

УДК 044.8

RATIONALIZING THE CREATION OF HYBRID EXPERT SYSTEM IN ORDER TO CONTROL THE QUALITY OF FROZEN DESSERTS

N. Breus, L. Manoha, G. Polischuk

National University of Food Technologies

<p>Key words: <i>Expert system (ES)</i> <i>Data</i> <i>Knowledge base</i> <i>Mathematical apparatus</i> <i>Frozen products</i></p> <hr/> <p>Article history: Received 06.08.2015 Received in revised form 17.08.2015 Accepted 09.09.2015</p> <hr/> <p>Corresponding author: N. Breus E-mail: breusnm@ukr.net</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>The article examines the methodology how to create the hybrid expert system (ES) to control and optimize the recipes of the ice-creams and frozen desserts. We have defined the main tasks of the expert system which consists of four main blocks. We have offered a common block-diagram to modify optimal recipes in the system based on the complex quality indicators of the finished product. We have studied and analyzed the main mathematical methods of mathematical apparatus of ES development through the simplex method which is mainly targeted at optimization of the complex indicators of the finished product quality. We have conducted the analyses of modern IT expert system development.</p>
---	--

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАМОРОЖЕНИХ ПРОДУКТІВ ДЕСЕРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Н.М. Бреус, Л.Ю. Маноха, Г.Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто та запропоновано методологію створення гібридної експертної системи (ЕС) контролю й оптимізації рецептур морозива і заморожених десертів. Визначено основні завдання та розроблено структуру експертної системи, що складається з чотирьох основних блоків. Запропоновано загальну блок-схему моделювання в системі оптимальних рецептур на основі комплексного показника якості готового продукту. Вивчено й проаналізовано основні математичні методи розробки математичного апарату ЕС за допомогою симплекс-методу, де цільовою функцією є оптимізація комплексного показника якості готового продукту. Проведено аналіз сучасних інформаційних технологій розробки експертних систем.

Ключові слова: експертна система (ЕС), база даних, база знань, математичний апарат, заморожені продукти.

Постановка проблеми. Одним з найбільш значних досягнень штучного інтелекту стала розробка потужних комп'ютерних систем, що одержали назву «експертних» або заснованих на «знаннях» систем. Стратегічний розвиток харчових технологій вимагає застосування інтелектуальних інформаційних технологій на основі експертних систем для підвищення ефективності наукових досліджень, впровадження їх результатів у виробництво та цілеспрямованого управління якістю готової продукції.

У низькотемпературних технологіях харчової промисловості існують певні проблеми щодо формування складних дисперсних систем морозива і заморожених десертів. Такі харчові системи, з точки зору колоїдної хімії, є водночас пінами, емульсіями і суспензіями. Безперервним дисперсійним середовищем є невиморожена вода, у якій знаходяться численні дисперсні часточки різної природи — жирові кульки, повітряні бульбашки, кристали льоду і лактози. Найчастіше вади консистенції обумовлюються великими за розмірами кристалами льоду, які спроможні зростатися й утворювати суцільний льодянистий каркас. Подібна вада консистенції є причиною формування занадто твердої структури продукту з відчутними під час споживання кристалами льоду, тому першочерговим завданням для технологів є практичне вирішення вказаної проблеми шляхом оптимізації складу рецептур. Одним із основних критеріїв для вибору рецептурних компонентів має бути здатність зв'язувати воду. За низького вмісту вільної води процес її кристалізації під час низькотемпературного оброблення сумішей відбуватиметься доволі помірно, що й забезпечить високу якість готової продукції [1—2].

Метою дослідження є наукове обґрунтування доцільності створення експертної системи для управління якістю складними дисперсними системами, до яких відносяться збиті заморожені десерти.

Виклад основних результатів дослідження. Аналіз предметної області дав змогу чітко виділити задачі експертної системи для оптимізації комплексного показника якості основних фізичних характеристик морозива і заморожених десертів. Отже, ЕС повинна вирішувати такі основні завдання [3]:

- створювати рецептури нових видів морозива із заданими споживчими характеристиками й оптимальною собівартістю;

- формувати рекомендації щодо рецептурного складу замороженої продукції, що виробляється відповідно до чинних стандартів (ДСТУ, ТУ тощо);

- забезпечувати оптимальний склад за органолептичними, фізико-хімічними та функціонально-технологічними властивостями складних сумішей за допомогою комплексного показника якості;

- аналізувати якість готової продукції, виявляти технологічні проблеми і пропонувати шляхи їх вирішення.

