



KAPITEL 1 / CHAPTER 1 ¹
**ENGINEERING SOLUTIONS FOR FORMING INNOVATIVE FERMENTED
PRODUCT TECHNOLOGY FOR HEALTHY FOOD**
DOI: 10.30890/2709-2313.2024-35-00-010

Вступ

Головною сучасною тенденцією у виробництві харчових продуктів є збереження і підвищення їх якості й безпеки та формування продукції із заданими властив

остями, які мають визначену функціональну спрямованість. Це складне завдання має багат шарову структуру, яка охоплює техніко-технологічні, соціальні, економічні, екологічні та інші аспекти. Виходячи із вимоги інноваційності продуктів харчування і враховуючи багатоаспектність бізнес-рішень, виробник змушений підходити до вирішення виробничих проблем системно. Системний характер інноваційних рішень обумовлює необхідність використання адекватних інструментів моделювання продуктів, технологій, виробництв і підприємств. Серед таких інструментів високоефективним є інноваційний інжиніринг, спрямований на вирішування різних проблем технологічного та проєктного характеру, що виникають під час виробництва традиційних і нових продуктів з рослинної сировини. Розробка інноваційного продукту має здійснюватися на основі комплексу цілей, які відображають інтереси як підприємства, так і суспільства.

Інноваційний інжиніринг стає дієвим інструментом формування виробничих рішень стосовно будь-якого харчового продукту. Об'єктом даного дослідження обрано малосольні огірки. Огірки відносяться до харчових продуктів із групи «мінімум енергії – максимум біологічної цінності» і завжди були улюбленим продуктом як в Україні, так і за кордоном.

Наукові дослідження свідчать про те, що огірок є цінним дієтичним та лікувальним продуктом, харчове значення якого полягає не в поживності, а у

¹*Authors: Seliutina Halyna Anatolyivna*

Number of characters: 65870

Author's sheets: 1,65



вмісті ферментів і мінеральних солей необхідних для кращого засвоєння іншої їжі. Його бажано вживати людям, хворим на гіпертонічну та гіпотонічну хвороби, серцеву недостатність, подагру, людям, які страждають від зайвої ваги. Також огірок корисний для хворих на цукровий діабет через вміст цинку, який сприяє роботі підшлункової залози та виробленню інсуліну.

Світова кухня знає багато прийомів обробки з метою отримання огірків різних за смаком та функціональною дією. На сучасному етапі розвитку систем моделювання продуктів стає можливим формування найбільш корисного продукту з заданими властивостями. Інжиніринговий підхід стає в цьому сенсі потужним інструментом підготовки і прийняття ефективних технологічних рішень. Із метою досягнення необхідного значення речовин окремих компонентів, що визначають їх якість, шляхом використання методів математичного моделювання з'являється можливість визначення раціональних технологічних режимів обробки огірків.

Актуальною проблемою є збереження кольору рослинної сировини у процесі її переробки під дією різних чинників. Колір харчових продуктів є важливим органолептичним показником якості. Загальне враження про продукт створюється зазвичай на основі зовнішнього вигляду, тобто зорового відчуття. Незважаючи на суб'єктивність колірного сприйняття, колір визначає відношення споживача до товару. У процесі переробки сировини під дією різних чинників відбуваються безповоротні зміни кольору, тому збереження кольору рослинної сировини є актуальною проблемою. Шляхом застосування математичної обробки спектрів віддзеркалення на спектрофотометрі виробник може обирати такі режими обробки сільськогосподарської сировини, які дозволяють зберегти або обрати привабливий для споживача колір.

Інжиніринговий підхід до процесу виробництва харчових продуктів дозволяє обґрунтувати технологічні параметри, виходячи із варіантів харчової цінності та якості і безпеки продуктів харчування, взагалі.

Якість є одним із найважливіших чинників для споживачів продуктів харчування. Для визначення інтегральної оцінки якості нової продукції зазвичай



враховують комплексний показник якості та показник економічної ефективності від упровадження нової продукції у виробництво, а розрахунки комплексного та інтегрального показників якості проводять згідно з прийнятими принципами кваліметрії.

