinnih virobiv z ortotronnih vugleplastikov : dis. kand. tekhn. nauk : 05.06.01 / Milokost Irina Oleksandrivna, Kiiv, 2016. 161s.
11. Rodin R.P., Rav'ska N.S., Kas'yanov A.I. (1965). Monolitni tverdosplavni kincevi frezi. Kiiv, Vishcha shkola, 63s.
12. Rav'ska N.S., Korbut Є.V., Rodin R.P., Parnenko V.S., Zakovorotnij O.Yu., Klochko O.O., Sapon S.P., dr. Rolahd Loroeh. Imitacijne modelyuvannya procesami sproshchenim algoritmom metodu grupovogo vrahuvannya argumentiv. // Vazhke mashinobuduvannya. Problemi ta perspektivi rozvitku. Materiali XX Mizhnarodnoї nauково-tekhnichnoї konferencii 01 – 03 veresnya 2022 roku / za zag. red. V. D. Koval'ova. – Kramators'k-Ternopil': DDMA, 2022. – S. 180– 181. – ISBN 978-617-7889-20-4.
13. Rav'ska N.S., Korbut Є.V., Ivanov'skij O.A., Rodin R.P., Parnenko V.S., Zakovorotnij O.Yu., Klochko O.O., Sapon S.P., Loroeh Rolahd Teorii evristichnoї samoorganizacii v imitacijnomu modelyuvanni upravlinnya procesami. Problemi informatiki ta modelyuvannya (PIM-2021). Tezi dvadcyat' pershoї mizhnarodnoї nauково-tekhnichnoї konferencii. – Harkiv: NTU "HPI", 2021. – S. 61 – 62.
14. Rav'ska N.S., Korbut Є.V., Ivanov'skij O.A., Rodin R.P., Parnenko V.S., Zakovorotnij O.Yu., Klochko O.O., Sapon S.P., Rolahd Loroeh. Modifikovanij sproshchenij algoritm metodu grupovogo vrahuvannya argumentiv v imitacijnomu modelyuvanni procesami. Zbirnik naukovih prac' HI Vseukraїns'koї nauково-tekhnichnoї konferencii z mizhnarodnoyu uchastyu «Procesi mekhanichnoї obrobki, verstati ta instrument», 5–6 listopada 2021 roku. – Zhitomir : Derzhavnij universitet «Zhitomir's'ka politekhnika», 2021. – S. 48 –50.

Поступила (received) 21.02.2023

Відомості про авторів / About the Authors

Равська Наталія Георгіївна (Rav'ska Natalya) – доктор технічних наук, професор, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: +38(096) 7113782, e-mail: nravska@ukr.net.

Парненко Валерія Сергіївна (Parnenko Valeriya) – кандидат технічних наук, доцент, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: +38(050) 5398376, e-mail: art@artograph.com.ua.

Гасанов Магомедмін Ісамагомедович (Hasanov Magomedemin) – проректор по науково-педагогічній роботі, доктор технічних наук, професор кафедри технологія машинобудування і металорізальні верстати, Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків; тел.: (096)-590-8850; e-mail: kh.kajvika@gmail.com;

Закоротний Олександр Юрійович (Zakovorotniy Alexander) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальна техніка та програмування, Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м.Харків; тел.: (097) 967-32-71; e-mail: arcade@i.ua; ORCID: 0000-0003-4415-838X

Клочко Олександр Олександрович (Klochko Oleksandr) – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна; тел.:+38067-936-36-64, e-mail: ukrstanko21@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2841-9455.