Для реалізації цих завдань необхідно використовувати пакети прикладних програм і засоби маніпулювання знаннями, тому розроблювана експертна система буде гібридною [3].

Запропонована гібридна експертна система (програмний комплекс) має складатися з чотирьох основних блоків:

1. *Бази даних*, яка необхідна для надання первинної інформації (рецептурні інгредієнти та їх фізико-хімічні і функціонально-технологічні властивості,

допоміжні матеріали, показники якості). Також ця база зберігає призначені для користувача дані (інформацію про рецептурний склад, фізико-хімічні характеристики інгредієнтів, статус рецептури).

2. *Бази знань* — правила про технологічні особливості виготовлення морозива і заморожених десертів.

3. *Математичного апарату*, що являє собою набір стандартних (або власних) прикладних математичних пакетів, які дозволяють вирішувати оптимізаційні задачі.

4. *Експертної системи* — модулю контролю якості складу рецептури і її технологічної придатності. Використовуючи базу знань, експертна система допомагає відкорегувати рецептуру з урахуванням усіх технологічних властивостей багатокомпонентних десертних сумішей. Якщо моделювати оптимальну рецептуру тільки за допомогою одного математичного апарату, без використання експертної системи, то отримана рецептура навряд чи буде придатна для використання, тому що не будуть враховані численні технологічні властивості десертних сумішей. Також використання математичного апарату може надавати певну універсальність рецептурам через можливу взаємозамінність окремих технологічно активних компонентів, що має велику практичну значимість у виробничих умовах [3].

Розробку ЕС слід починати з проектування архітектури додатку (кожен із структурних блоків розробляється окремо, а потім зв'язується в одну загальну взаємодіючу систему), після чого розробляється інтерфейс користувача.

Розроблену блок-схему гібридної експертної системи представлено на рисунку. Відповідно до рисунка, блок-схема складається з такої послідовності дій:

1. База даних. Обирається базова (нормативна) рецептура для оптимізації. При цьому автоматично розраховуються фізико-хімічні властивості продукту.

2. Корегування рецептури. Задаються вимоги до готового продукту обраної рецептури:

- визначаються допустимі значення зміни фізико-хімічних характеристик продукту (мінімальне і максимальне відхилення за вмістом цукру, жиру, СЗМЗ, вологи, у тому числі вільної і тощо);

- визначаються замітники окремих інгредієнтів;

- визначаються вимоги (мінімальна та максимальна величина) щодо рецептурного складу груп, підгруп або конкретних інгредієнтів та їх заміників. Вимоги задаються користувачем (технологом) вручну або використовуються рекомендації експертної системи.

3. Оптимізація (моделювання) рецептури здійснюється математичним алгоритмом. Рецептура розраховується за критерієм оптимальності показника якості (*Kopt*) готового продукту на основі типової рецептури і вимог технолога за інгредієнтним складом і фізико-хімічними показниками за умови збереження його споживчих властивостей. Пропонується використовувати симплекс-метод, де цільовою функцією виступає оптимізація показника якості (*Kopt*), а обмеження висувають вимоги до якості продукту. При цьому останні можуть зазначатися як користувачем, так і експертною системою, що дозволяє знизити похибку розрахунку в разі використання середньостатистичних значень показ-

ників якості сировини. Під час проектування бази даних передбачено можливість використання фактичних показників інгредієнтів рецептури.

