

УДК 355.34

В.В. Довбня<sup>1</sup>, К.О. Афанасьєва<sup>2</sup><sup>1</sup>Штаб Головного управління Внутрішніх військ МВС України, Київ<sup>2</sup>Харківський коледж Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

## УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ НАВЕДЕННЯ І СТАБІЛІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО ОЗБРОЄННЯ БОЙОВИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ СИНТЕЗУ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ

*Доведено, що використання нейромережевої системи управління для рішення завдання керування системою наведення й стабілізації озброєння бойових гусеничних машин при русі машин по пересіченій місцевості є актуальним, наведені шляхи удосконалення управління наведення і стабілізації головного озброєння.*

**Ключові слова:** гусенична машина, синтез, нейромережева система.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Останніми роками на ринку військової техніки разом із створенням нових бойових гусеничних машин (БГМ) все актуальнішою стає тенденція до модернізації виробів, раніше прийнятих на озброєння. Ці машини вітчизняного виробництва мають високі тактико-технічні характеристики і можуть успішно конкурувати із зарубіжною військовою технікою. такий підхід породжує наукову проблему створення концепції забезпечення високого рівня бойових властивостей при мінімізації витрат на його підтримку.

Підвищення боєздатності озброєних підрозділів, до складу яких входять вищезгадані БГМ, може бути досягнуте за рахунок модернізації озброєння, силової установки, трансмісії, ходової частини, дооснащення озброєння системами автоматизованого управління наведенням і стабілізацією [6, 7].

При цьому вартість модернізації існуючих танків значно нижча за вартість нових. Модернізація озброєння і систем управління вогнем є одним з найбільш важливих завдань в області підвищення тактико-технічних характеристик БГМ. Вимоги, що все підвищуються, до тактико-технічних характеристик і якості систем управління наведенням і стабілізацією озброєння примушують шукати нові шляхи вдосконалення автоматичних систем БГМ.

У результаті інтенсивних досліджень, проведених в останні десятиліття, широке застосування одержали методи адаптивного й робосного регулювання [3, 4]. Зокрема, їм постає наукова задача по застосуванню штучних нейронних мереж (ШНМ) для цілей управління.

Нейромережеве управління засноване на застосуванні повністю конкретних ШНМ для вироблення необхідних сигналів управління [2].

Штучні нейронні мережі [1] виникли на основі знань про функціонування нервової мережі живих істот. Вони є спробою використання процесів, що відбуваються в нервових системах, для вироблення нових технологічних рішень. Нервова клітина, скорочено звана нейроном, є основним елементом нервової мережі. Вивчення механізмів функціонування окремих нейронів і їх взаємодії принципово важливе для пізнання процесів пошуку, передачі і обробки інформації, що протікають в нервовій системі. Як і біля будь-якої іншої клітки, біля нейрона є тіло із стандартним набором органелл, зване сомою, усередині якого розташовується ядро. З соми нейрона виходять чисельні відростки, що грають ключову роль в його взаємодії з іншими нервовими клітинами. Можна виділити два типи відростків: чисельні тонкі, що густо гілкуються дендрити, і товщий аксон, що розщеплюється на кінці.

## Основна частина

Вхідні сигнали поступають в клітку через синапси, тоді як вихідний сигнал відводиться аксоном через його чисельні нервові закінчення, звані колатералами. Колатерали контактують з сомою і дендритами інших нейронів, утворюючи чергові синапси. Очевидно, що синапси, які підключають до клітки виходи інших нейронів, можуть знаходитися як на дендритах, так і безпосередньо на тілі клітки.

