

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису



БРЕУС НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА

УДК 044.891

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУР
МОРОЗИВА**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інформаційних систем Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

Кандидат технічних наук, доцент
Грибков Сергій Віталійович
Національний університет харчових технологій МОН України,
доцент кафедри інформаційних систем,
в.о. завідувача кафедри інформатики

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, доцент
Прокопенко Тетяна Олександрівна
Черкаський державний технологічний університет МОН України,
завідувач кафедри інформаційних технологій проектування

Доктор технічних наук, доцент
Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна
Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України,
доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації

Захист відбудеться «31» жовтня 2019 року о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 у Національному університеті харчових технологій за адресою, м. Київ, вулиця Володимирська 68, корпус «А», аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою, м. Київ, вулиця Володимирська 68.

Автореферат розіслано «26» вересня 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Л.О. Власенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми визначається необхідністю застосування сучасних інформаційних технологій для інтегрування знань експертів-технологів у експертно-моделюючу систему (ЕМС), що дозволить у виробничих умовах з мінімальними витратами часу розраховувати оптимальні за складом рецептури морозива із заданими показниками якості. Існуючі методи не забезпечують повною мірою процес моделювання рецептур морозива з врахуванням можливої взаємозамінності функціонально-технологічних компонентів.

Проблеми комп'ютерного моделювання продуктів харчування із заданою харчовою цінністю, досліджувались вченими Ліпатовим Н.Н. та Ювашкіною Ю.А. Питанням оптимізації окремих технологічних операцій присвячені роботи відомих вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема: Поліщук Г.Є., Оленева Ю.А., Творогової А.А., Краснова А.Е, Красулі О.Н, Marshall R.T, Goff H.D., Hartel R.W. В області системно-інформаційного забезпечення управління технологічними комплексами опубліковані праці Ладанюка А.П., Трегуба В.Г., Кишенька В.Д, Перепечаєнка В.Г. В області проектування і програмної реалізації експертних систем доцільно виділити роботи Таунсенд К., Фохт Д., Джонс М.Т.

Проблеми підтримки технологічних процесів харчової галузі шляхом використання інформаційних технологій розглядаються дуже широко, але не існує аналогів інформаційних систем, призначених для моделювання рецептур морозива, тому актуальним є дослідження інформаційних технологій у формі експертно-моделюючих систем, використання яких забезпечить досягнення високих показників якості готового продукту на етапі створення її рецептури.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі інформаційних систем НУХТ в межах науково-дослідної роботи кафедри «Дослідження та впровадження інформаційних технологій у галузях харчової промисловості та освіти», № ДР 0117U003475, та наукових тем, що виконувалися в ПНДЛ: «Розроблення інноваційних технологій харчових продуктів комбінованого складу на основі активованої рослинної сировини» (реєстраційний номер 0111U010380); «Розроблення науково-практичних основ комбінування сировини для створення нових харчових продуктів на молочній основі» (реєстраційний номер 0010U010780), «Наукові засади розроблення ресурсощадних технологій білковмісних поліфункціональних концентратів для харчових продуктів цільового призначення» (реєстраційний номер 0117U001243); «Наукове обґрунтування та розроблення активних пакувальних систем харчових продуктів» (реєстраційний номер 0118U003558) спільно з науковцями кафедри технології молока та молочних продуктів НУХТ.

Мета та завдання дослідження.

Метою даної дисертаційної роботи є удосконалення методів розробки рецептур морозива за рахунок створення та використання експертно-моделюючої системи.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно вирішити такі взаємозв'язані задачі:

- провести системний аналіз процесу моделювання рецептур морозива з метою виявлення основних бізнес-процесів, інформаційних потоків що їх забезпечують та вузьких місць;
- розробити математичні моделі та алгоритми для отримання оптимальних рецептур морозива заданої якості;
- створити інформаційну технологію, що включає експертно-моделюючу систему розробки рецептур морозива;
- провести аналіз та обґрунтувати моделі, методи та інструментальні засоби створення експертно-моделюючої системи та її компонентів;
- провести апробацію експертно-моделюючої системи розробки рецептур морозива.

Об'єктом дослідження є процес моделювання рецептур морозива.

Предметом дослідження є експертно-моделююча система розрахунку рецептур морозива.

Методи досліджень: для досягнення поставленої мети у роботі були використані методи системного аналізу, методи дослідження та моделювання складних систем управління, методи дослідження операцій і математичного програмування, методи інформаційного моделювання систем, методи побудови експертних систем та баз знань.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:
удосконалено:

- метод моделювання рецептур морозива який, на відміну від традиційних, заснований на застосуванні технології обробки експертних даних та методів оптимізації, що дозволяє значно розширити коло практично значимих задач, рішення яких дає змогу отримувати значний економічний ефект.

вперше одержано:

- модель оптимізації переліку керуючих впливів на етапі формування хімічного складу рецептур морозива, яка дозволяє спрогнозувати можливість визначення технологічного дефекту на стадії моделювання та запропонувати заходи щодо його усунення;
- інформаційну технологію для підтримки процесу моделювання рецептур морозива.

дістало подальшого розвитку:

- знайшли подальший розвиток структурно-функціональні моделі, алгоритми і програми реалізації математичних методів оптимізації в технологічному процесі виробництва морозива різного хімічного складу з використанням експертно-моделюючої системи.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення процесу підтримки прийняття рішень при моделювання рецептур морозива.

Створена експертно-моделююча система, яка призначена для удосконалення і розробки нових видів морозива в широкому діапазоні зміни рецептурного складу та застосування принципово нових функціонально-технологічних інгредієнтів. Дана система дозволяє у виробничих умовах з мінімальними витратами часу

розраховувати оптимальні за складом рецептури морозива гарантованої якості з врахуванням наявної сировини.

Соціальна значимість наукової розробки полягає в тому, що використання створеної ЕМС дозволить покращити структуру харчування населення України за рахунок виключення з рецептурного складу морозива хімічно-модифікованих і синтезованих харчових добавок та їх заміни на натуральні біологічно повноцінні інгредієнти вітчизняного виробництва.

Економічна ефективність наукової розробки базується на скороченні витрат на проведення складних лабораторних досліджень при:

- підборі сировини та рецептурних інгредієнтів для використання їх у рецептурах морозива без проведення довготривалих та складних експериментальних виробок у лабораторних та виробничих умовах;

- моделюванні нових рецептур морозива на основі експертної інформації та використанні оптимізаційного апарату.

Результати дослідження використані під час виконання держбюджетних наукових тематик на кафедрах інформаційних систем і технології молока і молочних продуктів, а також впроваджені у навчальний процес цих кафедр.

Апробація підтвердила ефективність запропонованих у дисертаційному дослідженні моделей та інформаційної технології на підприємстві ТОВ «Альфа».

Особистий внесок у розробку результатів. Автором обґрунтовано актуальність теми, проаналізовані літературні джерела з даної проблеми, сформульовано мету і завдання дослідження, проведено комплексний аналіз і моделювання предметної області, підготовлено та опубліковано результати досліджень, розроблено інформаційну технологію, апробовано результати роботи. Особистий внесок дисертанта підтверджується представленими документами і науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались наступних всеукраїнських й міжнародних конференціях: Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ (м. Київ, НУХТ, 2008-2016 рр.); Міжнародна науково-технічна конференція (м. Київ, Європейський університет, 2008 р.), The second north and east European congress on food «NEEFood-2013» (Kyiv, NUFT, 2013, 2016); Науково-технічна конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, НУХТ, 2014-2018 рр.); Міжнародної науково-практична конференція «Продовольчі ресурси: проблеми і перспективи» (м. Київ, Інститут продовольчих ресурсів" НААНУ, 2014 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції» (м. Київ, НУХТ, 2015-2016 рр.); Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (м. Харків-Маріуполь-Кирилівка, 2015р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Стан і перспективи харчової науки та промисловості» (м. Тернопіль, МОН України, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015 р.); Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові

здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, НУХТ, 2016 р.); 85 Anniversary International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies (Kyiv, NUFT, 2019).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 32 друкованих праць, у тому числі: 14 статей – у наукових фахових виданнях України: 1 – у міжнародному виданні (Литва), 1 – у науково-практичному виданні, 15 тез доповідей у збірниках матеріалів всеукраїнських та міжнародних, наукових, науково-практичних і науково-технічних конференцій та конгресів. Одержано 1 деклараційний патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (70 найменувань), 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 138 сторінок. Робота містить 20 таблиць і 34 рисунка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, яка визначається необхідністю розробки експертно-моделюючої системи процесу розрахунку рецептур морозива, що дасть можливість підвищити ефективність роботи підприємств харчової промисловості та цілеспрямовано управляти якістю готової продукції. Наведено дані про зв'язок досліджень за темою дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами Національного університету харчових технологій кафедри інформаційних систем та кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ. Визначено об'єкт та предмет досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення результатів роботи. Наведено інформацію про структуру та об'єм роботи, публікації та особистий внесок автора дисертації.