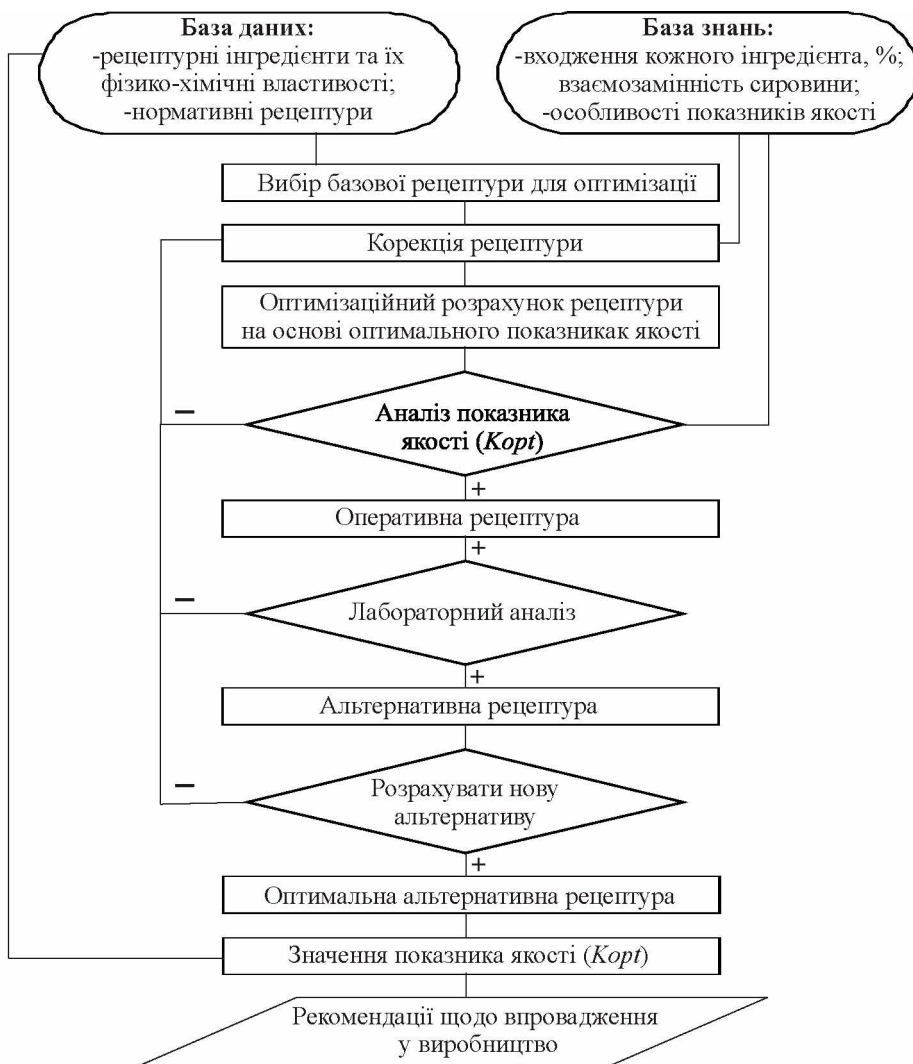


Рис. Блок-схема моделювання оптимальних рецептур у гібридній експертній системі

4. За допомогою експертної системи проводиться первинний аналіз рецептури щодо її технологічної придатності (масова частка рецептурних компонентів, їх хімічний склад, вологозв'язуюча і структуруюча здатність, піноутворюючі і реологічні характеристики сумішей тощо) Якщо будь-який з параметрів не задовольняє встановлені вимоги, то згідно з рекомендаціями ЕС проводить корегування обмежень і розрахунок рецептури (перехід до пункту 2).

5. Якщо розрахована рецептура відповідає технологічним вимогам, її зберігають у базі даних у розділі «Оперативні рецептури» і передають виготовлений продукт на подальший лабораторний аналіз.

6. Лабораторний аналіз. Рецептуру перевіряють за технологічною придатністю, а продукт — за органолептичними, функціональними (харчова та біологічна цінність) та функціонально-технологічними показниками (збитість, розмір повітряних бульбашок, опір таненню), а також за здатністю до зберігання. Якщо продукт не відповідає встановленим вимогам за показниками якості, то на підставі проведеного лабораторного аналізу рецептуру корегують (перехід до пункту 2).

7. Якщо рецептура пройшла лабораторний аналіз, технолог затвержує її і передає в базу даних у розділ «Альтернативні рецептури».

8. Пункти 2...1 повторюють стільки разів, скільки потрібно для отримання альтернативного складу обраної рецептури в пункті 1.

9. Оптимальну альтернативну рецептуру зберігають у базі даних і в подальшому рекомендують до впровадження у виробництво [4—5].

Інструментальний спосіб розробки експертних систем — це мова програмування, що використовується інженером у виробничій практиці або програмістом для побудови експертної системи. Цей інструмент відрізняється від звичайних мов програмування тим, що забезпечує зручні способи представлення складних високорівневих понять.

За своїм призначенням і функціональним можливостям інструментальні програми, що застосовуються для проектування експертних систем, можна поділити на чотири досить великі категорії [6].