Передача сигналів усередині нервової мережі - це дуже складний електрохімічний процес. З великим спрощенням можна вважати, що передача нервового імпульсу між двома клітками заснована на виділенні особливих хімічних субстанцій, званих нейромедіаторами, які формуються під впливом подразників, що поступають від синапсів. Ці субстанції впливають на клітинну мембрану, викликаючи зміну її енергетичної потенціалу, причому величина цієї зміни пропорційна кількості нейромедіатора, що потрапляє на мембрану. Синапси відрізняються один від одного розмірами і можливостями концентрації нейромедіатора поблизу своєї оболонки. З цієї причини імпульси однакової величини, що поступають на входи нервової клітини через розрізні синапси, можуть порушувати її різною мірою. За міру збудження клітки вважається рівень поляризації її мембрани, залежний від сумарно кількості нейромедіатора, виділеного на всіх синапсах.

Кількість нервових клітин, що взаємодіють один з одним, надзвичайно велика. Вважається, що людський мозок містить біля нейронів, кожен з яких виконує відносно примітивні функції підсумовування вагових коефіцієнтів вхідних сигналів і порівняння отриманої суми з пороговим значенням. Кожен нейрон має свої ваги і своє порогове значення. Вони визначаються місцезнаходженням нейрона і вирішуваним ним завданням і можуть інтерпретуватися аналогічно вмісту локальної пам'яті процесора.

Величезна кількість нейронів і міжнейронних зв'язків (до 1000 входів в кожен нейрон) приводить до того, що помилка в спрацьовуванні окремого нейрона залишається непомітною в спільній масі взаємодіючих кліток. Нейронна мережа проявляє високу стійкість до перешкод - це "стабільна" мережа, в якій окремі збої не роблять істотного впливу на результати її функціонування [1, 2]. Таке головна відзнака нейронних систем від звичайних електронних систем, створених людиною. Слід підкреслити, що жодна сучасна технологія не дозволяє побудувати штучну нейронну мережу, близьку по масштабах до нейронної мережі мозку. Проте вивчення і копіювання біологічних нервових систем дозволяють сподіватися на створення нового покоління електронних пристроїв, що мають аналогічні характеристики.

З приведених вище міркувань виходить, що кожен нейрон можна вважати за своєрідний процесор: він підсумовує з відповідними вагами сигнали, що приходять від інших нейронів, виконує нелінійну (наприклад, порогову) вирішальну функцію і передає ре-

зультуюче значення пов'язаним з ним нейронам. Відповідно до правила, що діє, "все або нічого" простих моделях нейронів вихідний сигнал набуває двійкових значень: 0 або 1. Значення 1 відповідає перевищенню порогу збудження нейрона, а значення 0 - збудженню нижче порогового рівня. У одній з перших моделей нейрона, званою моделлю МакКаллока-Пітса (запропонованою в 1943 р.), нейрон вважається за бінарний елемент. Модель МакКаллока-Пітса - це дискретна модель, в якій стан нейрона в кожному момент розраховується по значеннях його вхідних сигналів в попередній момент. Побудова дискретної моделі обґрунтовується проявом рефракції у біологічних нейронів, що приводить до того, що нейрон може змінювати свій стан з кінцевою частотою, причому тривалість періодів бездіяльності залежить від частоти його спрацьовування. Через декілька років Д. Хебб в процесі дослідження асоціативної пам'яті запропонував теорію навчання нейронів. При цьому він використовував спостереження, що ваги межнейронних з'єднань при активації нейронів можуть зростати.

На початку 60-х років Б. Відроу запропонував теоретичне обґрунтування і сформулював принципи практичної реалізації адаптивних пристроїв обробки сигналів, що стало істотним вкладом в розвиток нейронних мереж, що функціонують в режимах "онлайн" і "оффлайн" [2].

У 1962 р. була опублікована книга Ф. Розенблатта, в якій представлена теорія динамічних нейронних систем для моделювання мозкової діяльності, заснована на перцептронній моделі нервової клітини. У цій теорії використовувалося представлення нейрона моделлю МакКаллока-Пітса, в якій функція активації набувала двійкових значень 0 і 1.

