

УДК 681.3: 004.832

В.М. ЛОКАЗЮК, Є.Й. КОТЛЯР

*Хмельницький національний університет, Україна***МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ВЗУТТЯ**

В статті розглянуто математичні моделі підтримки прийняття рішень процесу забезпечення виробництва взуття та підвищення його ефективності на основі запропонованих моделей.

**підтримка прийняття рішень, математичні моделі, задача підтримки прийняття рішення, штучна нейронна мережа, інтелектуальна модель, видавання рекомендацій**

**Вступ**

Сучасний виробничий процес забезпечення організації виготовлення та збуту взуття є досить складним процесом. Він, як правило, потребує інформаційної підтримки для підвищення його ефективності. Вона має бути напрямлена на знаходження оптимального рішення в сучасних умовах ринкових відносин. До такого рішення відносяться наступні основні задачі: 1) формування пакету замовлень згідно із запланованим об'ємом та номенклатурою взуття, що має бути виготовленим (при цьому має бути розрахована окупність); 2) підтримка прийняття рішення щодо комплектації виробів сировиною та іншими матеріалами (тобто, яка сировина, у якій кількості і де вона має бути придбана). При цьому мають бути враховані характеристики, що пов'язані з місцем придбання сировини, а саме репутація фірм, у яких має бути придбана сировина, надійність постачальників матеріалів, з котрих виготовляється виріб, відповідність якості матеріалів задекларованим характеристикам, ціна сировини, можливості авансу для виробника постачальником комплектуючих продукції, відстань до постачальників та інші характеристики.

Помилки у врахуванні показників, що відповідають цим характеристикам, призводять до серйозних негативних наслідків, у тому числі і до банкрутства фірми. Так, в Україні збанкрутували більшість фірм,

що займались виробництвом взуття, за таких причин: відсутність ринку збуту та нових видів продукції, невідповідність чисельності робітників і управлінського персоналу до об'ємів продукції, що виготовлялась і реалізовувалась; збільшення вартості продукції; невідповідність продукції, що реалізовувалась, витратам підприємства; невідповідність основних постійних витрат (утримання споруд та обладнання – виробничі, енергопостачання) об'ємам, якості продукції, що виготовлялась, та вимогам ринків збуту; невідповідність продукції вимогам сучасності та інше. 1-ша, 4-та, 6-та Київські взуттєві фабрики збанкрутували за зазначених вище причин, а також за причини місцезнаходження підприємств, неконкурентноздатної ціни на продукцію та інших факторів.

Суть інформаційної підтримки прийняття рішень процесу виробництва взуття полягає у розробленні певної системи основних ідей інформаційної підтримки. Її складовою є способи (методи) інформаційної підтримки прийняття рішень щодо забезпечення ефективності виробництва взуття, а мета де-що збігається із задачами, які вирішують системи передбачення прибутку і потреб у персоналі. Але це набагато вужча задача, ніж ті, що становлять суть технології інформаційної підтримки.

Як приклад у табл. 1 [1, 2] представлені відповідні експертні дослідження характеристик і параметрів процесу забезпечення виробництва взуття ВАТ «Взуттекс» (м. Хмельницький)