Оболонки експертних систем. Системи цього типу створюються, як правило, на основі будь-якої експертної системи, що досить добре зарекомендувала себе на практиці. Під час створення оболонки із системи-прототипу видаляються компоненти, занадто специфічні для області її безпосереднього застосування, і залишаються тільки ті, які не мають вузької спеціалізації. Прикладом може служити система ЕМУСІН, створена на основі достатньо відомої системи МУСІН. У ЕМУСІН збережений інтерпретатор, а всі базові структури даних — це таблиці знань і пов'язані з ними механізми індексації. Оболонка доповнена спеціальною мовою, яка поліпшує читабельність програм, і засобами підтримки бібліотеки типових випадків і висновків, виконаною за ними експертною системою.

Мови програмування високого рівня. Мови програмування високого рівня можуть бути ефективним засобом швидкого створення прототипів експертних систем, вони дозволяють забезпечити гнучкість процесу розробки, мінімізації матеріальних витрат і термінів виконання проекту. Інструментальні засоби цієї категорії позбавляють розробника необхідності заглиблюватися в деталі реалізації системи, такі як способи ефективного розподілу пам'яті, низкорівневі процедури доступу до даних і маніпулювання ними. Як правило, середовище розробки таких мов дозволяє поєднувати вставку, зміну і тестування фрагментів програмного коду.

Досвідчений програміст, застосовуючи для проектування експертних систем мови високого рівня, отримує набагато більшу свободу дій, ніж при використанні оболонки. Особливо це стосується програмування процедур управління і обробки невизначеності.

Виділяють кілька видів мов програмування високого рівня [6]:

1. Мова програмування OPS5 — мова опису продукційних правил. Для цієї мови характерний порівняно простий синтаксис і механізм активізації правил. У ньому використовуються різні версії Rete-алгоритма для оптимізації процесів узгодження фактів з правилами. Даний алгоритм позбавляє машину логічного висновка необхідності погоджувати факти з кожним правилом. Також при використанні OPS5 виникають труднощі при реалізації деяких типів структур управління ходом виконання. Наприклад, до них можна віднести рекурсивні та ітераційні цикли, оскільки вони вимагають серйозного ускладнення опису процесу обробки правил. Розробники мов, подібних OPS, завжди змушені шукати компроміс між наочністю засобів мови програмування й ефективністю виконання програмного коду. Найбільш раціональний шлях подолання недоліків програмування продукційних правил полягає в об'єднанні їх з іншими парадигмами програмування.

2. Об'єктно-орієнтовані мови — це мови (Object Pascal, C ++, Java тощо), побудовані на принципах об'єктно-орієнтованого програмування. В даний час для побудови експертних систем використовують дані мови не в чистому вигляді, а сучасні системи розробки додатків — RAD (Rapid Application Development) і IDE (Integrated Development Environment) системи: Delphi (Object Pascal), Visual Studio (C ++, Basic, C #, J #), Eclipse (Java, Python) і тощо.

В основі концепції об'єктно-орієнтованого програмування лежить поняття об'єкта, тобто певної сутності у віртуальному просторі, що знаходиться у відповідному стані, має задані значення властивостей (атрибутів) та операцій над ними (методів). За допомогою мови об'єктно-орієнтованого програмування створюється програма для організації знань у термінах декларативного представлення об'єктів предметної області. Всі дії, пов'язані з процедурними особливостями вирішення проблем, розподіляються між цими об'єктами, які мають власні процедури (методи) і можуть спілкуватися один з одним за допомогою інтерфейсів передачі повідомлень. До ще одного корисного аспекту об'єктно-орієнтованого програмування відноситься можливість інтеграції символічних обчислень в операційне середовище, які базуються на засобах графічного інтерфейсу. Оснащення експертної системи цими засобами дозволяє користувачеві краще уявити процеси, що відбуваються в системі. Основна причина складності використання об'єктно-орієнтованого стилю у програмуванні експертних систем полягає в організації співвідношення програмних об'єктів з абстрактними поняттями і категоріями предметної області. Тобто в експертних системах об'єкти повинні представляти факти і цілі, набори правил або окремі гіпотези, а не моделі елементів реального світу, як у класичних завданнях. Зважаючи на це, схеми відображення цих понять і категорій на програмні об'єкти, а також повідомлення, якими вони обмінюються, повинні бути ретельно продумані.