У першому розділі проаналізовано можливі шляхи розроблення рецептур складних дисперсних систем морозива з метою підвищення його харчової цінності.

Дослідження процесу моделювання складу морозива показали, що розробка рецептур, в більшості випадків, розглядається лише як задача розробки нового продукту з оригінальними споживчими властивостями. Розглянуті задачі, як правило, вирішуються без використання інформаційних технологій і не враховують всю специфіку моделювання рецептур нових видів морозива підвищеної якості. Необхідно відзначити, що процес моделювання багатокomпонентних рецептур морозива вимагає великих витрат часу і матеріалів на лабораторні дослідження при кожній заміні чи підборі раціонального вмісту інгредієнтів.

З'ясовано, що в процесі розробки нових рецептур велике значення надається можливості моделювання споживчих характеристик готових виробів, прогнозування їх функціонально-технологічних характеристик на стадії складання рецептурних сумішей, що дозволяє в кінцевому підсумку підвищити їх якість.

Встановлено, що під час моделювання складу морозива слід враховувати те, що поняття «якість» є комплексом спеціальних вимог до органолептичних та фізико-хімічних показників, які взаємопов'язані. Так, збитість (об'ємний вміст

повітря), ступінь дисперсності повітряної фази та опір таненню, у першу чергу, формують органолептичне сприйняття консистенції готового продукту.

В сучасній науковій літературі виділяють клас ЕМС для підтримки моделювання рецептур складних харчових систем (фаршів, продуктів емульсійного типу та ін.), але на основі проведеного аналізу встановлено, що нині не існує ЕМС для розрахунку рецептур морозива в умовах реально діючих підприємств. Для грамотного корегування та розрахунку рецептур морозива в умовах промислового виробництва потрібно розробити ЕМС, яка б врахувала весь виробничий досвід та рекомендації науковців щодо складу морозива різних видів.

Економічний ефект від впровадження ЕМС, отриманий при використанні результатів НДР і закладений в базу знань ЕМС, забезпечуватиме покращення комерційної складової діяльності підприємств за рахунок економії робочого часу та витрат на сировину і допоміжні матеріали. Розроблена ЕМС надаватиме оперативну, обґрунтовану інформацію для прийняття правильних технологічних рішень.

За допомогою інструментального CASE-засобу Erwin Process Modeler та методології по стандарту IDEF0 досліджено виготовлення морозива за рахунок побудови структурно-функціональної моделі, що дало змогу виявити основні бізнес-процеси та інформаційні потоки, що їх забезпечують. Створена структурно-функціональна модель технології виготовлення морозива являє собою ієрархію взаємопов'язаних діаграм. В результаті моделювання та проведеного аналізу встановлено, що основним вузьким місцем при виготовленні морозива є бізнес-процес «Скласти оперативну рецептуру», адже вимагає багато уваги та знань експертів технологів, а також в результаті забезпечує керуючу дію у вигляді інформаційного потоку «Оперативна рецептура», який в свою чергу вже не змінюється на протязі усього виробничого процесу. Необхідно відзначити, що усі інші процеси, крім «Скласти оперативну рецептуру» вже автоматизовані і їх модернізації чи зміна не можлива, а також потребує зміну роботи усього автоматизованого технологічного комплексу по підготовці та виготовленню морозива.

В сучасних умовах для підвищення ефективності виробництва морозива технологи змушені використовувати в рецептурі різні інгредієнти, що значно ускладнює саму рецептуру морозива за умови забезпечення заданої якості кінцевої продукції. У той же час, існує суперечність між зростаючими вимогами до якості морозива, методиками і засобами розрахунку рецептур, які засновані, як правило, на досвіді і інтуїції технологів.

У **другому розділі** виконано прикладне математичне моделювання процесу розрахунку рецептур морозива з базовими та альтернативними інгредієнтами та розроблено наступні математичні моделі:

Теоретико-множинна математична модель управління якістю готового продукту на етапі оперативного планування рецептури нових видів морозива підвищеної харчової цінності має логічно-послідовний вигляд.

В момент часу T задано множину сировини у вигляді $X(T)$ – множини кортежів $X(T, i)$:

$$X(T, i) = \langle X(T, i, 1), X(T, i, 2), \dots, X(T, i, K + 1) \rangle \quad (1)$$

де $X(T, i, 1)$ – кількість i -ї сировини на складі в момент T ; $X(T, i, 2), X(T, i, K)$ – показники якості i -ї сировини на складі в момент T ; K – кількість показників якості.

Повинні виконуватися наступні рівності:

$$\begin{aligned} X(0) &= \emptyset, \\ X(0) &= \bigcup_{i=1}^N X(T, i) \\ X(T) &> 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Також, в момент часу T задано множину допоміжних матеріалів у вигляді $Xdpm(T)$ описується кортежами $Xdpm(T, i)$:

$$Xdpm(T, i) = \langle Xdpm(T, i, 1), Xdpm(T, i, 2), \dots, Xdpm(T, i, Kv + 1) \rangle, \quad (3)$$

де $Xdpm(T, i, 1)$ – кількість допоміжних матеріалів i -го виду на складі в момент T ; $X(T, i, 2), \dots, X(T, i, Kv + 1)$ – показники якості i -го виду допоміжного матеріалу на складі в момент T ; Kv – кількість показників якості i -го виду допоміжного матеріалу.

$$\begin{aligned} Xdpm(0) &= \emptyset, \\ Xdpm(T) &= \bigcup_{i=1}^N Xdpm(T, i), \\ Xdpm(T) &> 0. \end{aligned} \quad (4)$$

В момент часу T є планове завдання на виготовлення морозива, описане наступним чином:

$$Pz(T) = \langle Pz(T, 1), Pzmax(T, 2), Pzmax(T, L), Pzmin(T, 2), Pzmin(T, Np) \rangle, \quad (5)$$

де $Pz(T, 1)$ – обсяги запланованого виробництва морозива у кількісному вираженні; $Pzmax(T, 2), Pzmax(T, L)$ – максимально допустимі показники якості морозива; $Pzmin(T, 2), Pzmin(T, L)$ – мінімально допустимі показники якості морозива; Np – кількість показників якості готового продукту.

Задача зводиться до синтезу оператором U при заданому інтервалі dT , що формує кортеж $R(T+dT)$, який описується виразом:

$$R(T+dT) = U(X(T), Pz(T), NRec(T)), \quad (6)$$

де $R(T + dT) = \langle Xp(T + dT), Xpdpm(T + dT), Fp(T + dT) \rangle$; $Xp(T + dT)$ – множина сировини, що запланована до використання в інтервалі $(T, T + dT)$ на виробництво продукції; $Xpdpm(T + dT)$ – множина допоміжних матеріалів, що заплановані до використання в інтервалі $\langle T, T + dT \rangle$ на виробництво продукції; $Fp(T + dT)$ – кортеж продукції, що планується до виробництва в інтервалі $\langle T, T + dT \rangle$, $Fp(T + dT) = \langle Fp(T + dT, 1), Fp(T + dT, 2), \dots, Fp(T + dT, Np) \rangle$; $Fp(T + dT, 1)$ – обсяг запланованої до виробництва продукції; $Fp(T + dT, 2), \dots, Fp(T + dT, Np)$ – показники якості майбутньої продукції; $NRec(T)$ – нова рецептура, вироблена в момент часу T .

