

С. В. Вишемирська

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ РЕЦЕПТУРИ НОВОГО ПРОДУКТУ ЗАСОБАМИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ПІДХОДУ

Вступ. Ключовими аспектами при створенні функціональних продуктів харчування є науково обгрунтований підбір фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів з необхідними санітарно-гігієнічними, медико-біологічними показниками, спрямованими лікувально-профілактичними властивостями, а також розробка нових технологічних рішень, що дозволяють істотно впливати не тільки на органолептичні та фізико-хімічні показники сировини і готової продукції, підвищуючи їх харчову цінність, але й надавати їм спрямовані функціональні властивості. Перевагами автоматизованого проектування рецептур при створенні функціональних продуктів харчування є можливість регулювання їх хімічного складу шляхом зміни співвідношення окремих компонентів з урахуванням їх властивостей, безпеки та кінцевого медико-біологічного призначення продуктів. Таким чином математичне та імітаційне моделювання стає для технолога одним з необхідних інструментів розв'язання задач оптимізації комплексу властивостей харчового продукту за встановленими критеріями та обмеженнями на кожному етапі його розробки.

Можливість підвищення харчової й біологічної цінності продуктів харчування та раціонів характеризується множинністю шляхів досягання заданої мети. Загальним методологічним прийомом у цьому випадку є цільове комбінування рецептурних інгредієнтів, що забезпечує одержання харчових композицій з комплексом бажаних позитивних властивостей [1].

Постановка задачі. У промисловості взагалі, та у виробництві зокрема все зростає інформаційний потік. Тому рішення потрібно приймати щомиті. Інформація, яка потрібна для прийняття рішень – це не лише факти, які необхідні людині, що приймає рішення. А це факти, які інтерпретовані в залежності від цілей людини. Тобто один і той же факт, різний для людей, що мають різну цільову діяльність, буде інтерпретуватися по-різному. Тому в системі підтримки прийняття рішень всі факти повинні інтерпретуватися за сферами діяльності.

В якості об'єкта досліджень обрано технологічний процес розробки та виготовлення пюре для дитячого харчування Південного консервного заводу дитячого харчування. Результатами співпраці з підприємством є розробка системи підтримки прийняття рішень, що містить комплекс інформаційних технологій для керівництва організації [2, 3, 4].

Розглянемо один з етапів роботи підприємства, що виробляє дитяче харчування, зокрема виробництво овочевих та фруктових пюре. Ситуація на ринку потребує дуже швидко реагувати на зміну конкурентного середовища. Основною реакцією підприємства є виведення на ринок нових груп товарів, розширення асортименту, зниження цін тощо. В даному дослідженні розглядається варіант виведення на ринок нового товару з певної асортиментної групи. Для збереження конкурентоздатності та незмінно високої якості товару необхідно математично прорахувати рецептуру продукції. В попередніх дослідженнях [4] нами було представлено математичну модель для розв'язання задачі умовної нелінійної оптимізації з нелінійною цільовою функцією й лінійними обмеженнями й граничними умовами. Метою цього дослідження є використання нейромережових технологій для розробки рецептури багатокомпонентного продукту.

Викладання основного матеріалу. В загальному вигляді процес побудови математичної моделі складається з окремих етапів, що виконуються послідовно (рис. 1).

В складі кожного пюре присутній основний компонент – це фруктова або овочева паста. Ці пасти заготовлюються підприємством в сезон збору врожаю сільгосппостачальниками певних компонентів (овочів, фруктів тощо). Потім при виробництві безпосередньо дитячого харчування заготовлені заздалегідь компоненти змішуються, формуючи різноманітний асортимент фруктових та овочевих пюре. Для розширення асортименту та згідно з вимогами конкурентного середовища підприємству необхідно ввести в свій асортимент продукцію із кисломолочним наповнювачем.

Початковий етап проектування нового продукту складається з формалізації цілей та задач, що дозволяє структурувати процес розробки, встановити взаємозв'язки та послідовність основних етапів. Розглянемо схему процесу розробки нового пюре для дитячого харчування з кисломолочним наповнювачем [5] (рис. 2). Методи, що були застосовані нами раніше, не підходять для цієї ситуації, тому нами було вирішено використати для розв'язання поставленої задачі метод нейро-мережового підходу [6], що припускає створення та використання штучної нейронної мережі.

Нейронні мережі – це мережі, що складаються із пов'язаних між собою простих елементів формальних нейронів. Нейрони можна моделювати досить простими автоматами, а вся складність мозку,

гнучкість його функціонування та інші важливі якості визначаються зв'язками між нейронами. Кожен зв'язок – це зовсім простий елемент, який призначений для передачі сигналу.