1.1. Інноваційний інжиніринг як інструмент забезпечення ефективного виробництва якісної та безпечної харчової продукції

Сучасні економічні та соціальні умови вимагають нових форм за забезпечення якості та безпеки харчової продукції з рослинної сировини та молока, її ефективності і конкурентоспроможності на ринку. Бізнес-рішення стають більш комплексними і системними, враховують все більшу кількість чинників, зокрема біологічних, екологічних, економічних, тощо. Системний характер інноваційних рішень обумовлює необхідність використання адекватних інструментів моделювання продуктів, технологій, виробництв і підприємств.

Інноваційний інжиніринг вирішує завдання з дослідження інноваційних проєктів та генерування ідей щодо застосування прогресивних технологій виробництва продуктів з рослинної сировини та молока; обирає і застосовує прогресивні технології, обладнання, конструкції і матеріали з урахуванням світових тенденцій розвитку харчових технологій; проведення інженерно-консультаційних робіт, обговорення результатів досліджень та інноваційних проєктів, їх донесення до споживача і презентації наукових розробок та захисту інтелектуальної власності; мінімізування ризиків під час впровадження технологічних інновацій для забезпечення якості та безпечності продуктів з рослинної сировини та молока.

– Для того щоб гідно конкурувати на світовому ринку, виробник повинен пропонувати покупцеві інноваційний продукт, який має високу якість, безпеку споживання, екологічну тару та відходи споживання.

– Аналіз структури харчових продуктів, що випускаються на сучасних



харчових підприємствах, свідчить про те, що на сьогодні до інноваційної продукції належать у першу чергу харчові продукти оздоровчого та профілактичного призначення. Ця продукція представлена в основному традиційними харчовими продуктами, збагаченими есенціальними макро- або мікронутрієнтами, які надають готовим продуктам оздоровчих властивостей. З точки зору інновацій харчові продукти або нові дієтичні добавки, отримані з використанням кріогенних, низькотемпературних, мембранних або нанотехнологій, безперечно, належать до технологічно нових продуктів.

Інноваційне харчове підприємство можна розглядати як сучасне виробництво традиційних і нових харчових продуктів, що базується на досягненнях науково-технічного прогресу, передбачає активне використання нових технологічних і технічних рішень з метою постійного зростання соціальної та економічної ефективності господарювання. Продуктові, процесові, маркетингові, організаційні, інтелектуальні та інфраструктурні інновації вирішують цілі ефективного розвитку підприємства, забезпечують його конкурентні переваги та гарантують високу якість, екологічність та безпеку споживання харчових продуктів.

– В галузі виробництва харчових продуктів оздоровчого та профілактичного призначення виділились наступні напрями досліджень інноваційного характеру:

– прогресивні технології для виготовлення нових оздоровчих харчових продуктів (високовітамінні рослинні добавки з використанням азотних технологій та кріогенної технології);

– інноваційні технології виробництва харчової продукції масового споживання нового покоління (нові плодово-ягідні наповнювачі за технологією структурованої продукції з капсульною структурою з використанням монотропного гелеутворення);

– моделювання рецептур харчових продуктів оздоровчої та лікувальної дії;

– розробка прогресивних енерго- та ресурсозберігаючих процесів.

– Сучасна наука пропонує різні види інноваційних продуктів, які можна



було б впроваджувати більш активно в інноваційний процес підприємств України:

- натуральні плодоовочеві продукти з використанням інтенсифікуючих
- технологій, які відрізняються збереженням вітамінного складу, смаку та кольору, подовженими термінами зберігання (фруктові та овочеві порошки, пасти з дикорослої сировини (бузина чорна, слива японська, обліпиха, кизил, глід), цукати з плодів та овочів, фруктові та овочеві пасти, соуси з натуральних плодів підвищеної біологічної цінності, свіжезаморожені фрукти та овочі);
- використання біодеградуючого комбінованого пакувального матеріалу з природних компонентів, здатного біорозкладатися у природних умовах;
- харчові БАД, які використовуються у лікувальному та профілактичному харчуванні з використанням інноваційної кріотехнології;
- сушені продукти швидкого приготування з використанням сушіння із змішаним теплопідводом та рециркуляцією повітря (сушена картопля, сушені трави, порошок виноградної вичавки, сушені дикорослі плоди та ягоди);
- заморожені напівфабрикати для перших страв без ароматизаторів, барвників, консервантів, з подовженим терміном зберігання (суміш овочів високого ступеня готовності);
- енерго- та ресурсозберігаючі безвідходні технології;
- інтенсифікуючі технології зі зниженими енерговитратами;
- вилучення з нетрадиційної рослинної сировини (ароматичні та біолого-активні речовини вишні, винограду, малини тощо).

XXI століття стало початком великих змін у науці про харчування та харчових технологій. Це пов'язано перш за все із виробництвом принципово нових харчових продуктів, а саме функціональних або оздоровчих. Так називають продукти, що є частиною звичайного раціону і які, окрім поживних властивостей, мають здатність позитивно впливати на всі функції та системи організму, і завдяки цьому при їх регулярному вживанні знижується ризик виникнення хронічних захворювань.

- Загальний інтегральний підхід до створення інноваційного харчового



продукту (рисунок 1) базується на використанні традиційного харчового середовища, наступному його збагаченні з отриманням функціональних інгредієнтів і видаленні шкідливих для організму людини речовин. При цьому можуть бути використані як традиційні технології обробки харчової сировини, так і сучасні, які діють на молекулярному рівні [1]. Складність формування інноваційного харчового продукту визначає необхідність застосування комплексу технічного, технологічного, організаційного, маркетингового, фінансового та управлінського заходів, які і формують підхід інноваційного інжинірингу.

– Як високоризикова інноваційна модель розвитку галузі повинна мати підтримку з боку держави. Для цього можуть бути запропоновані наступні підходи:

– розробка стратегії підтримки інноваційної діяльності підприємств переробної харчової промисловості;

– запровадження режиму кредитування та фінансування інноваційної діяльності;

– затвердження стратегії структурних перетворень харчової галузі, направлену на підвищення взаємодії підприємств сільського господарства та переробних підприємств;

– впровадження заходів щодо залучення вітчизняного наукового інтелекту для створення інноваційного продукту;

– забезпечення тісного зв'язку у напрямку «наука – технологія – виробництво».

Розробка інноваційного продукту має здійснюватися на основі комплексу цілей, які відображають інтереси як підприємства, так і суспільства:

– розширення номенклатури товарів;

– заміна застарілого продукту або технології;

– освоєння нових ринків або збільшення частки ринку;

– поліпшення якості товарів;

– скорочення часу, необхідного для випуску інновацій;



Рисунок 1 – Схема інтегрального підходу до створення інноваційного харчового продукту та розгортання інноваційного інжинірингу

- підвищення гнучкості виробництва;
- збільшення потужностей для виробництва;
- зменшення витрат праці на одиницю продукції;



- зменшення матеріальних витрат;
- зменшення впливу на навколишнє середовище;
- поліпшення якості здоров'я;
- поліпшення рівня безпеки.

Весь комплекс цілей має досягатися на рівні підприємства. Це постійна складна, кропітка робота фахівців різних напрямів і рівнів кваліфікації. В нашій роботі ми висвітлимо технологічні аспекти створення нового продукту із застосуванням інструментів математичного моделювання, які вирішують питання підвищення якості та безпеки продукції і складають основу інжинірингового підходу.

1.2. Оптимізація технологічного процесу охолодження огірків за допомогою математичного моделювання

Улюбленим продуктом як в Україні, так і за кордоном є огірки. У свіжому та переробленому вигляді вони мають високі смакові якості та лікувальні властивості. Кількість органічної води у огірках становить 95...97%, сухих речовин – 3...5%.

