

FEATURES OF MODELING COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN FOOD TECHNOLOGIES

A. Martseniuk, T. Misyura, N. Popova
National University of Food Technologies

Key words:

System
System analysis
Physical modeling
Mathematical modeling
Complex systems
Swelling

Article history:

Received 04.05.2018
Received in revised form
24.06.2018
Accepted 12.06.2018

Corresponding author:

T. Misyura
E-mail:
taras_as@i.ua

ABSTRACT

The mathematical modeling of complex systems of food technologies as a result of the development of physical modeling, which is performed taking into account the similarity theory and the use of initial and boundary conditions, is considered. The strategy for improving specific processes is, as a rule, initially conducted in-depth study of the process in order to identify the constraints that impede their intensive course, and then to select and develop a set of measures that remove these restrictions. The development of such measures requires modern theoretical and practical knowledge, the use of fairly accurate measuring instruments and computer technology with algorithms and programs that allow you to analyze the processes under study. However, most modern algorithms contain a significant amount of simplifying assumptions and does not have generalizing solutions.

Mathematical modeling of modern systems allows to increase the number of factors taken into account in equations and to get more precise description of processes with lower economic costs. The peculiarity of any simulation is its approximation, which follows from incomplete account of factors affecting the process and continuous changes of the Universe, which functions as the Unified System. Mathematical modeling is possible only for those processes for which sufficient amount of knowledge has been accumulated and which are already described by mathematical equations. A disadvantage of mathematical modeling is the significant loss of the ability to trace internal relationships between physical and chemical quantities during the process.

Simulation of new systems requires a systematic approach and includes the main aspects: creation of a new system in imagination based on the experience and existing knowledge; selection of the most important factors influencing the behavior of the system; simulation of the system's script on the computer and interpretation of the obtained results; making the model of the system and equipping it with the necessary control-measuring devices and means of control; experimental research of the manufactured system and determination of optimal operating modes.

The process of swelling of plant material (lofant) during extraction is considered based on the constructed matrix of experiment planning, and the regression equation is given for the dependence of the swelling ratio on the temperature of the extractant and the duration of the process.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-3-15

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ У ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

О.С. Марценюк, Т.Г. Мисюра, Н.В. Попова

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто математичне моделювання складних систем харчових технологій як результат розвитку фізичного моделювання, яке виконується з урахуванням теорії подібності та використанням початкових і граничних умов. Стратегія удосконалення конкретних процесів полягає, як правило, у проведенні спочатку глибоких досліджень процесу з метою виявлення обмежень, які заважають їх інтенсивному перебігу, а потім у підборі й розробленні комплексу заходів, що знімають ці обмеження. Розроблення таких заходів вимагає сучасних теоретичних і практичних знань, застосування досить точних вимірювальних приладів та обчислювальної техніки з алгоритмами і програмами, які дають змогу проаналізувати досліджувані процеси. Проте більшість сучасних алгоритмів містить значну кількість спрощуючих допущень і не має узагальнюючих рішень.

Математичне моделювання сучасних систем дає змогу збільшити кількість факторів, що враховуються в рівняннях, і отримати більшу точність описання процесів з меншими економічними витратами. Особливістю будь-якого моделювання є його приблизність, яка випливає з неповного врахування факторів, що впливають на процес, і безперервних змін Всесвіту, що функціонує як Єдина Система. Математичне моделювання можливе лише для тих процесів, для яких накопичений достатній об'єм знань і які вже описані математичними рівняннями. Недоліком математичного моделювання є значна втрата можливості прослідкувати внутрішні зв'язки між фізико-хімічними величинами в ході процесу.

Моделювання нових систем вимагає системного підходу і включає основні аспекти: створення в уяві на основі досвіду та наявних знань нової системи, яка відповідає поставленому завданню; вибір найбільш важливих факторів, що впливають на поведінку системи; моделювання на комп'ютері сценарію поведінки системи та інтерпретація отриманих результатів; виготовлення моделі системи й оснащення її необхідними контрольними-вимірювальними приладами та засобами керування; експериментальне дослідження виготовленої системи та визначення оптимальних режимів роботи.