3. Мови логічного програмування. Типова мова логічного програмування експертних систем — PROLOG, як середовище розробки використовують IDE — Visual Prolog. Дана мова надає такі можливості:

- вбудований у PROLOG режим управління приблизно відповідає стратегії зворотного логічного висновку;

- індексовану базу даних фраз мови PROLOG можна використовувати для представлення правил;
- рекурсивні структури даних (графи і дерева) можна організувати за допомогою фраз мови PROLOG;
- універсальний механізм співставлення мови PROLOG дозволяє виконувати зіставлення даних і шаблонів, що включають змінні;
- мовні засоби PROLOG дають змогу програмісту розробляти власний механізм обробки невизначеності.

Однак практика застосування ідей логічного програмування в експертних системах не позбавлена недоліків. Так, синтаксичні і семантичні обмеження в стандартних версіях PROLOG не були подолані ні в системах MECNO і PLANNER, ні в інших системах, заснованих на аналогічній ідеології [6].

Середовище програмування, що підтримує кілька парадигм. Засоби цієї категорії включають кілька програмних модулів, що дозволяє користувачеві комбінувати в процесі розробки експертної системи різні стилі програмування. Серед таких проектів однією з перших була дослідна програма LOOP, яка допускала використання двох типів подання знань — тих, що базуються на системі правил, і об'єктно-орієнтованих. На основі цієї архітектури в другій половині 1980-х років було розроблено декілька комерційних програмних продуктів, з яких найбільш відомою стала KEE, KnowledgeCraft і ART. Ці програми надають у розпорядження кваліфікованого користувача безліч опцій і для розробок KAPPA і CLIPS, які стали своєрідними стандартами. Однак засвоїти ці мови програмістам важче за мови, що описані в попередній категорії [6].

Додаткові модулі. Засоби цієї категорії являють собою автономні програмні модулі, призначені для виконання специфічних завдань в рамках обраної архітектури системи вирішення проблем.

Отже, для оптимізації рецептурного складу багатокомпонентних харчових систем з урахуванням усього комплексу їх показників якості доцільно застосовувати існуючі експертні системи або розроблювати нові відповідно до технологічних потреб виробництва конкретних груп харчових продуктів.

Висновки

Аналіз інформації про існуючі експертні системи дозволяє зробити висновок про можливість їх застосування для вирішення конкретних специфічних прикладних завдань. Формування складних дисперсних систем на основі багатокомпонентних сумішей потребує всебічного системного аналізу та керування, що може бути вирішене лише за врахування всієї ієрархії взаємопов'язаних технологічних чинників. Розробка універсальної гібридної експертної системи, спроможної вирішити складні технологічні завдання, є актуальною та своєчасною.

Література

1. *Marshall R.T., Goff H.D., Hartel R.W.* Ice Cream, 6th ed.; Kluwer Academic / Plenum Publishers: New York, 2003. — 366 p.
2. *Оленев Ю.А.* Справочник по производству мороженого / Ю.А. Оленев, А.А. Творогова, Н.В. Казакова, Л.Н. Соловьева. — М.: ДеЛи принт, 2004. — 798 с.

3. *Краснов А.Е.* Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности (системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования) / А.Е. Краснов, О.Н. Красуля, О.В. Большаков [и др.]; под ред. А.Е. Краснова и О.Н. Красули. — М.: ВНИИМП, 2001. — 496 с.

4. *Красуля О.Н.* Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства / О.Н. Красуля, С.В. Николаева, А.В. Токарев [и др.]. — СПб.: ГИОРД, 2015. 320 с.

5. *Краснов Л.Е.* Аналитический и экспертный подходы в проблеме идентификации моделей технологических смесей / А.Е. Краснов, С.А. Красников, С.В. Николаева. — Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления». — М.: Институт проблем управления РАН, 2002.

6. *Субботін С.О.* Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. — 341 с.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАМОРОЖЕННЫХ ПРОДУКТОВ ДЕСЕРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.М. Бреус, Л.Ю. Маноха, Г.Е. Полищук

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрена и предложена методология создания гибридной экспертной системы (ЭС) контроля и оптимизации рецептур мороженого и замороженных десертов. Определены основные задачи экспертной системы, разработана структура экспертной системы, которая состоит из четырех основных блоков. Предложена общая блок-схема моделирования оптимальных рецептур в системе на основе комплексного показателя качества готового продукта. Изучены и проанализированы основные математические методы разработки математического аппарата ЕС с помощью симплекс-метода, где целевой функцией выступает оптимизация комплексного показателя качества готового продукта. Проведен анализ современных информационных технологий разработки экспертных систем.

Ключевые слова: *экспертная система (ЭС), база данных, база знаний, математический аппарат, замороженные продукты.*