Математично нейронні мережі можна розглядати як клас методів статистичного моделювання, який, в свою чергу, можна розділити на три класи: оцінка щільності ймовірності, класифікація та регресія. За допомогою мереж оберненого розподілу та узагальненого δ -правила розв'язується задача оцінки щільності ймовірності методом змішування гаусівських розподілів.

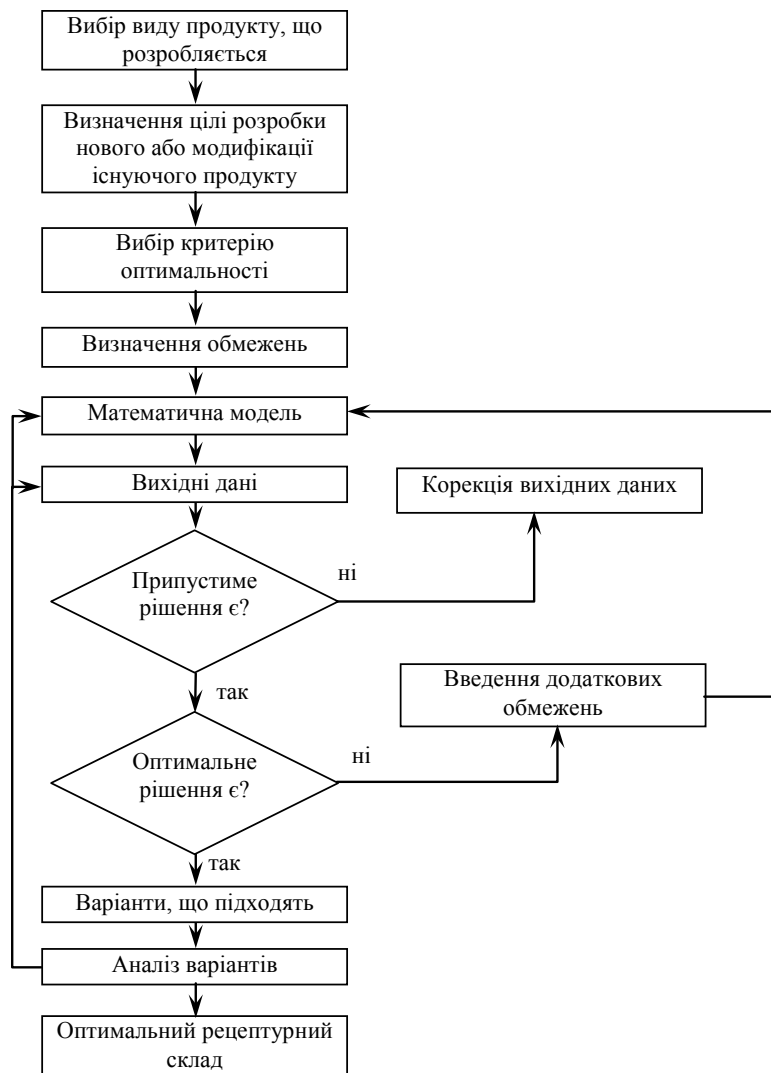


Рис. 1. Алгоритм проектування рецептури харчового продукту

Розглянемо нейромережу по Хопфілду [7]. Нехай маємо деяку фізичну систему, яка містить множину стійких особливих точок (X_1, X_2, \dots) . Ці точки можуть розглядатися як пам'ять пристрою, що реалізований фізичною системою. Починаючи з деякої точки $X_i + dX$ (X_i – один з еталонів, dX – вектор, що характеризує зміну) при малому dX ми отримуємо X_i . Це варіант автоасоціативної пам'яті, в якій образ, що запам'ятовували, відновлюється за зміниним зразком. Схема нейромережі по Хопфілду показана на рис. 3. Мережа складається з N нейронів, всі нейрони пов'язані зі всіма, кожен зв'язок характеризується своєю вагою w_{ij} , матриця ваг приймається симетричною: $w_{ij} = w_{ji}$, вважаємо, $N \gg 1$.

Стан нейроної мережі характеризується вектором $X = X_1, X_2, \dots, X_N$. Кожен нейрон може приймати один з двох станів: $X_i = 0$ – спокій, $X_i = 1$ – збуджений стан, i – номер нейрону. В режимі запису формується матриця зв'язків між нейронами w_{ij} , що дорівнює:

$$w_{ij} = \sum_k (2X_{ki} - 1)(2X_{kj} - 1), \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

при $i \neq j$, $w_{ii} = 0$, – бінарні вектори, що запам'ятовуються, n – число паттернів, що запам'ятовуються. Еталони припускаються випадковими, компоненти векторів X_{ki} обираються такими, що дорівнюють 0 або 1 з рівною ймовірністю: $p\{X_{ki} = 0\} = p\{X_{ki} = 1\} = 0,5$.