Таблиця 1

## Експертні оцінки постачальників комплектуючих для ВАТ «Взуттекс» (м. Хмельницький)

Підприємства-постачальники	Експертна оцінка якості комплектуючих	Експертна оцінка ціни комплектуючих	Експертна оцінка надійності постачальників	Відстань від ВАТ «Взуттекс» до постачальника і назад (км)	Експертна оцінка можливості авансу для ВАТ «Взуттекс» постачальником комплектуючих
1	2	3	4	5	6
Шкіра					
ЗАТ «Чинбар»	4	4	5	700	5
ТОВ «Лайк»	4	4	2	700	4
ТОВ «Укркожінвест»	4	4	2	700	5
СП «Ашона інтернейшл» Індія	5	5	1	700	2
ВАТ «Шкір-Кон» м. Донецьк	5	1	5	2300	1
ПП «Куцак» м. Бердичів	2	2	4	320	1
Підшва					
ВАТ «Вулкан-Провекс» м. Київ	5	3	5	700	4
ТОВ «Імекс» м. Київ	5	5	5	700	5
Компанія ЛКК м. Київ	5	4	5	700	2
«Валтекс» Київська обл.	1	5	4	650	1
ТОВ «Неланд» Київська обл.	5	5	3	600	3
Клей					
ТОВ «Імекс» м. Київ	5	5	5	700	5
ТОВ «Нова-Родина» м. Львів	5	5	5	500	1
ПП «Гаврусь» м. Львів	5	4	5	500	3
ТОВ «Мадекоп» м. Львів	5	5	3	500	1
Цвяхи					
ЗАТ «Текс Темп» Монополіст	5	1	4	700	1
Нитки					
ТОВ «Галант» м. Київ	4	5	5	700	5
ТОВ «Легпромсервіс» м. Київ	5	3	3	700	1
Задник					
ПП «Колодка»	5	5	5	300*	5
ТОВ «ЛКК» м. Київ	4	3	5	700	1
Устілка					
ЗАТ «Чинбар»	3	3	5	700	5

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
ТОВ «Слава» м. Васильків	5	5	5	700	5
Тара Гофроскриньки					
ТОВ «Грос»	3	5	5	0	3
Устілка і Голенок					
ПП «Осика»	5	5	5	0	5
Шнурки					
ПП «Марценюк»	5	3	5	0	5
ПП «Беляєв», м. Харків	5	5	5	0*	5
Тканина					
ТОВ «Мануфактура»	5	5	5	0	5
Голки, запчастини, машини					
ТОВ «Укртяжмашсервіс», м. Київ	5	3	4	700	1
ІВ КП «Навігатор» м. Харків	5	5	4	0*	1

Примітка: \* - доставка на підприємство. Експертні оцінки проводяться за п'ятибальною системою.

На сьогодні більшість технічних та технологічних рішень не приймається без застосування комп'ютерного аналізу. У його основі підприємства застосовують персональні комп'ютери чи розподілені комп'ютерні системи, котрі дозволяють здійснити швидкий доступ до інформації, що знаходиться на різних підприємствах та на різних носіях. Це дає також можливість об'єднувати повні інформаційні системи між собою. Саме так реалізується комп'ютерна підтримка прийняття рішень.

### Загальна постановка задачі

Прийняття рішення. Прийняття рішення людиною-фахівцем передбачає вибір, так званого, «правильного» рішення. Це означає, що принаймні особа, що приймає рішення, (ОПР) буде впевнена в тому, що вибір згаданої альтернативи з числа можливих буде сприяти досягненню мети (розв'язку задачі). При виборі альтернатив слід враховувати суперечливість вимог, неоднозначність оцінки ситуацій, помилки пріоритетів, невизначеності, котрі ускладнюють прийняття рішень. Тобто, слід оцінювати варіанти рішень у більшості випадків за багатьма критеріями.

Практичний досвід дозволяє виділити три основні вимоги для якісного прийняття і виконання рішень:

- 1) наявність декількох альтернатив – альтернативність;
- 2) наявність декількох критеріїв – багатокритеріальність;
- 3) облік думок альтернатив чи експертів.

Загальна постановка задачі прийняття рішень, що передбачає задачу вибору з деякої кількості формується таким чином [3]. Нехай  $X$  – множина альтернатив;  $Y$  – множина можливих наслідків (результатів); де  $X$  і  $Y$  – взагалі довільні абстрактні множини. Припускається існування причинного зв'язку між вибором певної альтернативи  $x_i \in X$  і настанням відповідного наслідку  $y_j \in Y$ . При цьому припускається наявність механізму оцінки якості такого вибору, котрим звичайно виступає якість наслідку. Для спрощення задачі прийняття рішення в основному припускають, що є можливість оцінювати якість альтернативи  $x_i$ , і певна множина наслідків по суті випадає з розгляду.