За побудованою матрицею планування експерименту розглянуто процес набухання рослинної сировини (лофанту) під час екстрагування та наведено рівняння регресії для залежності коефіцієнта набухання від температури екстрагента і тривалості процесу.

Ключові слова: системний аналіз, фізичне моделювання, математичне моделювання складних систем, набухання.

Постановка проблеми. Теорія подібності та її теореми стосуються переважно фізичного моделювання, при якому подібність поширюється на явища

однакової фізичної природи (перемішування, нагрівання тощо). Наприклад, процес перемішування компонентів при приготуванні тіста вивчають на реальній, спеціально виготовленій моделі лабораторної мішалки невеликого розміру, виготовлення якої, внесення змін у її будову та проведення досліджень потребують значно менших коштів, ніж при використанні апарата великого розміру. Отримані результати досліджень, які відповідають оптимальним економічним витратам на проведення процесу (потужність приводу мішалки, тривалість процесу, співвідношення геометричних розмірів), використовують для проектування промислової мішалки, дотримуючись вимог трьох теорем подібності.

Фізичне моделювання порівняно з іншими методами краще та наочніше відтворює процеси в оригіналі, дає змогу вдосконалювати процеси на основі розуміння механізму їх перебігу.

Рівень сучасної обчислювальної техніки у ряді випадків надає можливість змогу замінити фізичне моделювання математичним. Якщо подібність поширюється на явища різної природи, але описується однаковими математичними залежностями, то моделювання називається математичним, або аналоговим. Математичне моделювання — це спосіб описання різних за фізичною природою технологічних процесів за допомогою системи однакових диференціальних, інтегральних або алгебраїчних рівнянь, що відображають функціональну залежність між вхідними і вихідними параметрами процесу.

Наприклад, беручи до уваги однаковий вигляд кінетичних рівнянь, що відображають швидкість процесів перенесення кількості руху, теплової енергії та маси, можна встановлювати певні закономірності теплових і масообмінних процесів на основі відомих законів руху рідин.

Для наближення математичної моделі до конкретного процесу загальні рівняння доповнюють початковими і граничними умовами та певними допущеннями. Від того, наскільки точно запропонована модель відображає особливості оригіналу, залежать результати математичного дослідження. Тому отримані результати перевіряють експериментально на достовірність, після чого модель може бути застосована для прогнозних розрахунків поведінки об'єкта досліджень.

Математичне моделювання дає змогу аналізувати поведінку об'єкта при різних значеннях фізичних величин і технологічних параметрах, отримувати характеристики і показники, які складно визначити експериментально. Залежно від прийнятих при складанні моделі положень один і той же процес може описуватись різними математичними моделями і мати різний рівень точності.

Математичне моделювання розглядають як узагальнення фізичного способу розширеного кодування фізичних величин. Воно дає можливість більш узагальнено розв'язувати практичні завдання, пов'язані з пошуком оптимальних технологічних режимів, що забезпечують зменшення витрат на виробництво продукції потрібної якості, визначенням конструктивних елементів машин і апаратів, а також керівних дій, що забезпечують сталість процесу в установлених оптимальних режимах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи моделювання загалом і математичного зокрема відіграють важливу роль в інтенсифікації наукових

досліджень та технічного прогресу, оскільки дають змогу отримати кількісну оцінку передбачуваних технічних вирішень найбільш економічними способами.

Збільшуючи кількість урахуваних у рівняннях факторів можна отримати більшу точність описання процесів. Проте моделювання завжди залишається приблизним. Неточність моделювання впливає з теореми, сформульованої у 1965 р. Белом, яка отримала назву «Про нелокальність причин» і підтримала ідею про те, що у Всесвіті все взаємопов'язано. Ця теорема стверджує, що ізольованих систем не існує і що вся система Всесвіту, навіть розділена на частини величезними відстанями, між якими відсутні зафіксовані нами сигнали, поля, механічні сили, енергії тощо, функціонує як Єдина Система [1].