В процесі відтворення нейроної мережа функціонує в дискретному часі. Робота нейроної мережі відбувається в асинхронному режимі, в один такт часу тільки один нейрон може змінити свій стан. Нейрон,

якому дозволено змінювати стан, обирається стохастично. При цьому нейрони працюють як нейрони Мак-Каллока та Пітса з пороговою активаційною функцією, а саме:

$$X_j(t+1) = 1 \text{ при } net_j > 0 \text{ и } X_j(t+1) = 0 \text{ при } net_j < 0, \tag{2}$$

$$net_j = S_i w_{ji} X_i(t), \tag{3}$$

де t – момент «перегляду» стану j -го нейрону.

Роботу нейронної мережі в режимі відтворення можна розглядати як динамічну систему.

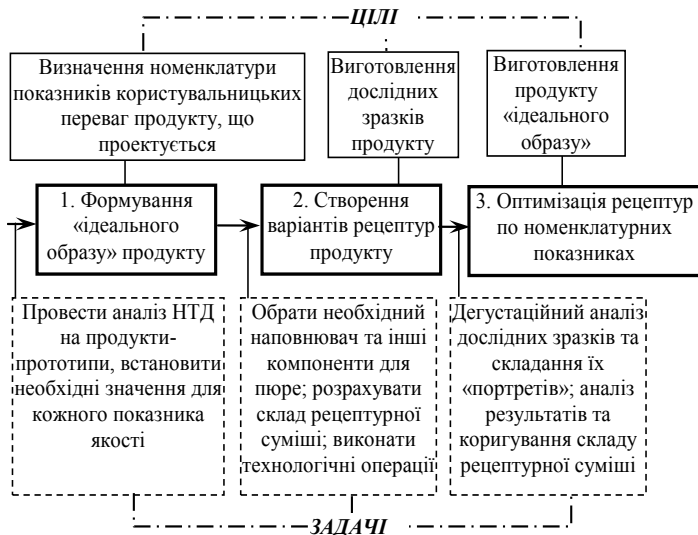


Рис. 2. Схема етапів створення нового пюре для дитячого харчування

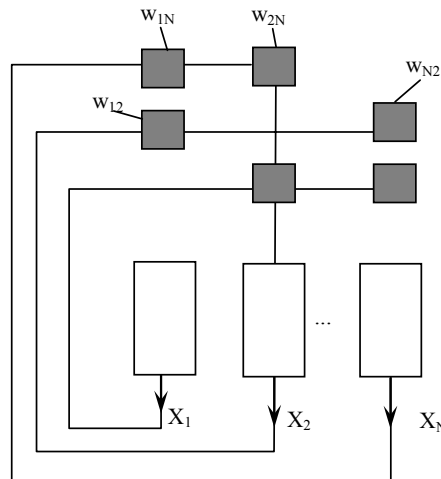


Рис. 3. Схема нейронної мережі за Хопфілдом. \square – нейрони, $-$ синапси.

Реалізація методу розв’язання. Для реалізації запропонованого методу було обрано математичний пакет MatLab, а саме пакет Neural Networks Toolbox, який містить засоби для проектування, моделювання, навчання та використання апарату штучних нейронних мереж. Основними етапами реалізації нейронно-мережевого підходу є:

- підготовка даних для тренування мережі;
- створення мережі;
- навчання мережі;
- тестування мережі;
- моделювання мережі для розв’язання конкретної задачі.

Розглянемо використання нейронно-мережевого підходу для встановлення оптимального рецептурного складу нового продукту.

Виходячи з експериментальних даних (табл. 1) з вивчення залежностей бальної оцінки консистенції від вмісту сиру та відношення вологи до сухої знежиреної речовини (В/СЗР) в рецептурній суміші пюре необхідно побудувати поверхню відгуку, що відображає зміну цільової функції при варіюванні вхідних параметрів.