Нехай $Ff(T + dT)$ – це кортеж фактично виробленої продукції в інтервалі $\langle T, T + dT \rangle$, тоді $Ff(T + dT) = \langle Ff(T + dT, 1), Ff(T + dT, 2), \dots, Ff(T + dT, Np) \rangle$, $Ff(T + dT, 1)$ – кількість виробленої продукції в інтервалі $\langle T, T + dT \rangle$, а $Ff(T + dT, 2), \dots, Ff(T + dT, Np)$ – показники якості виробленої продукції.

Допустимий оператор Ud забезпечує виконання співвідношень:

$$\forall k (Pzmin(T + dT, k) \leq Fp(T + dT, k) \leq Pzmax(T + dT, k)), k = 2, \dots, Np \quad (7)$$

$$\forall k (Pzmin(T + dT, k) \leq Ff(T + dT, k) \leq Pzmax(T + dT, k)), k = 2, \dots, Np \quad (8)$$

Ці співвідношення забезпечують отримання продукції заданої якості.

Якщо $Xn(T + dT)$ – це множина сировини, що надійшла на склад в інтервалі часу $\langle T, T + dT \rangle$, то множина сировини в момент $T + dT$ визначиться співвідношенням:

$$X(T + dT) = X(T) \cup Xn(T + dT) \setminus Xp(T + dT). \quad (9)$$

Для допоміжних видів матеріалів співвідношення буде таким:

$$Xdpm(T + dT) = Xdpm(T) \cup Xdpmn(T + dT) \setminus Xdpmr(T + dT), \quad (10)$$

де $Xdpm(T + dT)$ – множина допоміжних матеріалів на складі в момент $T + dT$; $Xdpm(T)$ – множина допоміжних матеріалів на складі в момент T ; $Xdpmn(T + dT)$ – множина допоміжних матеріалів, що надійшли на склад в інтервалі $T, T + dT$; $Xdpmr(T + dT)$ – множина допоміжних матеріалів, що плануються до використання в інтервалі $T, T + dT$.

Нехай оптимальний оператор U_0 – допустимий оператор U_d , що забезпечує оптимальне значення заданого критерію ефективності Q , та визначається як вартість рецептурного складу морозива. Оскільки технологія виробництва морозива є багатоетапним та складним процесом, оператор U представимо набором операторів:

$$U = \bigcup_{i=1}^4 U_i, \quad (11)$$

де U_i – оператор, який формує Xp – множину сировини для переробки.

Відповідно до планового завдання обирається підмножина $Xp(T)$ для переробки:

$$Xp(T) = U_1(X(T), Pz(T)). \quad (12)$$

На основі обраної підмножини $Xp(T)$ оператором U_2 формується множина інгредієнтів для формування рецептур морозива:

$$\begin{aligned} \langle Y(T), Xdpmr(T) \rangle &= U_2(Xp(T), Pz(T)), \\ Y(T) &= \{y(T, i) \mid i = 1, \dots, |Y(T)|\}, \\ y(T, i) &= \langle y(T, i, 1), y(T, i, 2), \dots, y(T, i, M) \rangle, \end{aligned} \quad (13)$$

де $y(T, i, 1)$ – кількість i -го об'єкта; $y(T, i, 2), \dots, y(T, i, M)$ – показники якості i -го об'єкта; M – кількість показників якості i -го об'єкта; $Xdprmp(T)$ – множина допоміжних матеріалів, що використовують в інтервалі $T, T + dT$ при формуванні рецептурного складу.

Базуючись на множині $Y(T)$, оператор U_3 формує хімічний склад рецептури морозива $Z(T)$, який можна описати виразом:

$$\begin{aligned} Z(T) &= U_3(Y(T), P_z(T), R), \\ Z(T) &= \langle Z(T, 1), Z(T, 2), \dots, Z(T, Nf) \rangle, \end{aligned} \quad (14)$$

де $Z(T, 1)$ – планова кількість морозива; $Z(T, 2), \dots, Z(T, Nf)$ – показники якості морозива; Nf – кількість показників якості.

Морозиво $Z(T)$ оператором U_4 перетворюється в нову планову готову продукцію $Fp(T + dT)$, що описана виразом:

$$Fp(T + dT) = U_4(Z(T), P_z(T)). \quad (15)$$

Кортеж фактично виробленої продукції $Fp(T + dT)$ не обраховується, а формується відповідно до звітної документації підприємства.

Завдання оптимізації рецептури морозива полягає у визначенні інгредієнтного складу рецептури із застосуванням різних видів сировини, які мають певні фізико-хімічні характеристики та високу харчову цінність.

Для постановки задачі оптимізації багатокomпонентних рецептур морозива необхідно мати повну інформацію про перелік усіх видів інгредієнтів, які можуть увійти до складу рецептур, показники якості та функціонально-технологічні властивості кожного виду сировини, а також про кількісний вміст інгредієнтів.

Більшість рецептурних компонентів у складі морозива на молочній основі є базовими, а їх вміст контролюють відповідно до вимог нормативних документів. Наприклад, у складі морозива обов'язково регламентованим є вміст низки рецептурних компонентів: цукру та цукристих речовин; жиру; стабілізатора; вологи; сухого знежиреного молочного залишку. Смако-ароматичні речовини, наповнювачі та інші компоненти додають до сумішей морозива відповідно до рекомендацій виробників для формування заданих органолептичних показників конкретного виду продукту.

Нехай задано множину інгредієнтів, що описана кортежами Y :

$$Y(i) = \langle y(i, k) \rangle, \quad i = 1, N; \quad k = 1, K, \quad (16)$$

де $y(i, 1)$ – мінімально допустима частка i -го інгредієнта в рецептурі; $y(i, 2)$ – максимально допустима частка i -го інгредієнта в рецептурі; $y(i, 3)$ – вміст вологи в i -му інгредієнті, %; $y(i, 4)$ – вміст жиру в i -му інгредієнті, %; $y(i, 5)$ – вміст цукру та цукристих речовин в i -му інгредієнті, %; $y(i, 6)$ – вміст стабілізатора структури в i -му інгредієнті, %; $y(i, 7)$ – вміст сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ) в i -му інгредієнті, %; $y(i, 8)$ – ціна 1 кг i -го інгредієнта, грн.

Вимогами до показників якості кінцевого продукту є:

- ✓ K_v (вологи), % – $60 \leq K_v \leq 72$;
- ✓ K_s (СЗМЗ), % – $8 \leq K_s \leq 12$;
- ✓ K_j (жиру), % – $0,5 \leq K_j \leq 5$;
- ✓ K_{st} (стабілізатору структури не більше), % – $0,4 \leq K_{st} \leq 1,5$;
- ✓ K_z (цукру та цукристих речовин не більше), % – $14 \leq K_z \leq 18$.

Наприклад, для рецептури морозива вершкового класичного значення вищенаведених коефіцієнтів будуть такими:

$K_v = 65 \%$, $K_s = 10 \%$, $K_j = 15 \%$, $K_{st} = 0,5 \%$, $K_z = 14,5 \%$.

При зазначених вихідних даних потрібно визначити наступний вектор:

$$x = \langle x(i) \rangle, \quad i = 1, N, \quad (17)$$

де $x(i)$ – масова частка i -го інгредієнта в рецептурі.

