

## **НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЗА УМОВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ**

*д-р техн. наук, проф. М.І. Гасанов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.  
О.Ю. Заковоротний<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф. О.А. Пермяков<sup>1</sup>,  
д-р техн. наук, проф. А.А. Ключко<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.  
О.А. Охрименко<sup>2</sup>, <sup>1</sup>НТУ "ХПІ", м. Харків, Україна, <sup>2</sup>НТУУ "КПІ"  
ім. І. Сикорського, м. Київ, Україна*

Процес формування виробів машинобудування є структурою складної системи з 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 формування виробів машинобудування за умов імітаційного моделювання.

Створення нейронних мереж на основі імітаційного моделювання, 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.

Нейронні мережі управління технологічними процесами формування виробів машинобудування, зокрема і процесом різання, належить до метода теорії евристичної самоорганізації. З методів евристичної самоорганізації при моделюванні процесів різання застосовуються метод штучних нейронних мереж (МШНМ) та метод групового обліку аргументу (МГОА). Теорія самоорганізації заснована на засадах самоорганізації та неостаточних рішень масової селекції.

У МГОА принципи евристичної самоорганізації використовуються для відшукування імітаційного моделювання 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 імітаційного моделювання 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.

Метою роботи є збільшення швидкості навчання, точності управління та зниження витрат на навчання за рахунок імітаційного моделювання, що розкривають фізичні явища, які супроводжують процес різання.

Серед безлічі алгоритмів для моделювання процесу різання обрано модифікований спрощений алгоритм МГОА. 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;
- 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.

Методика 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, які 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.

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 імітаційного

моделювання та можливістю практичної інформації (активний, пасивний експеримент).

При активному експерименті з використанням МГОА діапазон зміни змінних обирається досить широкий. Досвід показує, що при вузькому інтервалі зміни змінних, при оптимізації параметрів процесу їх значення відповідають довідковим. Досвід показує також, що при активному експерименті, задовільні результати можна отримати при зміні змінних на 5-ти рівнях та п'яти – шести точках на одну змінну.

У разі, коли вид функції і структура невідомі, то, при моделюванні з допомогою МГОА задаються класом функції, тобто масштабним простором. При моделюванні процесів різання найкращим і результатам за точністю опису та фізичною інтерпретацією можуть бути отримані, якщо при виборі масштабного простору враховувати клас функцій, прийнятих для опису аналізованих процесів.

Для опису результатів експериментальних досліджень у різанні металів найбільш поширеним класом 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, які визначають процес різання, пов'язаних зі станом та конструкцій інструменту, верстата, матеріалу на характеристики процесів різання невідомі і не використовувалися. 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, що досліджуються, вводяться в просторі  $\ln_{0y}$ , тобто:  $\vec{X}, 1/\vec{X}, \sqrt{\vec{X}}, \ln\vec{X}, 1/\ln\vec{X}, \sqrt{\ln\vec{X}}$ . Вихідні параметри, які досліджуються, вводяться в просторі  $\ln_{0y}$ , 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  $F \left( \vec{X}, 1/\vec{X}, \sqrt{\vec{X}}, \ln\vec{X}, 1/\ln\vec{X}, \sqrt{\ln\vec{X}}, \vec{\theta} \right)$  – 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 імітаційних моделей, здатних відображати фізичну сутність досліджуваних процесів, є формування безлічі "приватних" описів кожного ряду селекції алгоритму.

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

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

Зупинення селекції здійснюється за мінімум цієї помилки.

З  $P$  обраних за критерієм мінімуму усунення рішень один, із найменшим значенням, входить кожному ряду селекції у структурі моделі. У кожний наступний ряд селекції переходять як "узагальнена" змінна всі  $U$  "перспективних" рішень.

Незалежно, яке з "перспективних" рішень обрано до структури моделі, всі перспективні рішення виводиться на друк. Це забезпечує на етапі 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 формулюється 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.