Таблиця 1

Результати бальної оцінки консистенції дослідних зразків

В/СЗР	1,17	1,26	1,36	1,81	2,0
Пюре, %					
20	4	4	5	5	3
22	3	4	6	4	4
25	4	5	6	4	3
28	4	6	7	6	4
30	4	6	8	8	5

Для навчання нейронної мережі було сформовано масив вхідних векторів x_1 (x_1 – масова доля сиру в рецептурній суміші; x_2 – відношення В/СЗР), що відповідають значенням цільової функції y – бальної оцінки консистенції готового продукту (табл. 1). Створення та навчання нейронної мережі запускається спеціальною програмою, створеною в середовищі MatLab [6]. Для розв’язання задачі моделювання була сформована тришарова повнопов’язана мережа, що включає два нейрони у вхідному шарі (за числом компонентів вхідного вектору), чотири нейрони в проміжному шарі з передатковими функціями tag-sig та один нейрон у вихідному шарі (за числом компонентів вихідного вектору) з передатковою функцією purelin [6].

Позиції нейронів в кожному шарі визначаються топологічною функцією randtop, що формує

випадкове розташування нейронів в шарі (рис. 4). При цьому для обчислення відстаней між нейронами в і-му шарі використовується пов'язані функція відстані linkdist. В якості алгоритму, що навчає, був обраний алгоритм Levenberg-Marquardt (trainlm). Вказана мережа формується за допомогою наступної процедури, що записана в програмі Neuron.m: net=newcf(minmax(P), [6], {'tansig' 'tansig' 'purelin'}, 'trainlm'); де перший аргумент – матриця мінімальних та максимальних значень компонентів вхідного вектору – обчислюється за допомогою процедури minmax. Результатом виконання процедури newff є нейронна мережа net заданої конфігурації.

Навчання нейронної мережі полягає в визначенні ваг та зміщень всіх синапсів у всіх шарах НМ. Параметрами навчання були кількість циклів навчання (1000) та цільова помилка навчання (0,01). При цьому в якості функції оцінки функціонування була обрана середньоквадратична помилка sse. Процес навчання ілюструється графіком залежності оцінки функціонування від номеру циклу навчання (рис. 5).

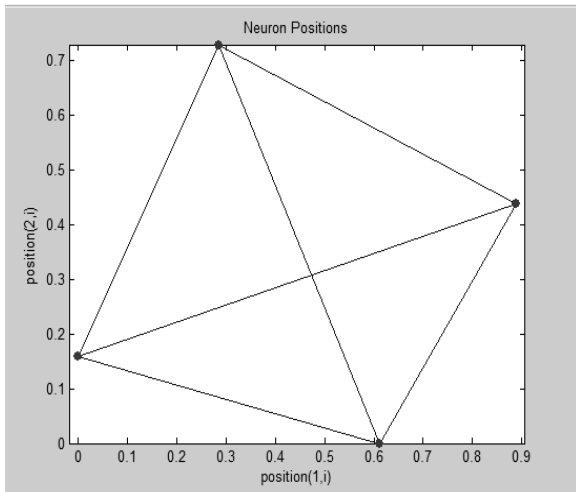


Рис. 4. Розташування нейронів у другому шарі НМ

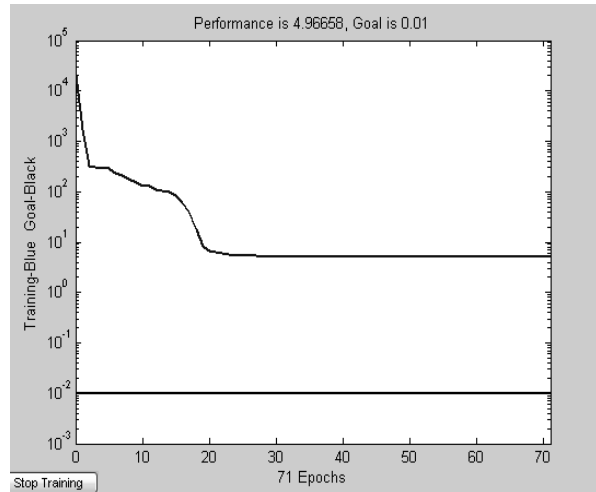


Рис. 5. Процес навчання НМ

Для обробки вихідних даних використовуємо програмний код [6], що дозволяє отримати масиви значень вихідної змінної при деяких значеннях вхідних змінних, які змінюються в тому ж діапазоні, що і при експериментальному дослідженні (рис. 6). Наведена тривимірна модель складна для розуміння. У зв'язку з цим, враховуючи необхідність одержання продукту функціонального спрямування, тобто з високим вмістом біологічно активних речовин, було проведено перетин поверхні (рис. 6) площиною, паралельною вісі «В/СЗР» при максимальному значенні частки сиру в рецептурній суміші – 30%. Одержану графічну залежність наведено на рис. 7.