Допустиме рішення є вектор x , що задовольняє нижчезазначеним обмеженням:

- обмеження за вмістом вологи:

$$\sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,3) \leq Kvk; \quad (18)$$

- обмеження за вмістом жиру:

$$\sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,4) \leq Kjk; \quad (19)$$

- обмеження за вмістом цукру:

$$\sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,5) \leq Kzk; \quad (20)$$

- обмеження за вмістом стабілізатора:

$$\sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,5) \leq Kstk; \quad (21)$$

- обмеження за вмістом СЗМЗ:

$$\sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,6) \leq Ksk; \quad (22)$$

- сума часток повинна дорівнювати одиниці (частки визначаються для одиничного продукту):

$$\sum_{i=1}^N x(i) = 1; \quad (23)$$

- обмеження на використання інгредієнтів:

$$\forall i (y(i,1) \leq x(i) \leq y(i,2)), \quad i = 1, N. \quad (24)$$

Функція оптимізації поставленого завдання буде мати вигляд:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N x(i) \cdot y(i,8) \rightarrow \min. \quad (25)$$

Відповідно до вищевикладеної технології формування нових видів рецептур, існує можливість замінювати окремі інгредієнти рецептури іншими інгредієнтами, що відповідають всім необхідним вимогам.

Замінник або новий інгредієнт можна виразити рівнянням:

$$Yz = \langle yz(k) \rangle, k = 1, K,$$

де $yz(1)$ – мінімально допустима частка замітника в рецептурі; $yz(2)$ – максимально допустима частка замітника в рецептурі; $yz(3)$ – вміст вологи в замірнику, %; $yz(4)$ – вміст жиру в замірнику, %; $yz(5)$ – вміст цукру в замірнику, %; $yz(6)$ – вміст стабілізатора структури в замірнику, %; $yz(7)$ – вміст сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ) в замірнику, %; $yz(8)$ – ціна 1 кг замітника, грн.; S – множина номерів інгредієнтів.

Таким чином, якщо $kz \in S$, то при його заміні інгредієнтом yz в постановці задачі потрібно внести відповідні зміни:

- включити в множину інгредієнтів замітник yz під номером $N + 1$;
- в формулах (18–23) замінити N на $N + 1$;
- формула (24) для номера kst набуває вигляду:

$$\forall(kst,1) \leq x(kst) + x(N + 1) \leq y(kst,2); \quad (26)$$

- для інших номерів формула (24) залишається незмінною.

Для вирішення задачі оптимізації рецептур морозива було використано симплекс-метод, де цільовою функцією є мінімізація ціни на продукт, а обмеженням є вимоги до якості морозива.

Так, при виявленні технологічних дефектів в рецептурах морозива (наприклад, в рецептурі високий відсоток вмісту дисперсної фази, що призводить до нестійкої структури, а смак і запах не відповідають вимогам), необхідно скорегувати набір функціонально технологічних і смако-ароматичних властивостей, якими володіє продукт за зазначеною рецептурою. Цей набір властивостей формується та корегується за рахунок керуючих впливів, що визначаються внесенням до складу рецептур харчових добавок з необхідними функціонально-технологічними властивостями.

В результаті постає завдання щодо вибору такого переліку керуючих впливів у вигляді харчових добавок, який би в сумі містив необхідний набір інгредієнтів, але при цьому сумарна вартість одиниці маси цих добавок була б мінімальною.

Множина харчових добавок Mhd , кожен елемент якої $Mhd(i)$ задано у вигляді кортежу:

$$Mhd(i) = \langle Mhd(i, k), Mhd(i, K+1) \rangle, \quad (27)$$

де $Mhd(i, k) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Mhd(i) \text{ володіє } k\text{-ою функціональною властивістю,} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$

$k = 1, \dots, K$, де K – кількість функціональних властивостей; $Mhd(i, K + 1)$ – ціна i -ої добавки.

Нехай задано набір функціональних властивостей у вигляді вектора:

$$FV = \langle FV(1) \rangle, I = 1, \dots, L, L \leq K, \quad (28)$$

де $FV = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \text{ потрібна наявність функціональної властивості } I \\ 0, \text{ у протилежному випадку} \end{cases}$.

Нехай Phd – підмножина Mhd : $Phd \subseteq Mhd$. Визначимо оператор Fh , що формує вектор FVh :

$$\begin{aligned} FVh &= Fh(Phd), \\ FVh(1) &= 0 \dots 1 = 1, \dots, L, \\ FVh(l) &= FVh(l) \vee Phd(i, 1) \quad l = 1, \dots, L, i = 1, \dots |Phd|. \end{aligned} \quad (29)$$

Таким чином, вектор FVh узагальнює набір функціональних властивостей, що відповідають підмножині Phd . Потрібно визначити таку підмножину Phd , за якої виконуються нижченаведені умови:

$$Fh(Phd) = FV, \quad (30)$$

$$\text{і критерій} \quad Q = \sum_{i=1}^{|Phd|} Phd(i, K+1) \rightarrow \min. \quad (31)$$

Сформульоване завдання належить до задач знаходження найменшого вершинного покриття NP -складної задачі оптимізації цілочисельного програмування й удосконалена правилами відкидання неперспективних варіантів. На площині $\langle S, T \rangle$, де $T = 0, \dots |Mhd|$, $S(T)$ – це множина точок, кожній з яких відповідає трійка значень: $\langle Phd(T), FVh(T), Q(T), nom(T-1) \rangle$, що описує варіанти побудови рішення на кроці T .

Зіставимо у кожній точці площини $\langle S, T \rangle$ вершину деякого графа, а отримання одного варіанта рішення на кожному кроці побудови рішення представимо дугою графа. Отриманий граф є графом допустимих станів (ГДС). Для зменшення розмірності задачі потрібно на кожному кроці відсіювати недопустимі та неперспективні варіанти рішень.

Розглянемо процес отримання нової точки $S(T+1, n)$ із точки $S(T, j)$.

Нехай $Mhd(n) \notin Mhd \setminus Phd(T, j)$, що створює підмножини:

$$Phd(T+1, n) = Phd(T, j) \cup Mhd(n), \quad (32)$$

$$FVh(T+1, n) = Fh(Phd(T+1, n)). \quad (33)$$

Якщо

$$FVh(T+1, n) = FVh(T, j) \vee \exists 1(FVh(T+1, n, 1) > FV(1)), \quad (34)$$

то додавання нової добавки або не збільшило функціональні можливості нової підмножини, або ж збільшило вартість рецептурного складу, або ж нова добавка забезпечує зайву функціональну властивість. Така вершина буде вважатися недопустимою для подальшого розвитку. В іншому випадку нова вершина – допустима. Для допустимої вершини критерій $Q(T+1, n)$ буде обраховуватися за наступним рекурсивним співвідношенням:

$$Q(T+1, n) = Q(T, j) + Mhd(n, K+1). \quad (35)$$

Якщо

$$FVh(T + 1, n) = FV, \quad (36)$$

то така точка залишається на вертикалі $T+1$ як допустима і далі переходить на наступні рівні в такому ж статусі.

Зіставимо кожній дузі переходу від точки $\langle T, j \rangle$ до точки $\langle T + 1, n \rangle$ величину $Mhd(n, K + 1)$, яку будемо інтерпретувати як довжину дуги. В такому випадку рішення задачі зводиться до знаходження найкоротшого шляху на ГДС від вершини $\langle 0, 0 \rangle$ до вершини $\langle |Mhd|, 1 \rangle$.

Для зменшення кількості вершин ГДС на кожному кроці рішення здійснюємо наступні дії. Нехай $Phd(T + 1)$ – множина всіх допустимих точок, отриманих на кроці $T + 1$. Розглянемо дві довільні точки на вертикалі $T + 1$: $phd(T + 1, i)$ та $phd(T + 1, j)$, відповідні їм вектори $FVh(T + 1, i)$ і $FVh(T + 1, j)$, та критерії $Q(T + 1, i)$ і $Q(T + 1, j)$.

Точка $Phd(T + 1, i)$ є неперспективною щодо до точки $Phd(T + 1, j)$, якщо виконується співвідношення:

$$\forall m(Phd(T + 1, j, m)) \geq Phd(T + 1, i, m) \wedge Q(T + 1, i), \quad (37)$$

де m – точка стану на вертикалі площини $\langle S, T \rangle$.