Обмежені можливості одиночного перцептрона і однорівневих мереж, що складаються з таких елементів піддалися критиці в книзі М. Мінського і С. Пейперта, що викликало різке зниження фінансування цієї сфери наукових досліджень і привело в результаті до уповільнення розвитку штучних нейронних мереж. Тільки окремі наукові групи, сконцентровані навколо таких учених, як Гроссберг, Відроу, фон дер Мальсбург, Амарі, Фукушіма і Кохонен, продовжували роботу в цій області. І лише бурхливий розвиток в 80-х роках технології виробництва напівпровідникових пристроїв надвисокого ступеня інтеграції привів до різкого зростання інтересу до засобів паралельної обробки інформації, за яких вважаються і штучні нейронні мережі. Починаючи з опублікованих в 1982 р. робіт Дж. Хопфілда, теорія нейронних мереж розвивається в стрімкому темпі, а кількість наукових центрів, що займаються цією міждисциплінарною сферою знань, безперервно збільшується. Доопрацювання або, точніше, повторне відкриття принципу зворотного розповсюдження в застосуванні до навчання багатосарових мереж зняли ті обмеження, які стали головним об'єктом критики в книзі М. Мінського і С. Пейперта. Масштабне збільшення фінансування цієї наукової галузі зумовило істотний прогрес як в теорії, так

і в практичних застосуваннях. В даний час штучні нейронні мережі є високорозвиненою (особливо в теоретичному аспекті) галуззю знань.

Об'єднані між собою нейрони утворюють систему, яка надалі називатиметься штучною нейронною мережею. Залежно від способу об'єднання нейронів вони можуть бути мережами однонаправленими або рекурентними (із зворотним зв'язком).

Будь-яка нейронна мережа використовується як самостійна система представлення знань, яка в практичних застосуваннях виступає, як правило, як один з компонентів мережі управління або модуля ухвалення рішень, що передають результуючий сигнал на інші елементи, не пов'язані безпосередньо з штучною нейронною мережею. Виконувати мережею функції можна розподілити на декілька основних груп: апроксимації і інтерполяції; розпізнавання і класифікації образів; стискування даних; прогнозування; ідентифікації; управління; асоціації.

Важлива властивість нейронних мереж, що свідчить про їх величезний потенціал і широкі прикладні можливості, полягає в паралельній обробці інформації одночасно всіма нейронами. Завдяки цій здатності при великій кількості міжнейронних зв'язків досягається значне прискорення процесу обробки інформації. У багатьох ситуаціях стає можливою обробка сигналів в реальному масштабі часу.

Дуже велика кількість міжнейронних з'єднань приводить до того, що мережа стає нечутливою до помилок, що виникають в окремих контактах. Функції пошкоджених з'єднань приймають на себе інші елементи, в результаті в діяльності мережі не спостерігаються помітні порушення. Ця властивість використовується, зокрема, при пошуку оптимальної архітектури нейронної мережі шляхом розриву окремих зв'язків.

Інша не менш важлива властивість нейронної мережі полягає в здібності до навчання і до узагальнення отриманих знань. Мережа володіє рисами так званого штучного інтелекту. Натренована на обмеженій безлічі повчальних вибірок, вона узагальнює накопичену інформацію і виробляє очікувану реакцію стосовно даних, що не оброблялися в процесі навчання. Не дивлячись на значну кількість вже відомих практичних додатків штучних нейронних мереж, можливості їх подальшого використання для обробки сигналів не вичені остаточно, і можна висловити припущення, що нейронні мережі ще в перебіг багатьох років будуть засобом розвитку інформаційної техніки. Серед різних відомих видів ШНМ найбільший інтерес викликає однонаправлена — багат шарова мережа, що складається з нейронів сигмоїдального типу, найкоректніше звана багат шаровим перцептроном (MLP – Multi Layer Perceptron). Передача сигналів в таких мережах відбувається тільки в одному напрямі від входу до виходу. Їх математичний опис відносно простий і прозорий, а результат може бути виражений у вигляді точної функціональної алгебраїчної залежності. Методи навчання подібних мереж також достатньо прості і ма-

ють нескладну практичну реалізацію. Всі подальші виклади відносяться до мереж саме такого типу.