Прийняття рішення може бути проілюстровано рисунком 1.

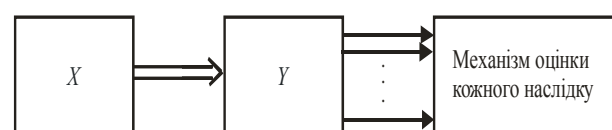


Рис. 1. Задача прийняття рішення

Аналіз задачі прийняття рішень в основному полягає у визначенні характеру зв'язку альтернатив з наслідками.

Генерація варіантів рішень розподіляється у процесі прийняття рішень на три основні етапи:

- 1) пошуку інформації;
- 2) знаходження альтернатив;
- 3) вибору кращої альтернативи.

Опис функцій прийняття рішень та класифікація рішень може передбачати і такі рішення [3]:

- задавання інформації про задачу;
- побудова множини оптимальних варіантів у відповідності із застосованим методом;
- реалізація методу обмежень, котрий дозволяє користувачу обрати одну альтернативу з оптимальної множини;
- введення з бази даних;
- введення даних з текстового файлу;
- перевірка коректності ординарної інформації;
- складання звіту.

Виділимо основні етапи процесу виробництва взуття:

- вивчення ринку та потреб населення;
- прийняття рішення про необхідність розроблення нової моделі взуття;
- розроблення ескізних варіантів нових моделей взуття та вибір однієї з них для впровадження у виробництво;
- розроблення технологічного процесу виготовлення моделі взуття;
- виготовлення дослідних зразків взуття та оцінка їх вартості;
- пошук постачальників комплектуючих для розробленої моделі взуття;
- впровадження у масове виробництво розробленої моделі взуття;
- організація реалізації виготовленої продукції;
- моніторинг результатів реалізації партій взуття.

Кожен з вказаних етапів вимагає кількісних та якісних оцінок можливих варіантів його реалізації та прийняття рішення про ефект варіантів.

## Постановка задачі

Підтримка прийняття рішень (ППР) надає допомогу ОПР на основі використання даних і моделей. Системи підтримки прийняття рішень (СППР) призначені для допомоги в прийнятті рішень при розв'язанні неструктурованих та слабкоструктурованих задач, використовуючи при цьому дані та моделі. Головною метою СППР при цьому має бути підвищення ефективності рішень. Для розроблення ефективної системи ППР необхідно мати у розпорядженні ряд основних компонентів, серед яких, в першу чергу, набір функційних блоків моделювання і відповідних моделей, що будуть покладені в основу згаданих блоків.

При добиранні методів підвищення ефективності ППР основну увагу на сьогодні приділяють аналітичним моделям та моделям, побудованим на основі математичного програмування, при цьому мало уваги приділяється моделям, що ґрунтуються на базі штучного інтелекту. А у зв'язку з інтелектуалізацією організації процесу виробництва взуття варто було б для ППР застосувати нові інтелектуальні моделі для підвищення його ефективності. Тим більше, що задачі, котрі необхідно розв'язувати при підвищенні ефективності виробництва взуття шляхом підтримки прийняття рішень, є в більшості своїй неформалізованими та слабоформалізованими.

Враховуючи вищезгадане, для підвищення ефективності ППР необхідно розробити відповідні моделі (аналітичні, алгоритмічні та ін.), у тому числі, і моделі, що ґрунтуються на теорії штучного інтелекту, і порівняти їх властивості для остаточного вибору.

Метою даної статті є розроблення аналітичної та нейромережної моделей підвищення ефективності ППР процесу виробництва взуття. Об'єктом дослідження є процес ППР у залученні ресурсів для виробництва взуття.