Описане співвідношення (37) полягає в тому, що на множині $Phd(T + 1, j)$ більше функціональних можливостей порівняно з множиною $Phd(T + 1, i)$ при меншій сумарній вартості добавок. Всі неперспективні вершини на кожному кроці побудови рішення відкидаються.

Розроблені математичні моделі, що призначені для оптимізації рецептур морозива, дозволяють уникати виникнення недоліків окремих показників якості цього продукту на окремих стадіях технологічного процесу виробництва.

У третьому розділі викладено концептуальні основи створення архітектури ЕМС розрахунку рецептур морозива та її апробація.

ЕМС розрахунку рецептур морозива має клієнт-серверну архітектуру і реалізована відповідно з принципами об'єктно-орієнтованого програмування для ОС Windows.

ЕМС забезпечує корегування рецептури з урахуванням всіх технологічних властивостей багатокомпонентних харчових систем, використовуючи базу знань. Якщо розраховувати оптимальну рецептуру тільки за допомогою одного математичного апарату, без використання ЕМС, то отримана рецептура навряд чи буде придатна для використання, оскільки не будуть враховані численні технологічні властивості.

Основна робота з ЕМС представлена у вигляді блок-схеми на рисунку 1.



Рисунок 1 – Алгоритм функціонування ЕМС розрахунку оптимальних рецептур

ЕМС складається з окремих чотирьох структурних блоків, які проектувалися і створювалися окремо, а потім були зв'язані в одну цілу взаємодіючу систему за допомогою інтерфейсу: бази даних, бази знань, програмних модулів реалізації математичного апарату та функцій контролю якості складу рецептури і її технологічної придатності.

База даних – необхідна для надання первинної інформації про рецептурні інгредієнти та їх фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості, допоміжні матеріали, показники якості, зберігає призначені для користувача дані про рецептурний склад, фізико-хімічні характеристики інгредієнтів, статус рецептури.

База знань – набір знань у вигляді правил щодо технологічних особливостей виготовлення морозива.

Модулі математичного апарату – набір прикладних математичних пакетів, які використовуються для реалізації моделей і алгоритмів, запропонованих в розділі 2. Математичний апарат надає певну універсальність рецептурам через можливу взаємозамінність окремих технологічно активних компонентів, що має велику практичну значимість в процесі виробництва продукту.

База знань ЕМС створена безпосередньо в БД у вигляді окремих сутностей. Набір цих сутностей дозволяє формувати об'єкти дослідження, правила, яким вони відповідають і рекомендації при задоволенні правил. Крім правил і фактів, що утворюють декларативну частину бази знань, в неї також входить процедурна частина, що складається із функцій і процедур, які реалізують оптимізаційні та розрахункові алгоритми.

Призначення кожної таблиці БЗ:

1. «Об'єкти дослідження» – список об'єктів, що підлягають аналізу, для виявлення в рецептурі технологічних відхилень;
2. «Правила» – список всіх правил, яким може відповідати об'єкт дослідження при тих чи інших подіях. Дії, що входять до складу правил, можуть містити нові факти. При застосуванні таких правил ці факти стають відомі системі, тобто включаються до множини фактів, яка називається робочою множиною;
3. «Правила об'єкта дослідження» – правила відповідні конкретному об'єкту дослідження;
4. «Рекомендації» – опис проблеми і рекомендації для її вирішення;
5. «Рекомендації об'єкта дослідження» – список рекомендацій об'єкта дослідження.

База знань ЕМС, не змінюється в процесі вирішення конкретної задачі.

В роботі розроблена база даних, в якій для інформаційного забезпечення системи використано ІВExpert, яка включає інформаційні об'єкти, їх характеристики та зв'язки між ними. Програмне забезпечення складається з двох частин: база даних і база знань, що зберігаються на сервері БД Firebird 2.5, та клієнтського додатку для роботи БД та БЗ, розробленого в інтегрованому середовищі створення програмного забезпечення Microsoft Visual Studio 2015 Community за допомогою технології Windows Forms. Роботу Windows Forms додатків з СУБД Firebird забезпечує менеджер пакетів NuGet, який виконує підключення пакетів: FirebirdSql.Data.FirebirdClient, EntityFramework, EntityFramework.Firebird. В додатках наведені Screenshots: зміст БД та БЗ, словники, підсистеми, зв'язки між ними, функції та параметри підсистем.

База знань EMC на основі продукційних правил створена безпосередньо в БД у вигляді окремих сутностей. На рис.6 представлено фрагменти інтерфейсу підсистеми «RULE» роботи з БЗ.

	RULE_DATE	RULE_SCRIPT	USER_ID	DESCRIPTION
итод_заміна_стабілізатору_ЗП	01.08.2017	((RCP_GROUP_ID=1))AND (RAW_GROUP_ID=2) ADN (RAW_ID=8) AND(RCP_QM_IN_CALC<=20))	1	
тості_заміна_стабілізатору_ББ	01.08.2017	((RCP_GROUP_ID=1))AND (RAW_GROUP_ID=2) ADN (RAW_ID=9) AND(RCP_QM_IN_CALC<=20))	1	
тості_заміна_стабілізатору_ЛБ	01.08.2017	((RCP_GROUP_ID=1))AND (RAW_GROUP_ID=2) ADN (RAW_ID=10) AND(RCP_QM_IN_CALC<=30))	1	
тості_заміна_стабілізатору_ЯП	01.08.2017	((RCP_GROUP_ID=1))AND (RAW_GROUP_ID=2) ADN (RAW_ID=11) AND(RCP_QM_IN_CALC<=30))	1	
тості_заміна_стабілізатору_ПТ	01.08.2017	((RCP_GROUP_ID=1))AND (RAW_GROUP_ID=2) ADN (RAW_ID=12) AND (Якщо ідентифікатор групи продуктів=1"Морозиво молочне" і ідентифікатор рецептурних компонентів = 2"Стабілізатор" і рецептурний компонент=12 "Гарбузове пюре" і розрахункове значення заміника <=30%)		
тості	01.08.2017	((QM_ID=1)AND(RCP_QM_VALUE=2))<(QM_MIN)		
стійкості структури	01.08.2017	((QM_ID=3)AND(RCP_QM_VALUE=3))<(QM_MIN)		
стійкості структури_заміна_ста...	01.08.2017	(OBJ_ID=1)AND(RULE_ID=1)AND(RULE_ID=2)AND(RULE_ID=3)AND(RULE_ID=4)AND(RULE_ID=5)		

Рисунок 2 – Фрагмент роботи підсистеми «RULE»

Функціонал EMC, реалізований відповідно структурної моделі «сутність-зв'язок» для формування бази знань.

На рисунках 3 та 4 представлено інтерфейс користувача EMC експериментальне підтвердження ефективності використання на прикладі розрахунку нової рецептури морозива «Морозиво молочне із зародками пшениці». За основу була взята нормативна рецептура морозива молочного класичного відповідно до типової технологічної інструкції з виробництва морозива (ТТІ 31748658-1-2007 до ДСТУ 4733:2007, 4734:2007, 4735:2007).