Оскільки Всесвіт у вимірюванні нами проміжки часу не відноситься до періодичних систем і безперервно розвивається, тобто безперервно змінюються початкові і граничні умови умовно ізольованих нами технологічних систем, то навіть те ж саме явище, відтворене вдруге у тому ж апараті, внаслідок всезагальних зв'язків, повторюється дещо інакше. Тож логічно, що теорія подібності названа «Теорією подібності», а не «Теорією однаковості» перебігу однотипних процесів у геометрично подібних апаратах.

Щонайменші не вловлені відхилення початкових параметрів, дія мізерних сил, що виникають невідомо звідки, можуть вплинути на реальний перебіг процесу внаслідок так званого ефекту «метелика». Цей ефект сформулював у 1961 р. метеоролог Е. Лоренц. Він встановив багаторазово підтверджений факт, що навіть незначні зміни початкових умов, які не можуть бути враховані при комп'ютерному моделюванні погодних змін, приводять до значних похибок, і прогнози, складені більше ніж на тиждень, просто безпідставні. Його «ефект метелика» звучить приблизно так: «Рух крила метелика в Перу, якщо метелик знаходиться поблизу точки біфуркації, через серію непередбачених і взаємно пов'язаних подій може посилити рух повітря і, в підсумку, привести до урагану в Техасі». Подібну ідею висловив і математик Анрі Пуанкаре, коли писав: «Зовсім нікчемна причина, що вислизає від нас за своєю малістю, спричиняє значну дію, яку ми не можемо передбачити».

У квантовій механіці всі об'єкти, згідно з принципом невизначеності Гейзенберга, характеризуються флуктуаціями фізичних величин. Флуктує й електромагнітне поле, флуктуації якого співвідносяться з електричним струмом, що продукується обертанням на орбіті електрона — за відкриття цього явища Фейнман отримав Нобелівську премію.

З позицій квантової теорії поля фізичний вакуум — це простір, у якому відсутні реальні частинки, що характеризуються масою, але заповнений флуктуаціями всіх фізичних полів. У природі немає полів, інтенсивність яких була б абсолютним нулем, але спостерігати їх можна лише тоді, коли у вакуумі опиняється елементарний фізичний об'єкт. Цей об'єкт через флуктуації завжди взаємодіє з усіма наявними у природі фізичними полями. Із квантової фізики випливає, що в природі взагалі не може бути ізольованих тіл, тому що кожне тіло через серію флуктуацій постійно взаємодіє з усіма іншими тілами.

Мета статті: провести порівняльний аналіз сучасного стану розвитку фізичного і математичного моделювання складних систем харчових техно-

логі, визначити можливості і достовірність отриманих результатів та роль оператора у виконанні цього процесу.

Викладення основних результатів дослідження. Сучасні теоретичні й експериментальні дослідження фізиків [2—4] підтверджують уявлення про нерозривну цілісність Всесвіту і миттєву швидкість передачі інформації між окремими його елементами через торсійні поля. У монографії [2] квантова інформація трактується як фундаментальна кількісна характеристика будь-якої системи і як джерело всіх процесів, які можуть бути проявлені в системі. Всесвіт і наша планета безперервно змінюються і ці зміни вносять корективи у перебіг технологічних процесів (в умовах проведення процесів харчових виробництв ці корективи, зазвичай, настільки незначні, що ми їх не враховуємо).