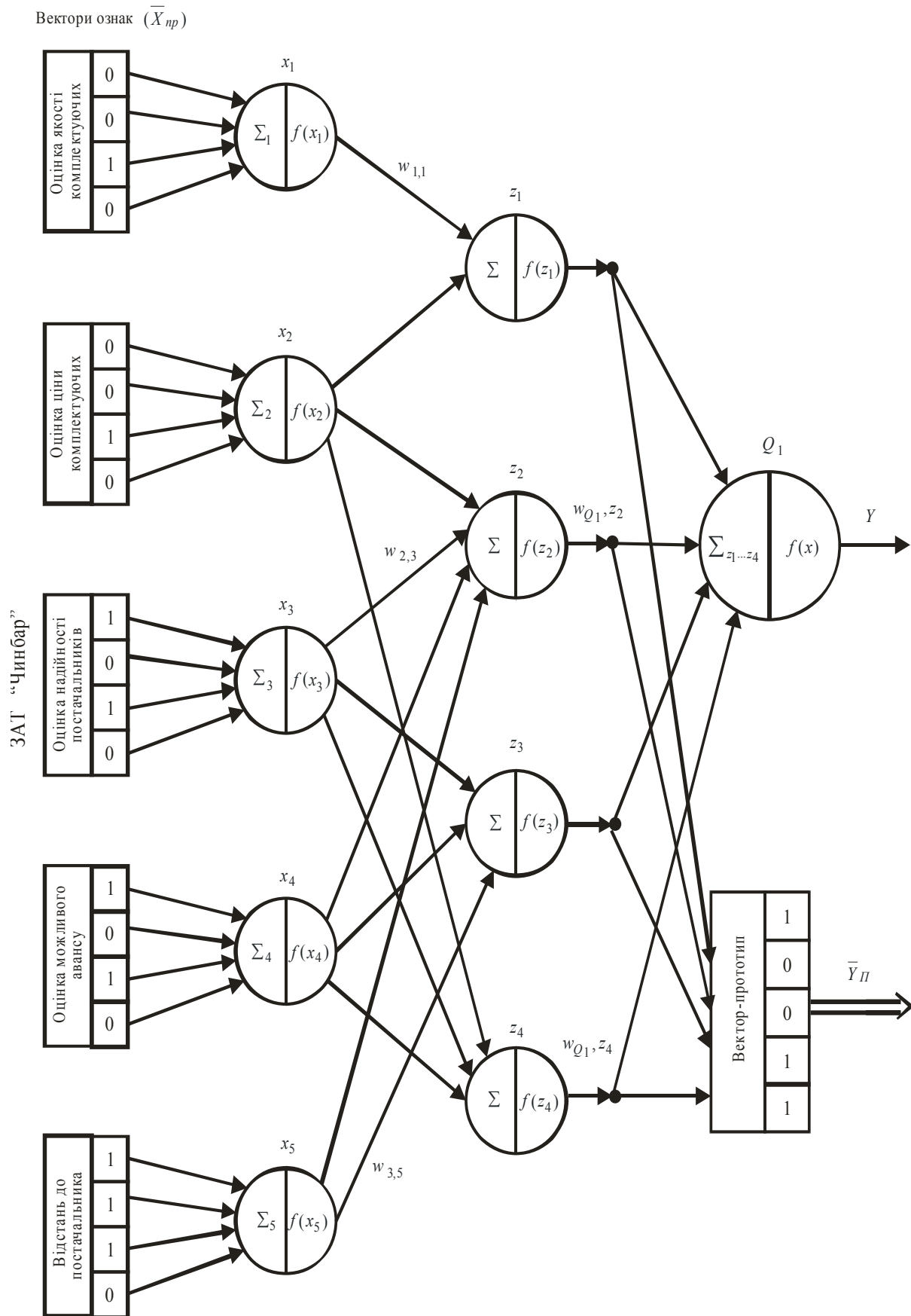


Рис. 2. Прямо напрямлений тришаровий неповнозв'язний перцептрон, що визначає ефективність постачальника ЗАТ «Чинбар» для забезпечення виробництва взуття підприємством ВАТ «Взуттекс»