Технологічна карта №	Назва	Дата створення	Класифікація	Нормативний документ	Група
18	Морозиво молочне	01.08.2017	Морозиво на молочній основі	ДСТУ 4733:2007	Базова

Рецептурний склад	Кількість на 1000 кг		Заміна		Вартість 1000 кг, грн	
	Базова	Нова	Мін, %заміни	Мак, %заміни	Базова	Нова
Вода питна	650,00	636,00			1300,00	1300,00
Сухий знежирений молочний залишок (СЗМЗ)	101,00	101,00	10,10	12,00	6060,00	6060,00
Вершки з молока коров'ячого незбираного	88,00	88,00	8,80	9,00	7119,20	7119,20
Цукор білий кристалічний	155,00	155,00			2015,00	2015,00
Сremodan SE 406	6,00	замінено	20,00	100,00	1800,00	219,00
Всього (інгредієнтів 5):	1000	1000			18294,20	16713,20

Вартісні показники		Показники якості		
Група рецептури	Вартість 1000 кг/грн	Замінники	Рекомендації	Експертний аналіз
Базова	18294,20			
Нова	16713,20			
Різниця	-1583,00			
У 100%	8,64			

Найменування	Значення	Опис
Вміст дисперсної фази (збитість), %	76,5	Структура помірно щільна Кремоподібна
Розміри основних структурних елементів системи, мкм	37,9	Розмір повітряних бульбашок Достатний
Стійкість структурних елементів системи, с	2,82	Опір таненню Високий

Рисунок 3 – Фрагмент інтерфейсу ЕС. «Розрахунок нової рецептури морозива з частковою заміною стабілізатору»

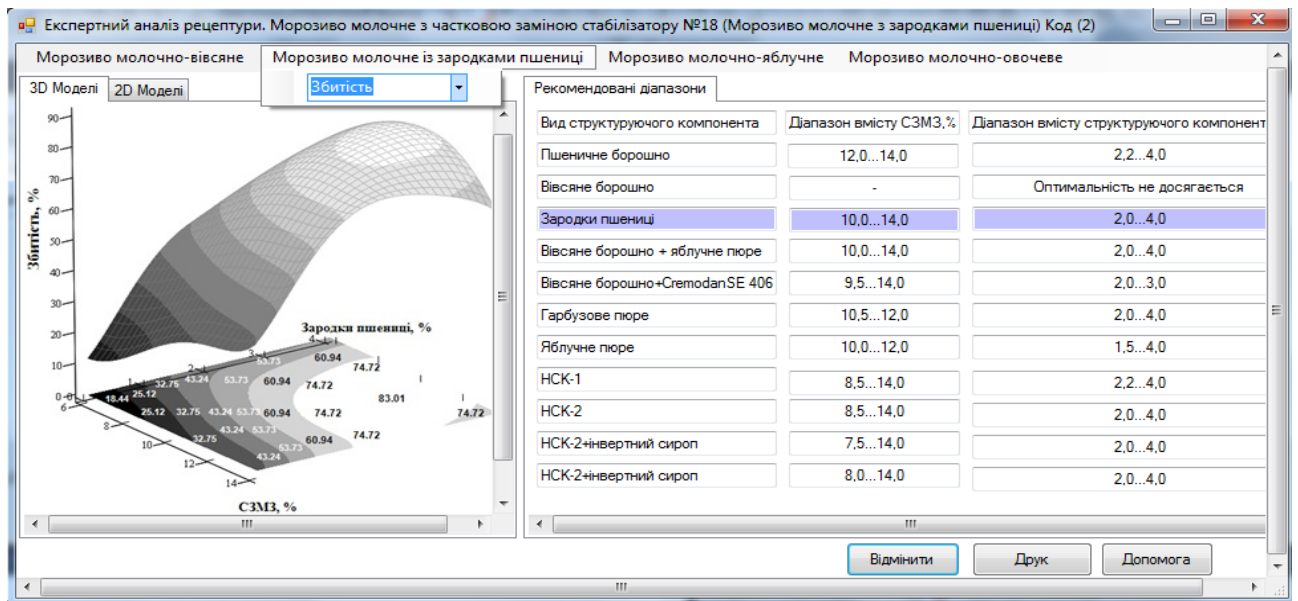


Рисунок 4 – Фрагмент інтерфейсу ЕС «Експертний аналіз рецептури»

При використанні ЕМС було розраховано на базі нормативної рецептури нову оптимальну рецептуру, з урахуванням повної заміни стабілізатору Cremodan SE 406 (виробник – фірма «Danisco», Данія) на натуральний структуруючий комплекс «зародки пшениці», при цьому нова рецептура задовольняє пред'явлені вимоги до якості готового продукту. Вартість 1000 кг. морозива молочного з зародками пшениці за новою рецептурою склала 16713,2 грн., що на 8,64% дешевше базової, а економічний ефект при використанні ЕМС під час розрахунку даної рецептури склав 80%.

Застосування ЕМС при розрахунку нових рецептур дозволяє поліпшити якість морозива за рахунок виключення з рецептурного складу хімічно-модифікованих і синтезованих харчових добавок та їх заміни на натуральні біологічно повноцінні інгредієнти вітчизняного виробництва, що дозволяє зменшити собівартість продукту.

ЕМС при виявленні технологічних дефектів в рецептурах (наприклад низький вміст дисперсної фази), пропонує набір рекомендацій, щоб скорегувати наявні дефекти. Цей набір рекомендацій формується механізмом логічного висновку, на основі закладених в БЗ фактів.

Інструментальні засоби, що використовувалися в процесі розробки ЕМС розрахунку рецептур морозива, використовують методологію проектування прототипів. Створена робоча модель кінцевого програмного продукту показала свою ефективність при розробці і оптимізації нової рецептури морозива молочного на основі натуральної сировини із заданими показниками якості.

У дисертаційній роботі запропоноване нове рішення науково-технічної задачі оптимізації рецептур морозива за рахунок створення нової ЕМС з використанням математичних методів та інформаційних технологій. Застосування цих методів забезпечує підвищення оперативності прийняття рішень у виробничих умовах з мінімальними витратами часу розраховувати оптимальні за хімічним складом рецептури морозива із заданими показниками якості.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі наведено результати розв'язання нової наукової задачі моделювання рецептури морозива шляхом створення та використання експертно-моделюючої системи розрахунку рецептур морозива, яка дозволяє удосконалювати рецептурний склад багатокomпонентних харчових продуктів в широкому діапазоні вмісту складових компонентів з їх повною або частковою заміною на інші, у тому числі натуральні функціонально-технологічні інгредієнти.

Відповідно до аналізу результатів проведених досліджень сформульовано наступні висновки:

1. Проведено аналіз моделей, методів та інструментальних засобів інформаційного забезпечення процесу моделювання рецептур морозива. Виконано дослідження процесу з використанням CASE-засобу ERwin Process Modeler та виявлено основні бізнес-процеси, а також інформаційні потоки, що їх забезпечують. Виявлено особливості усіх бізнес-процесів, а саме: створення та удосконалення рецептур вимагає досить суттєвих витрат часу та матеріальних ресурсів на проведення досліджень для перевірки відповідності органолептичних та фізико-хімічних показників якості готового продукту; моделювання оптимальних рецептур морозива вимагає обов'язкового використання інформаційних технологій.

2. Розроблено структурно-функціональну модель ЕМС та її компоненти, що призначені для ефективного забезпечення процесу моделювання рецептур морозива, а також гнучкої інтеграції з інформаційно-управляючим комплексом будь-якого підприємства даної галузі.

3. Розроблено модель оптимізації переліку керуючих впливів на етапі формування хімічного складу рецептур морозива, яка дозволяє спрогнозувати виникнення технологічного дефекту на стадії моделювання та запропонувати заходи щодо його усунення.

4. Розроблено математичний та алгоритмічний апарат для отримання оптимальних рецептур морозива за заданою якістю як складової ЕМС, що базується на розробленому методі розрахунку рецептур морозива, який заснований на технології обробки експертних даних та методів оптимізації.

5. Розроблено ЕМС для забезпечення збереження та упорядкування експертних знань про функціонально-технологічні властивості сировини в процесі її переробки у готовий продукт, що дає змогу прогнозувати процес формування нормативних показників якості морозива при створенні нових рецептур, а також дає можливість скоротити витрати при даному процесі.

Наукові положення, висновки та практичні результати, одержані в ході проведення дисертаційного дослідження, пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях, обговорювалися на наукових семінарах та викладені у матеріалах наукових конференцій, статтях і звітах про науково-дослідну роботу.

СПИСОК ОСНОВНИХ РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України:

1. Поліщук Г.Є., Вовкодав Н.І., Рибак О.М., Бреус Н.М. (2008). Розроблення математичних моделей для прогнозування реологічних характеристик морозива з нетрадиційними рецептурними компонентами. *Молочна промисловість*, 6, 25-28. (Науковий журнал входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук).