Стратегія удосконалення конкретних процесів при фізичному моделюванні полягає, як правило, в проведенні спочатку глибоких досліджень процесу з метою виявлення обмежень, які заважають їх інтенсивному перебігу, а потім у підборі й розробленні комплексу заходів, які знімають ці обмеження. Розроблення таких заходів вимагає сучасних теоретичних і практичних знань, застосування досить точних вимірювальних приладів і обчислювальної техніки з алгоритмами й програмами, які дають змогу провести аналіз досліджуваних процесів, причому бажано в автоматичному режимі. Проте більшість сучасних алгоритмів містить значну кількість спрощуючих допущень, не має узагальнюючих рішень і через складність досліджуваних систем не завжди може бути використана для отримання оптимальних висновків.

Складні системи, що складаються з кількох зв'язаних між собою взаємодіючих підсистем, набувають нових властивостей, які відсутні на підсистемному рівні і не можуть бути зведені до властивостей підсистемного рівня. У таких системах утворюються нові технологічні ефекти, які у взаємодії з фізичним вакуумом створюють принципову можливість процесів нового типу з використанням додаткової енергії від різних фізичних явищ.

Найпростішим прикладом можуть бути гідродинамічні кавітаційні пристрої [5], в яких внаслідок накладання кількох явищ різної фізичної природи в умовах високої щільності енергії у невеликому об'ємі відбувається перебудова структур води з частковим вивільненням енергії водневих зв'язків, що сприймається нами як генерація надлишкової енергії, неврахованої рівняннями енергетичного балансу.

Системи рівнянь, що описують математичну модель певного технологічного процесу, часто мають більшу кількість невідомих величин, ніж число рівнянь, і не можуть бути розв'язані аналітично. В таких випадках застосовують моделювання на цифрових обчислювальних машинах, яке дає змогу отримати чисельні рішення прийнятих систем рівнянь.

Недоліком математичного моделювання є значна втрата можливості прослідкувати внутрішні зв'язки між фізико-хімічними величинами в ході процесу. Цей недолік частково усувається за допомогою тривимірних зображень.

Математичне моделювання можливе лише для тих процесів, для яких накопичений достатній об'єм знань і які вже описані математичними рівняннями. Деякі процеси, наприклад, процес перемішування рідких середовищ, який широко використовується для інтенсифікації явищ перенесення, ще не

отримав належного математичного описання. Тому сучасні дослідження оптимальних умов явищ перенесення супроводжуються великою кількістю експериментів. З метою зменшення об'єму експериментів використовується теорія математичного планування експериментів.

Під час досліджень і опрацювання результатів, як правило, теоретичні знання поєднуються з експериментальними. Такий метод досліджень отримав назву синтетичного.

Складні системи включають кілька зв'язаних між собою в одне ціле підсистем (елементів), кожна з яких має свої властивості. Згідно з правилом емерджентності (у перекладі з англ. означає «поява нового») властивості складної системи обумовлюються не лише властивостями окремих елементів системи, а й зв'язками між ними, і тому якісно відрізняються від властивостей окремих елементів системи. Складним системам характерні додаткові часові затримки, невизначеність, випадковість (стохастичність), непередбачуваність їх реакцій на зовнішні впливи.

Створення нових складних технологічних систем вимагає моделювання їх прогнозованої поведінки. Для цього використовують методологію системного підходу, яка полягає у всебічному дослідженні об'єкта як цілісної множини елементів у сукупності відношень і зв'язків між ними та із зовнішнім середовищем на основі використання електронно-обчислювальної техніки й сучасних методів обробки інформації. Системний підхід (англ. *systems thinking*, тобто «системне мислення») об'єднує теорію пізнання з експериментальними дослідженнями.

Основними принципами системного підходу є: цілісність (система розглядається одночасно і як єдине ціле, і як підсистема вищих рівнів); ієрархічність побудови (наявність елементів нижчого рівня, підпорядкованих елементам вищого (керуючого) рівня); структуризація (наявність організаційної структури, яка дає змогу аналізувати елементи системи і їх взаємозв'язки); множинність (використання множини кібернетичних, економічних і математичних моделей для опису окремих елементів і системи в цілому).