Щодо формування векторів ознак, то в літературі відомий, так званий, алгоритм кластеризації [4]. Це метод, завдяки котрому дані розподіляються і об'єднуються в невеликі групи (кластери) за принципом аналогії. За цим же принципом здійснюється відділення несхожих даних. Головна задача кластеризації – класифікація, яка, в свою чергу, використовується для вивчення даних у кластерах з метою виявлення відмінностей між ними. В кластери об'єднуються нові поняття з вже існуючими знаннями, а також створюються нові кластери для засвоєння абсолютно нової інформації, де нові дані класифікують так, що не знищуються вже вивчені.

Вектор ознак є групою значень у двійковому коді, яка представляє собою певний тип інформації і описується відповідними параметрами.

Він описує у нашому випадку експертні характеристики і параметри процесу забезпечення виробництва взуття (Ват «Взуттекс»). До них застосовуються алгоритми ART1, щоб розділити дані на кластери. Центром кластера є група ініціалізованих векторів-прототипів. Результатом використання алгоритму є групування даних в кластери для моделі видавання рекомендацій.

Підвищення ефективності алгоритму ART1 видавання рекомендацій для забезпечення виробництва взуття здійснюється шляхом зміни трьох параметрів: максимально допустимої кількості кластерів, яка повинна бути досить великою, щоб алгоритм за необхідності міг створити достатню кількість нових кластерів; бета-параметр та параметр уважності, що визначає кількість рекомендацій, котрі можуть бути зроблені. Бета-параметр обирає прототипи, в котрих значень "1" більше при умові, що всі значення "1" у векторі-прототипі присутні також і у векторі ознак, що тестується.

Одним з основних обмежень моделей видавання рекомендацій (ППР) є уникнення симетричності векторів ознак, що одночасно подаються на нейрони вхідного шару мережі, тому що це може призвести до взаємного знищення вхідної інформації.

Генерація варіантів рішень в ШНМ здійснюється наступним чином. Сформовані згідно зазначеної вище методики вектори ознак подаються на нейрони вхідного шару ШНМ ART1. На їх виходах обчислюються числові функції від входів. Далі вони подаються на нейрони прихованого (апроксимаційного) шару, і на їх виходах обчислюються числові функції, що є результатом роботи складової ART1 загальної мережі. Далі результати обчислень ART1 подаються на перцептрон Розенблатта, і на його виході обчислюється вихідна цільова функція. Вона використовується для обчислення ефективності запропонованого варіанту рішення. Найбільша ефективність – коли  $Y \rightarrow \infty$ . Результати обчислень складової ART1 загальної мережі можуть бути представлені як вектор-прототип. Його значення формуються на основі умов: якщо  $f(z_i) > 1$ , то  $i$ -й розряд вектора-прототипу встановлюється в "1", інакше – в "0".

Правильність рекомендацій залежить від величини кластерів. Вони не повинні бути дуже великими, тому що вектори ознак в одному класі будуть розрізнятися. Те ж стосується і дуже малих кластерів, тому що в них буде недостатня кількість векторів ознак, щоб були правильні відповідності.

Типи векторів-прототипів зручно використовувати для навчання ШНМ. З літературних джерел [4] відомо, що для навчання ШНМ типу ART1 використовується метод «резонансу». А для навчання загальної мережі використовується метод зворотного поширення помилки.

Для оцінювання ефективності нейромережної моделі та відповідного рішення оптимізаційних задач введено комплексний показник [5, 6]:

$$\Phi = \langle \Phi_W, \Phi_T, \Phi_R \rangle,$$

де  $\Phi_W$  - частковий показник, що характеризує результативність нейромережного рішення;  $\Phi_T$  - оперативність одержання шуканого рішення;  $\Phi_R$  - ресурсомність чи структурна складність нейромережі.