Особистий внесок: розроблення математичних моделей, аналіз реологічних показників якості морозива, підготовка матеріалів до друку.

2. Поліщук Г.Є., Вовкодав Н.І., Гулак О.В., Бреус Н.М., Перцевий Ф.В. (2010). Обґрунтування технологічних режимів одержання рослинних екстрактів для їх застосування у виробництві морозива. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 33, 20-23. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus*).

Особистий внесок: статистичний аналіз експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

3. Поліщук Г.Є., Вовкодав Н.І., Згурський А.В., Бреус Н.М. (2011). Овочева сировина як емульгувальний компонент при виробництві морозива. *Науковий вісник Львівського національного університету харчових технологій ім. Гжицького*, 4(50), 52-57. (Науковий журнал входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук).

Особистий внесок: багатовимірний регресійний аналіз експериментальних даних у системах, що містять овочеве пюре з підвищеним вмістом пектину, підготовка матеріалів до друку.

4. Поліщук Г.Є., Згурський А.В., Вовкодав Н.І., Бреус Н.М. (2012). Диспергування жирової фази при виробництві молочно-овочевого морозива. *Наука та інновації*, 4, 40-44. (Науковий журнал входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з економічних наук).

Особистий внесок: регресійний аналіз експериментальних даних при виробництві молочно-овочевого морозива, підготовка матеріалів до друку.

5. Поліщук Г.Є., Вовкодав Н.І., Гулак О.В. (2012). Математичне моделювання процесу екстрагування у системах «вода/рослинна сировина». *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 47, 55-60. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus*).

Особистий внесок: оптимізація технологічних режимів процесу екстрагування у системах «вода/рослинна сировина», підготовка матеріалів до друку.

6. Polischuk G.E., Ivanov S.V., Breus N.M. (2014). Features of ice-cream foam structure formation. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 8(5), 57-62. (Науковий журнал входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук).

Особистий внесок: оптимізація рецептурного складу морозива з нетрадиційними інгредієнтами, підготовка матеріалів до друку.

7. Бреус Н.М., Маноха Л.Ю., Поліщук Г.Є. (2015). Обґрунтування доцільності створення гібридної експертної системи контролю якості заморожених продуктів десертного призначення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 6, 109-116. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus*).

Особистий внесок: наукове обґрунтування доцільності створення ЕС в обраній предметній області, аналіз інструментальних засобів розробки ЕС, підготовка матеріалів до друку.

8. Маноха Л.Ю., Поліщук Г.Є., Бреус Н.М., Басс О.О. (2016). Оптимізація складу морозива на молочній основі з цукристими речовинами. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 1, 166-172. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus*).

Особистий внесок: розроблення багатofакторних математичних моделей для оптимізації складу морозива на молочній основі з цукристими речовинами, підготовка матеріалів до друку.

9. Устименко І.М., Бреус Н.М., Поліщук Г.Є. (2016). Наукове обґрунтування складу емульсій, призначених для нормалізації молокозмісних продуктів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 5, 183-189. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus*).

Особистий внесок: опрацювання та узагальнення експериментальних даних, розроблення математичних моделей аналізу результатів, підготовка матеріалів до друку.

10. Natalia Breus, Serhii Hrybkov, Galyna Polischuk (2017). Hybrid expert system to model the ice cream recipes. *Ukrainian Journal of Food Science*. Volume 5, Issue 2, 294-305. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), CAS Source Index (CASSI)*).

Особистий внесок: розроблення та реалізація структурних блоків експертної системи моделювання багатокомпонентних харчових, підготовка матеріалів до друку.

11. Vasylchenko T., Bilyk O., Kochubei-Lytvynenko O., Breus N., Bondarenko Yu. (2018). Development of a complex bakery improved «Freshness sms super» to extend the the freshness of wheat bread. *Technology audin and production reserves*. Volume 4, Issue 3(42),35-40. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *EBSCO, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), CAS Source Index (CASSI)*).

Особистий внесок: розроблення багатofакторних математичних моделей для оптимізації експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

12. Galyna Polischuk, Oksana Bass, Tetiana Osmak, Natalia Breus. (2019). Cryoprotective ability of starch syrup in the composition of aromatic and fruit-berry ice cream. *Ukrainian Food Journal*. Volume 8. Issue 2, 239-249. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Web of Science, EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), CAS Source Index (CASSI)*).

Особистий внесок: багатofакторний регресійний аналіз експериментальних даних, оптимізація рецептурного складу ароматичного морозива, підготовка матеріалів до друку.

13. Polischuk G., Sharahmatova T., Breus N., Bass O., Shevchenko I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food science and technology*. Volume 13 Issue 2, 71-78. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Web of Science, EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), CAS Source Index (CASSI)*).

Особистий внесок: розроблення багатofакторних авторегресійних моделей для оптимізація рецептурного складу морозива, структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

14. Breus, N., Hrybkov, S., Polischuk, G., and Seidykh, O. (2019). Розроблення математичного апарату експертної системи для моделювання рецептур морозива з заданими показниками якості. *Наука та інновації* . 15(5), 62–72. (Збірник входить до затвердженого МОН Переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Web of Science, Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Google Schola,*).

Особистий внесок: розроблення математичного апарату експертної системи для моделювання рецептур морозива.

Стаття у закордонному виданні:

15. Поліщук Г.Є., Бреус Н.М., Вовкодав Н.І., Раманаускас Р. (2013). Математическое моделирование активации функционально-технологических свойств яблочного пюре. *Maisto chemija ir technologija. Mokslo darbai (Food chemistry and technology. Proceedings)*, 47, 45–52. (Наукове періодичне видання Литви; міжнародна індексація *Index Copernicus*).

Особистий внесок: розроблення математичних моделей експериментальних даних активації функціонально-технологічних властивостей яблучного пюре, підготовка матеріалів до друку.

Стаття у науково - практичному виданні:

16. Галина Полищук, Наталия Бреус. (2013). Оптимизация состава мороженого молочного. *Молочная Индустрия*, 24-28, (Періодичне видання НУХТ).

Особистий внесок: оптимізація рецептурного складу морозива, підготовка матеріалів до друку.

Патент України:

17. Поліщук Г.Є., Басс О.О., Бреус Н.М. (2015). Патент України 106869. Київ: Державна служба інтелектуальної власності України.

Особистий внесок: проведення патентного пошуку, узагальнення експериментальних даних, складання опису, формули корисної моделі та оформлення заявки на патент.

Матеріали та тези доповідей на наукових конференціях:

18. Polischk G., Breus N. (2013). *Massex change process optimization while preparing vegetable raw materials in the ice-cream technology*, Proceedings of second North and East European congress on food «NEEFood–2013». Kyiv: NUFT.

Особистий внесок: багатофакторний регресійний аналіз даних для оптимізації кількісного складу рослинного матеріалу до внесення у морозиво, підготовка матеріалів до друку.

19. Бреус Н.М., Маноха Л.Ю., Поліщук Г.Є. (2014). *Динамічне моделювання процесу кристалізації води у морозиві*, Матеріали першої міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: динамічне моделювання експериментальних даних, проведення порівняльних характеристик, підготовка матеріалів до друку.

20. Бреус Н.М., Маноха Л.Ю. (2014). *Обґрунтування розробки експертної системи прогнозування стану водної фази у багатокомпонентних харчових сумішах*, Матеріали першої міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: системний аналіз предметної області, вибір моделей представлення знань, підготовка матеріалів до друку.

21. Поліщук Г.Є., Мартич В.В., Бреус Н.М. (2014). *Особливості формування структури морозива молочного*, Програма і матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. «Продовольчі ресурси: проблеми і перспективи». Київ: "Інститут продовольчих ресурсів" НААНУ.

Особистий внесок: оптимізація рецептурного складу морозива на молочній основі, структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

22. Поліщук Г. Є., Бреус Н. М., Мартич В. В. (2014). *Вплив температурного чинника на ефективну в'язкість сумішей морозива*, Тези доповіді III міжнародної науково-технічної конференції. Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей. Київ: НУХТ.