В даний час одним з найбільш ефективних для навчання багат шарової мережі вважається алгоритм зворотного розповсюдження помилки. Цей алгоритм визначає стратегію підбору вагів багат шарової мережі із застосуванням градієнтних методів оптимізації. Його основу складає цільова функція, що формулюється, як правило, у вигляді квадратичної суми різниць між фактичними і очікуваними значеннями вихідних сигналів. Для спрощення можна вважати, що мета навчання полягає в такому визначенні значень вагів нейронів кожного шару мережі, щоб при заданому вхідному векторі набути на виході значень сигналів, співпадаючих з необхідною точністю з очікуваними значеннями.

Нейромережеві технології управління дозволяють здолати багато складнощів, що виникають при роботі з нелінійними об'єктами або з об'єктами невідомої структури і нерозв'язний за допомогою звичайних методів адаптивного управління. Здатність ШНМ реалізовувати складні нелінійні відображення обумовлена застосуванням сигмоїдальних функцій активації (або деяких нелінійних функцій спільного вигляду) для нейронів в прихованих шарах.

Здібність ШНМ до самонавчання дозволяє використовувати нейрорегулятори навіть в умовах істотних невизначеностей, тоді як для реалізації традиційних методів адаптивного управління необхідною умовою є наявність великого об'єму апріорної інформації про об'єкт управління.

Оптимальним є синтез нейромережевої мережі стабілізації озброєння бойових гусеничних машин при русі машини по перетнутій місцевості, що має високі динамічні характеристики. При цьому початковий об'єкт управління характеризується наявністю в нім пружних елементів, нелінійних характеристик тертя, зазорів в кінематичних ланцюгах Система має бути нечутливою по відношенню до збуджуючої дії і зміни параметрів, і забезпечити високоякісне регулювання з урахуванням неконтрольованих шумів виміру регульованих координат.

При модернізації бойових машин в цілях підвищення ефективності ведення вогню основна увага приділяється системі управління вогнем (СУВ). Найбільш ефективним напрямом при модернізації систем управління вогнем є впровадження мережі стабілізації основного і допоміжного озброєння (МСДО).

В даний час широко використовуються двоканальні мережі стабілізації озброєння. Бойовий модуль (БМ) таких систем встановлюється на корпусі бронемашин за допомогою погонної шестерні, щодо осі, якою він повертається в горизонтальній плоскості, а блок озброєння (БО) кріпиться на бойовому модулі за допомогою цапф, щодо осі, яких він повертається у вертикальній плоскості.

Така побудова забезпечує стабілізацію і стабілізоване наведення засобів ведення вогню в горизонтальній і вертикальній плоскості, створюючи умо-

ви для ведення бойових дій з місця і з ходу по наземних і повітряних цілях.

Як правило, використовувані мережі стабілізації озброєння, містять блок управління, в якому формування значення напруги, що поступає на приводний двигун виконавчого пристрою стабілізації, здійснюється аналоговим обчислювачем, побудованим на базі операційних підсилювачів.

Такі обчислювальні засоби не можуть забезпечувати потрібних для ефективного ведення вогню значень помилки стабілізації, діапазону регулювання швидкості, не плавності наведення.

Розвиток мікропроцесорної техніки і теорії цифрових систем управління створив необхідні умови для успішного вирішення поставлених завдань, шляхом заміни аналогових обчислювальних засобів цифровими. При використанні цифрових методів обчислення сигналу управління за допомогою цифрового обчислювача з'являється принципова можливість швидкої і легкої зміни структури і параметрів алгоритмів управління як в процесі проектування або модернізації, так і в процесі бойової роботи; можливість автоматизації процесу налаштування мережі; застосування сучасних алгоритмів управління.