Закінчена теорія системного підходу до побудови нових систем поки ще не розроблена, проте незаперечними умовами такого підходу є наявність фахових знань і вміння користуватись обчислювальною технікою.

Моделювання нових систем включає такі основні аспекти:

1. Створення в уяві нової системи. На основі досвіду та наявних знань пропонують різні варіанти систем (у тому числі й абсурдні) і серед них вибирають найбільш логічні, беручи до уваги легкість виготовлення, простоту функціонування, надійність, продуктивність, безпечність тощо.

2. Моделювання на комп'ютері функціонування (сценарію поведінки) вибраної системи. Побудова сценарію поведінки повинна включати дані про властивості підсистем, методи об'єднання їх в одну систему, зв'язки системи з зовнішніми впливами, мету дослідження, регулювання очікуваних ефектів.

Розроблено більше 20 різних методів моделювання й аналізу технологічних передбачень перебігу процесів (багатовимірне, кроково-регресійне, оптимізаційне для нестабільних і стійких систем, комунікаційне, морфологічне, стохастичне, імітаційне, непряме тощо), причому різні методи можуть давати

різні кінцеві рішення, що дає змогу не лише краще оцінити результати в цілому, а й може призводити до помилок. Для їх зменшення використовують методи адаптивного управління зі зворотними зв'язками, усунення впливу локальних помилок на функціонування системи, принципи очевидності, умови забезпечення цілісності, надійності і стійкості систем.

Стійкість керованої системи, згідно з принципом Ешбі, можна підвищити за допомогою її різноманіття, тобто введенням додаткових підсистем або дублюванням елементів, які повертають систему в один із допустимих станів (наприклад, якщо в технологічній системі надлишкове виділення піни приводить до викидання продукту з апарата, то стійкість системи можна підвищити введенням додаткової підсистеми піногасіння, як це зроблено в апаратах для культивування мікроорганізмів).

Кількість впливових величин при моделюванні складних систем може досягати 40 і більше, що призводить до необхідності перебору 2^{40} варіантів перебігу процесу, кожен з яких може характеризуватись набором невеликої кількості (наприклад 5...7) найбільш важливих величин. Для оцінки системи вибирають невелику кількість найбільш реальних варіантів. Це впливає на точність прийняття рішень і вимагає подальшої комп'ютерної та експериментальної перевірки.

3. Виготовлення системи та оснащення її контрольно-вимірювальними приладами та засобами керування.

4. Експериментальне дослідження виготовленої системи, визначення оптимальних режимів роботи, перевірка на адекватність, тобто на відповідність експериментально отриманих результатів розрахунковим.

Слід зауважити, що розробка і моделювання складних систем важка і клопітка справа і вимагає кількох років наполегливої праці.

У широкому розумінні кінцевим завданням процесів і апаратів харчових виробництв є створення технологій виробництва таких продуктів харчування, які б поряд з високими органолептичними й енергетичними характеристиками забезпечували повноцінне біологічне і соціальне функціонування кожної людини. Для цього необхідно створити складну систему сукупності компонентів харчових продуктів з урахуванням їх взаємодії між собою під час виготовлення та зберігання і об'єднати цю систему в одне ціле з найбільш складною системою організму людини без можливих побічних ефектів.

У взаємодії організму людини з продуктами харчування слід враховувати не лише характеристики продуктів, а й фізіологічні особливості окремого індивідууму, його спадковість, соціальний статус, професійну діяльність, поведінку, фізичне тренування і дотримання режиму, загартованість організму, вчинки й захисні реакції, які можуть змінюватися у зв'язку з пережитими загрозливими ситуаціями та спілкуванням з іншими людьми і приводити як до покращення, так і до погіршення самопочуття.