### Мінімізація загальної вартості моделі взуття

Змодельовано мінімізацію вартості певної моделі взуття, як основної складової підвищення ефективності технології ППР виробництва взуття, аналітичною моделлю.

Задачу мінімізації загальної вартості  $j$ -ї моделі взуття виду  $i$  з врахуванням розподілу ресурсів підприємства представимо як задачу знаходження мінімуму функції

$$C(m_{ij}) + Z(m_{ij}) \rightarrow \min$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} V_{i\delta}(m_{ij}) > V_{\min}(M_i), P(M_i) < \\ < P_{\max}(M_i), \bar{I}(M_i) > \bar{I}_{\min}(M_i); \\ B(m_{ij}) > B_{\min}(M_i), C(m_{ij}) < \\ < C_{\max}(M_i), Z_{i\delta}(m_{ij}) < Z_{\max}(M_i), \end{aligned}$$

де  $M_i$  – вид взуття (зимові чоловічі черевики, жіночі туфлі);  $i = \overline{1, n}$  – кількість видів взуття;  $m_{ij}$  –  $j$ -та модель взуття виду  $i$ ;  $j = \overline{1, k}$  – кількість варіантів моделей взуття окремого виду;  $C(m_{ij})$  – собівартість моделі  $m_{ij}$ ;  $Z_{np}(m_{ij})$  – прогнозовані збитки для моделі  $m_{ij}$  (брак, залишки);  $C_{\max}(M_i)$  – максимально допустима собівартість моделі  $m_{ij}$  з врахуванням розподілу ресурсів підприємства (наявність обладнання, кваліфікованого персоналу, мережі для реалізації моделі  $m_{ij}$ );  $Z_{\max}(M_i)$  – максимально допустимі збитки для  $M_i$ ;  $V_{np}(m_{ij})$  – прогнозований попит (об'єм реалізації) на модель  $m_{ij}$  з врахуванням сезонності;  $V_{\min}(M_i)$  – мінімально допустимий об'єм реалізації взуття виду  $M_i$ ;  $P(M_i)$  – імовірність заповнення ринку взуттям виду  $M_i$ ;  $P_{\max}(M_i)$  – максимально допустима імовірність заповнення ринку взуттям цього виду без ризику втрати рентабельності;  $\Pi(M_i)$  – бальна експертна оцінка рівня конкурентосп-

роможної перспективності взуття виду  $M_i$ ;  $\Pi_{\min}(M_i)$  – мінімально допустимий рівень конкурентоспроможної перспективності без ризику втрати рентабельності;  $B(m_{ij})$  – експертна оцінка рівня естетичної привабливості моделі взуття  $m_{ij}$ ;  $B_{\min}(M_i)$  – мінімально допустимий рівень естетичної привабливості  $M_i$ .

### Інтелектуальна модель підвищення ефективності ППР процесу матеріального забезпечення виробництва взуття

Для розроблення моделі ППР візьмемо за базовий алгоритм теорії адаптивного резонансу ART1 (рис. 2) [4].

Алгоритми інтелектуалізації ППР, як і класичні алгоритми ППР, передбачають наступні дії: а) підвищення інтелектуалізації оброблення вхідних даних – векторів ознак; б) класифікацію векторів ознак; в) метод подавання вхідних векторів ознак на входи системи; г) генерацію варіантів рішень інтелектуальними компонентами моделі; д) одержання ефективних варіантів чи оптимальної моделі варіанту рішення; е) введення обмежень моделі.