Особистий внесок: оптимізація технологічних режимів, що впливають на ефективну в'язкість сумішей морозива, формалізація і структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

23. Поліщук Г.Є., Бреус Н.М., Маноха Л.Ю. (2015). *Optimization of the composition of milk ice cream with starch syrup*, Матеріали міжнародної науково-

технічної конференції. Стан і перспективи харчової науки та промисловості. Тернопіль.

Особистий внесок: оптимізація рецептурного складу морозива на молочній основі з інверсним сиропом, формалізація і структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

24. Поліщук Г.Є., Павленко О.О., Бреус Н.М. (2015). *Удосконалення складу морозива на молочній основі*, Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності. Харків-Маріуполь-Кирилівка.

Особистий внесок: багатофакторний регресійний аналіз експериментальних даних, формалізація і структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

25. Подковко, О.А., Поліщук, Г.Є., Бреус, Н.М. (2016). *Оптимізація технологічних режимів виробництва масляної пасти з натуральними компонентами*, Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: оптимізація технологічних режимів виробництва масляної пасти з натуральними компонентами, підготовка матеріалів до друку.

26. Бреус Н., Маноха Л. (2015). *Розробка загальної схеми алгоритму гібридної експертної системи контролю якості заморожених продуктів десертного призначення*, Матеріали II міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: розроблення структурно-функціональної моделі експертної системи моделювання оптимальних рецептур, підготовка матеріалів до друку.

27. Бреус Н., Маноха Л., Поліщук Г. (2015). *Оптимізація складу морозива на молочній основі з цукристими речовинами*, Матеріали II міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: оптимізація складу морозива на молочній основі з цукристими речовинами, підготовка матеріалів до друку.

28. Бреус Н.М., Басс О.О. (2016). *Моделювання ступеня солодкості морозива на молочній основі*, Матеріали 82 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: розроблення математичних моделей для оптимізації ступеня солодкості морозива на молочній основі, формалізація і структурування експериментальних даних, підготовка матеріалів до друку.

29. Nataliya Breus, Oksana Bas, Lyudmila Manoha, Galyna Polishchuk. (2016). *Composition Modeling Of Ice-Cream Contained Starch Syrup*, Proceedings of the 8th

Central European Congress on Food. Kyiv: NUFT.

Особистий внесок: розроблення математичних моделей для оптимізації рецептурного складу морозива молочного з крохмальною патокою, підготовка матеріалів до друку.

30. Бреус Н.М., Грибков С.В. (2017). *Гібридна експертна система для моделювання рецептур морозива*. Матеріали II міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: аналіз інформаційних технологій обробки даних та знань, керування знаннями, представлення та інтерпретації результатів дослідження, підготовка матеріалів до друку.

31. Бреус Н.М. (2018). *Інструментальні засоби створення гібридної експертної системи моделювання рецептур морозива*. IV Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Особистий внесок: аналіз інструментальних засобів створення гібридних експертних систем, підготовка матеріалів до друку.

32. Natalia Breus, Serhii Hrybkov (2019). *Expert System for Ice Cream Recipes Modeling*. 85 Anniversary International scientific conference of young scientist and students «Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution», dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies .Kyiv: NUFT.

Особистий внесок: створення ЕМС для розрахунку рецептур морозива, підготовка матеріалів до друку.

АНОТАЦІЯ

Бреус Н.М. Інформаційна технологія моделювання рецептур морозива. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет харчових технологій МОН України, Київ, 2019.

У дисертаційній роботі аналітично та практично обґрунтовано доцільність створення експертно-моделюючої системи (ЕМС) розрахунку рецептур морозива.

Проведено дослідження процесу моделювання рецептур морозива з використанням CASE-засобу Erwin Process Modeler та виявлено основні бізнес-процеси, а також інформаційні потоки, що їх забезпечують.

Розроблено структурно-функціональна модель ЕМС та її компоненти, що призначені для ефективного забезпечення процесу моделювання рецептур морозива, а також забезпечує гнучке подальше удосконалення та інтегрування системи з промислово-інформаційним комплексом будь-якого підприємства даної галузі. Розроблено математичний та алгоритмічний апарат для отримання оптимальних

рецептур морозива за заданою якістю як складової ЕМС, що базується на розробленому методі моделювання рецептур морозива який, на відміну від традиційних, заснований на застосуванні технології обробки експертних даних та методів оптимізації.

Розроблена ЕМС дозволяє цілеспрямовано управляти якістю готового продукту впродовж технологічного процесу його виробництва за рахунок удосконалення рецептур морозива. Найбільша значимість розробки полягає у можливості заміни традиційних рецептурних компонентів принципово новими на основі натуральної сировини.

Економічний ефект від впровадження ЕМС, отриманий при використанні результатів НДР і закладений в базу знань ЕМС, забезпечуватиме покращення комерційної складової діяльності підприємств за рахунок економії робочого часу та витрат на сировину і допоміжні матеріали. Розроблена ЕМС надаватиме оперативну, обґрунтовану інформацію для прийняття правильних технологічних рішень.

Ключові слова: інформаційна технологія, експертно-моделююча система, база знань, оптимізація, математичний апарат рецептури.

ABSTRACT

Natalie Breus. Information technology of ice cream recipe modeling. - Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering on the specialty 05.13.06 - Information Technology. - National University of Food Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation analytically and practically substantiates the feasibility of ice cream recipe calculation by creating expert modeling system (EMS).

The ice cream recipe modeling process was studied using the CASE tool Erwin Process Modeler and the main business processes as well as the information flows that provided them were identified.

The structural and functional model of EMS and its components are designed to effectively support the process of modeling ice cream calculations as well as to provide flexible further upgrading and integration of the system with the industrial and information complex of any enterprise in this sector. A mathematical and algorithmic apparatus to obtain optimal ice cream recipes for a given quality as a component of the expert system is developed. It is based on the developed method of modeling ice cream recipes, which, unlike traditional ones, uses the expert data processing technology and optimization methods.

The EMS architecture consists of four separate blocks: a database, a knowledge base, software modules to implement the mathematical apparatus and quality control functions of the recipe composition and its technological applicability, user interface.

The database provides the primary information on recipe ingredients and their physical, chemical, functional and technological properties, auxiliary materials as well as quality indicators. It stores user-targeted data on recipe composition, physical and chemical characteristics of ingredients, recipe status.

The knowledge base covers product rules regarding technological characteristics of ice cream manufacture. The knowledge base is designed to store the long-term facts that describe the technology and ice cream production, the rules that define the relationship between these facts, and other types of declarative knowledge.

Mathematical apparatus modules are used to implement ice cream recipe modeling algorithms as well as to provide some recipe versatility due to the possible interchangeability of individual technologically active components. They have great practical importance in the process of product production.

Expert modeling system provides recipe correction that takes into account all technological properties of multicomponent food systems by using the knowledge base. If you simulate the optimal recipe only with the help of mathematical apparatus without the expert system usage, the obtained recipe is unlikely to be suitable to use, because the numerous technological properties are not taken into account.

The designed system allows purposefully manage the quality of the finished product during the technological process of its production. The greatest importance of the research lies in the automated selection of traditional recipe component replacement for fundamentally new ones based on natural raw materials.

Developed allows purposefully manage the quality of the finished product during the technological process of its production. The greatest importance of the development lies in the automated selection for the replacement of traditional prescription components fundamentally new based on natural raw materials.

The economic impact of the expert system implementation, derived from the research results and embedded in the EMS knowledge base, will improve the commercial component of the enterprise's activities by saving working time as well as costs of raw and auxiliary materials. The designed EMS will provide prompt, well-ground information to make the right technological decisions. The use of EMS will integrate the knowledge of scientists of different specialties as well as reduce the cost of complex laboratory studies while selecting ingredients in modeling new ice cream recipes.

Keywords: information technology, expert modeling system, knowledge base, optimization, mathematical apparatus, recipes.