За останні десятиліття запропоновано багато методів адаптивного управління [5]. Це стало можливим в значній мірі завдяки досягненням сучасної теорії управління і теорії стійкості. Здатність автоматично адаптуватися до змін динаміки об'єкту управління і зовнішньої середовища зробила адаптивні САУ все більш привабливими для різних практичних застосувань. Проте ефективність створюваних систем управління реальними об'єктами значною мірою залежить від якості використовуваних при цьому математичних моделей, які, з одного боку, повинні якнайповніше відображати властивості досліджуваного об'єкту, а з іншої - бути зручними для реалізації алгоритмів управління. Відсутність достатньо повної інформації про умови функціонування, властивостях самих об'єктів і перешкод зумовлюють необхідність застосування при управлінні ними адаптивного підходу, що допускає можливість використання спрощених, зокрема, лінійних моделей. Хоча такий підхід і дозволяє у ряді випадків істотно зменшити апріорну невідповідність і реалізувати достатньо ефективне управління,

обмеження лінійними моделями не завжди забезпечує отримання необхідного результату. Тому ефективною є розробка систем управління на основі адаптивного підходу у поєднанні з методами теорії штучних нейронних мереж.

## Висновок

Стабілізатори озброєння є складними багатоконтурними системами [6], які повинні забезпечувати необхідні показники якості, такі як точність стабілізації, неплівність наведення, необхідний діапазон регулювання швидкості та ін. При рішенні задачі синтезу алгоритмів управління, що забезпечують необхідні показники якості, необхідно мати в своєму розпорядженні рівняння основних елементів стабілізатора озброєння і, перш за все, рівняння його виконавчих і вимірювальних пристроїв. Синтез нейромережевої системи управління проводився за допомогою оператора Neural Network Toolbox пакета прикладних програм MATLAB.

Відповідно до вищесказаного, використання нейромережевої системи управління для рішення завдання керування системою наведення й стабілізації озброєння бойових гусеничних машин при русі машин по пересіченій місцевості є актуальним.

## Список літератури

1. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин І.Ю. *Нейросетевые системы управления*. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.
2. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации*. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
3. Круглов В.В., Борисов В.В., Штучні нейронні мережі. *Теорія і практика*. – М.: Гаряча лінія – Телеком, 2001. – 382 с.
4. Nelles O. *Nonlinear system identification*. - Berlin: Springer – Verlag, 2000. – 785 p.
5. Александров С.С., Козлов Е.П., Кузнецов Б.І. *Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами*. – Х.: НТУ «ХП», 2002. – 490 с.
6. Степанов А., Уланов Р. *Тяжелые боевые машины пехоты // Техника и вооружение: вчера, сегодня, завтра*. – № 5. – 2004. – С. 24-27.

Надійшла до редколегії 12.09.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Кириченко, Академія Внутрішніх військ МВС України, Харків.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАВЕДЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ ГЛАВНОГО ВООРУЖЕНИЯ БОЕВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕЗА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Довбня, Е.А. Афанасьева

*Доказано, что использование нейросетевой системы управления для решения задания управления системой наведения и стабилизации вооружения боевых гусеничных машин при движении машин по пересеченной местности является актуальным, приведены пути усовершенствования управления наведения и стабилизации главного вооружения.*

**Ключевые слова:** гусеничная машина, синтез, нейросетевая система.

## IMPROVEMENT OF MANAGEMENT OF AIMING AND STABILIZING OF MAIN ARMAMENT OF FIGHTING CATERPILLAR MACHINES WITH THE USE OF SYNTHESIS OF THE NEURONETICAL SYSTEM

V.V. Dovbnya, E.A. Afanas'eva

*It is proved that the use of the neuronetical control system for the decision of task of management the system of aiming and stabilizing of armament of fighting caterpillar machines at motion of machines on a cross-country is actual, the ways of improvement of management of aiming and stabilizing of main armament are resulted.*

**Keywords:** caterpillar machine, synthesis, neuronetical system.