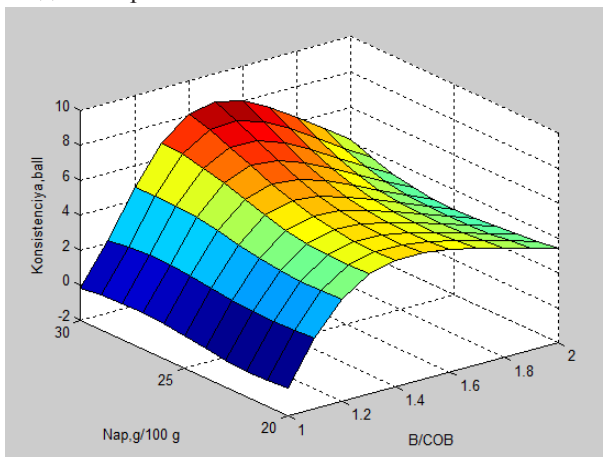


Рис. 6. Залежність бальної оцінки консистенції від масової частки сиру та значення «В/СЗР» в рецептурній суміші

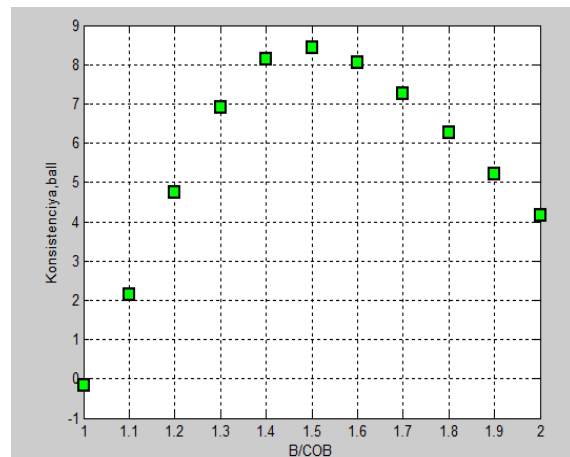


Рис. 7. Залежність бальної оцінки консистенції від вмісту сиру та відношення «В/СЗР» в рецептурній суміші

Висновки. Ключовими аспектами розробки рецептур продуктів харчування є науково обґрунтований підбір необхідних харчових інгредієнтів із необхідними показниками, а також розробка нових технологічних рішень, які дозволять зберегти всі корисні речовини. Автоматизоване проектування рецептур дозволяє прискорити процеси розрахунків та оптимізації складу багатокомпонентних продуктів харчування. Запропонована інформаційна технологія дозволяє швидко та якісно розрахувати оптимальне

співвідношення компонентів для найкращого результату. Виявлено, що високі бальні оцінки консистенції в продукті спостерігаються при частці сіру в суміші 30% та відношенні В/СЗР – 1,4...1,6. Одержаний інтервал припустимих значень В/СЗР добре узгоджується із рекомендаціями за величиною цього відношення для пюре для дитячого харчування, що забезпечує м'яку однорідну консистенцію. Одержані результати за якістю рецептурної суміші можуть бути використані для оптимізації її складу та собівартості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / Под ред. проф. Е. Б. Карнина. – М.: Пищевая промышленность, 1997.
2. Вишемирська С. В. Інформаційне забезпечення прийняття рішень на підприємстві дитячого харчування / С. В. Вишемирська // Питання прикладної математики і математичного моделювання: збірник наукових праць. – Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2009. – С. 96–109.
3. Вишемирська С. В. Інформаційна технологія оцінки ризику інвестиційного проекту / С. В. Вишемирська, Ф. Б. Рогальський // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2007. – №3(29). – С. 105-110.
4. Вишемирська С. В. Модель процесу впровадження нової продукції у виробництво / С. В. Вишемирська, Ф. Б. Рогальський // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6(71). – Дніпропетровськ, 2010. – С. 33-44.
5. Технологические этапы разработки сырного продукта с растительным наполнителем [Текст] / О. В. Зюзина и др. // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития) [Текст] / материалы III Междунар. науч-техн. конф. В 3 т. Т. 1. – Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2009. – с. 61–65.
6. Дворецкий, Д.С. Расчёт и оптимизация процессов и аппаратов химических и пищевых производств в среде MatLab : учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, А.А. Ермаков, Е.В. Пешкова ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.И. Дворецкого. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.
7. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1982. V. 79. N. 8. P. 2554-2558.

ВИШЕМИРСЬКА Світлана Вікторівна - к.т.н., доцент кафедри інформатики та комп'ютерних технологій

Наукові інтереси: системи підтримки прийняття рішень, соціотехнічні системи.