На рис. 2:  $\bar{X}_{np}$  – ініціалізований вектор ознак, представлений у двійковій формі;  $(x_1 \dots x_5)$  – входи ШНМ, що відображають її вхідний шар;  $(z_1 \dots z_4)$  – нейрони прихованого шару  $Z$ ;  $Q_1$  – вхідний нейрон (комірка);  $w_{i,j}$  – відображає зв'язок з врахуванням ваги між  $i$ -м і  $j$ -м нейронами (стандартизовано);  $\bar{Y}_{\Pi}$  – ініціалізований вектор-прототип, представлений у двійковій формі;  $Y$  – вхідний функціонал ШНМ;  $f(x_1) \dots f(x_5)$  – активаційні функції нейронів вхідного шару ШНМ;  $f(z_1) \dots f(z_4)$  – активаційні функції нейронів прихованого шару ШНМ;  $f(x)$  – активаційна функція нейрону вихідного шару ШНМ.

Результативність  $\Phi_W$  визначається близькістю одержаного рішення  $x'$  до строго оптимального  $x_{\min}$ . Нагадаємо, що в кожній конкретній постановці оптимізаційної задачі значення цільової функції  $f(x)$  визначається не тільки вектором параметрів  $x$ , але і конкретним набором вихідних даних задачі  $q$ . У такому випадку цільова функція задачі, що вирішується, матиме вигляд  $f(x, q)$ .

Оперативність одержання рішення оптимізаційної задачі визначається в основному типом динаміки нейромережі і характеристикою апаратних засобів, на котрих реалізована мережа.

$\Phi_T = N_{TK}$  чи  $\Phi_T = T_K$ , де  $N_{TK}$  - кількість тактів еволюції мережі з початкового стану у граничний,  $N_{TK}$  - для нейромереж з дискретним часом чи  $T_K$  - для нейромереж з неперервним часом. (У випадку розробленої нами мережі час вважатимемо неперервним).

Ресурсоємність нейромережі, що характеризується структурною складністю  $\Phi_R$ , визначається в основному розмірністю  $n$  задачі і оцінюється трьома основними показниками: кількістю нейронів мережі  $N_N(n)$ ; загальною кількістю зв'язків  $N_T(n)$ ; кількістю синапсів  $N_{TN}(n) = \frac{N_T(n)}{N_N(n)}$ , що припадає на один нейрон.

Тоді ресурсоємність нейромережного рішення оцінюється векторним показником:

$$\Phi_R = (N_N(n), N_T(n), N_{TN}(n))$$

### Висновки

Як показало сьогоднішня, традиційні підходи до забезпечення процесу виробництва взуття себе не виправдали, що підтверджується фактом банкрутства багатьох фірм-виробників взуття. Тому для підвищення ефективності процесу забезпечення виробництва потрібен системний підхід, у якому системи підтримки

прийняття рішень повинні відігравати визначальну роль. На сьогодні відомі методи генерації варіантів рішень. Але при їх генерації інтелектуальним моделям приділяється недостатньо уваги. А вони могли б усунути труднощі моделювання, що виникають для слабоформалізованих і неформалізованих задач. В статті запропоновано і досліджено нейромережну модель видавання рекомендацій для забезпечення процесу виробництва взуття, що підвищує його ефективність.

### Література

1. Локазюк В. М., Котляр Є. Й. Розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень як один із шляхів підвищення ефективності виробництва взуття // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – № 2, Т. 2 (90). – С. 47-49.
2. Локазюк В., Котляр Є. Оптимізація підтримки прийняття рішень процесу виробництва взуття // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technologies, september 27<sup>th</sup> – 29<sup>th</sup>, Lviv, Ukraine. – Львів, 2007. – С. 210-211.
3. Черноруцкий И. Г. Методы оптимизации и принятия решений: Учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2001. – 384 с.
4. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс. – Пер. с англ. Осипом А.И. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 312 с.
5. Ефимов В. В. Нейроподобные сети в бортовых информационно-управляющих комплексах летательных аппаратов. Решение оптимизационных задач. – СПб., 1996. – 113 с.
6. Назаров А. В., Лоскутов А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

Надійшла до редакції 30.01.2008

**Рецензент:** докт. техн. наук, проф. О.В. Поморова, Хмельницький національний університет, Хмельницький.