Створюючи функціональні продукти, слід враховувати і мінімізувати вплив не лише домішок шкідливих хімічних речовин, а й допущених до вживання у малих дозах стабілізаторів, емульгаторів, антиокислювачів, смакових добавок. Їх сумісне вживання може підсилювати ефект негативної дії кожного окремого компонента і шкодити організму; особливо шкідливі продукти перетво-

рення трихлорфенолу (тератогени), які спричиняють зміни в клітинах зародка і вражають не організм, який його асимілює, а подальші покоління.

До вирішення проблеми створення продуктів повноцінного харчування, користуючись методом системного підходу, наука лише наближається, приймаючи дуже великі спрощення, наприклад, розділяючи компоненти продуктів на групи білків, жирів і вуглеводів, без урахування властивостей і вмісту окремих компонентів у кожній групі і розглядаючи людину як середньостатистичну без урахування характеристик кожної особистості, як частково відкритої системи, яка до того ж сама може змінювати очікувану дію продукту.

Крім методів системного підходу, користуються також методом кумуляцій, за яким одне й те ж поняття можна розглядати з різних позицій: спрможності до відновлення, логічності, корисності, можливості інтенсифікації, здатності до саморегулювання. Цей метод інколи може дати швидкий результат.

Використання комп'ютерного моделювання відкриває перспективи створення для різних категорій людей продуктів здорового і функціонального харчування, які будуть усувати недомагання, підвищувати активність і продовжувати тривалість життя, та розробки засобів зворотного зв'язку для регулювання дозування на основі індивідуальних особливостей вживання продукту кожною людиною.

Невпинно створюються нові продукти харчування та напої як на базі комбінування компонентів відомої харчової сировини, так і на основі селекції та досліджень ще не використовуваних рослин, грибів, бактерій, морських продуктів. Створенню продуктів функціонального призначення на науковій основі сприяють успіхи молекулярної біології, генетики і генної інженерії, біофізики, біохімії обмінних процесів. Системна методологія передбачення [6] дає змогу на якісному рівні провести комплексні роботи з технологічного передбачення під час створення нових харчових продуктів.

Інтеграція нових технологій не є простим процесом і висуває нові вимоги як до створення самого процесу, так і до розробки баз даних, характеристик і складу харчових продуктів та дії їх компонентів на організм. Крім того, необхідна спеціальна підготовка фахівців, які можуть кваліфіковано розібратись у результатах, отриманих у ході комп'ютерного моделювання, і передбачити можливість виникнення побічних ефектів.

Як приклад, подано процес водопоглинання рослинної сировини під час екстрагування [7].

При дослідженні водопоглинання та зміни розмірів частинок сировини встановлено, що на початку процесу відсоток набухання збільшується повільно, а потім стрімко зростає, досягаючи максимуму. Отриманий характер зміни коефіцієнта набухання дає змогу охарактеризувати увесь процес поглинання вологи частинками сировини як тристадійний: змочування матеріалу, заповнення вологою міжклітинного простору, проникнення вологи у середину клітини. При цьому волога спочатку розчиняє екстрактивні речовини у поверхневому шарі, а потім разом із ними потрапляє у міжклітинний простір. У міру проникнення вологи в середину частинок, а також внаслідок впливу підвищеної температури відбувається змінення будови клітковини та одно-

часне зменшення опору клітини вилученню екстрактивних речовин з частинок сировини.

Дослідження виконувалось за побудованою матрицею планування активного повного двофакторного експерименту, за результатами якого методом регресійного аналізу отримано рівняння регресії, яке адекватно описує залежність коефіцієнта набухання рослинної сировини K від температури екстрагента t та тривалості процесу τ :

$$K = 1,911 - 0,016 t - 0,075 \tau + 0,002 t \tau.$$

Наведене вище рівняння та поверхня відгуку (рис. 1) отримані за результатами дослідження процесу набухання лофанту.

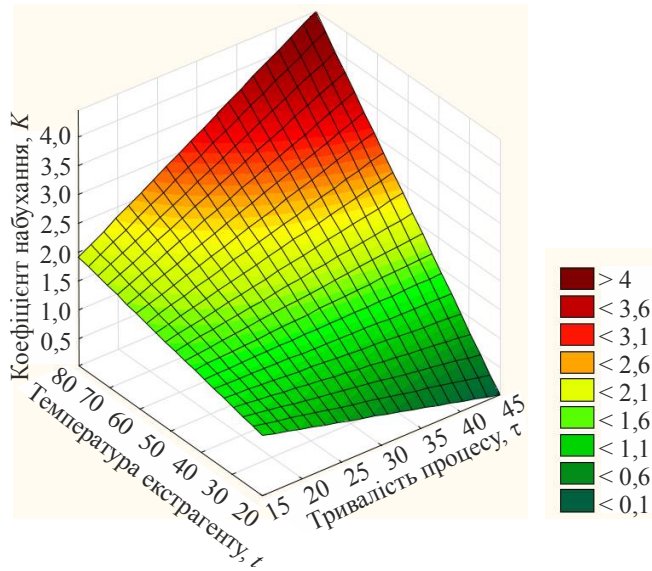


Рис. 1. Поверхня відгуку залежності коефіцієнта набухання рослинної сировини K від температури екстрагенту t і тривалості процесу τ

Коефіцієнт набухання, розрахований за наведеним вище рівнянням, необхідно враховувати під час розрахунків коефіцієнта дифузії речовин рослинної сировини, а час набухання – під час планування тривалості процесу їх екстрагування. Отримане рівняння регресії для коефіцієнта набухання дає змогу підібрати оптимальні режими попередньої підготовки рослинної сировини трав'яного і листового походження.

Висновки

Дослідження показують, що фізичне моделювання, виконуване з урахуванням теорії подібності, не втрачає актуальності і є складовою частиною математичного моделювання з визначенням граничних умов і експериментальної перевірки адекватності моделі.

Велика кількість впливових факторів при моделюванні складних систем харчової технології, які враховують не тільки характеристики чистих харчових продуктів, а й шкідливих домішок до них, та взаємодію продуктів з фізіо-

логічними особливостями організму окремої людини з урахуванням способу її життя, не дає змоги перебрати всі можливі варіанти, знижує точність моделювання і вимагає широких знань та інтуїції дослідника як при виборі найбільш важливих факторів, так і при інтерпретації отриманих результатів.

Для подальшого розвитку моделювання необхідно не тільки розробляти нові й удосконалювати існуючі методи моделювання, а й розширювати бази даних властивостей харчових продуктів, удосконалювати і підвищувати точність вимірювальних пристроїв і приладів, що вимагає додаткових економічних вкладень.

Література

1. *Тихоплав В.Ю.* Гармония хаоса или фрактальная реальность / В.Ю. Тихоплав, В.С. Тихоплав. — Санкт-Петербург : ВЕСЬ, 2003. — 352 с.
2. *Доронин С.И.* Квантовая магия. — Санкт-Петербург : ИГ «ВЕСЬ». 2009. — 336 с.
3. *Шишов Г.И.* Теория физического вакуума. Теория, эксперименты и технологии. — Москва : Наука, 1997. — 451 с.
4. Торсионные поля и информационные взаимодействия. — 2009. Материалы междунар. научн. конф. Хоста. — Сочи. 25—29 августа 2009 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.Second-physics.ru/node/23>.
5. *Федоткин И.М.* Кавитация. Т. 2. Теоретические основы производства избыточной энергии / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. — Киев : АО «ОКО», 2000. — 898 с.
6. *Згуровський М.З.* Системна методологія передбачення. — Київ. Політехніка, 2001. — 52 с.
7. *Попова Н.В.* Інтенсифікація процесу періодичного екстрагування за допомогою низькочастотних механічних коливань при виробництві екстрактів із рослинної сировини [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Попова Наталія Вікторівна ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ, 2008. — 281 с.