Найбільш цінною складовою огірків є цукор, який надає їм солодкого присмаку, легко засвоюється і використовується для синтезу нових частин тканин організму. Загальна кількість цукрів знаходиться в діапазоні від 1,2 до 2,65% і представлена, насамперед, моноцукрами та дисахаридами. Глюкоза та фруктоза становлять половину сухої речовини, сахароза – у дуже невеликій кількості або зовсім відсутня. Досліджено, що плоди містять 0,56...0,98% азотистих речовин (в основному 65% білків), 0,1% жирів, 0,5...0,7% харчових волокон. Клітковина складає основну масу клітинних стінок овочів та відіграє важливу захисну роль. Крім того, вона має стимулюючу дію на перистальтику кишечника. Дослідження показали, що огірки містять 0,68% клітковини. У них є також невелика кількість крохмалю, пектинових речовин (0,24%),



геміцелюлози (0,1%), лігніну.

У плодах огірка знаходяться пептонізуючі ферменти, які сприяють засвоєнню білкових продуктів і вітаміну В₂ з іншої їжі, а також покращують травлення. Вміст пентозанів в огірках становить 0,19% [2]. Органічні кислоти, які містяться в огірках, також впливають на смак овочів і беруть участь у багатьох фізіологічних процесах і, в тому числі, позитивно впливають на мікрофлору кишечника. Приємний, освіжаючий смак огірків частково залежить від наявності невеликої (від 16 до 68 мг на 100 г сухої речовини) кількості вільних органічних кислот (хлорогенової і кофеїнової) [3]. Характерний запах зумовлюється присутністю в огірках ефірної олії.

Шкірочка плодів огірка містить жироподібні речовини, які під час засолювання поглинають ефірні олії доданих прянощів. Огіркове насіння олійне (до 34%), тому їх олія може бути цінним харчовим продуктом [4].

Огірки з відкритого та захищеного ґрунту за хімічним складом відрізняються. Плоди із захищеного ґрунту містять менше сухої речовини і цукрів.

Забарвлення огірків з відкритого ґрунту темно-зелене, а з захищеного – блідо-зелене. Проте плоди із захищеного ґрунту відрізняються великим вмістом калію (до 215 мг/100 г), що надає їм гарні дегідратичні властивості. Крім того, плоди перших зборів, зазвичай, містять більше сухої речовини і цукрів, ніж у пізніх.

Середня кількість енергії, яку отримує організм у разі вживання 100 г огірків, становить 63 кДж.

В обміні речовин важливу роль відіграють зольні елементи. Вони знаходяться в овочах у вигляді добре засвоюваних солей різних органічних та мінеральних кислот, а також частково входять до складу високомолекулярних органічних сполук. Плоди огірка бідні мінеральними речовинами, але вдале їх співвідношення зумовлює такі високі споживні властивості, що ніякі інші овочі (крім редьки) і фрукти не можуть з ними конкурувати. Цю характерність, очевидно, можна пояснити здатністю огірків розчиняти сечову кислоту. Залежно від сорту й умов вирощування в огірках міститься від 0,5 до 0,7% зольних



речовин. Основна маса їх золи складається з калію (141...186 мг на 100 г) і фосфору (23...42 мг). Натрію міститься в золі 7...8,5 мг, кальцію 15...23, магнію 8...14, заліза 0,5...0,6 мг. Заліза в огірках більше, ніж у редисці, смородині, суниці, виноградові.

У плодах знайдено низку мікроелементів (мг/кг сухого речовин): алюмінію – 80, марганцю – 50, нікелю – 60, міді – 30, цинку – 50, свинцю – 30, йоду – 0,9, а також фтор, хром, срібло, ванадій, свинець, олово, титан, кобальт, цирконій. Йод знаходиться в огірках у легкозасвоюваній формі. Виявлені сліди срібла в огірках мають бактерицидну дію в організмі людини [5, 6].

Вітамінів у плодах огірка небагато. Вміст аскорбінової кислоти (вітаміну С) варіює залежно від умов вирощування і сорту в межах 8...28 мг%, причому його більше у молодших плодах. Вона сконцентрована переважно в зеленій шкірці плодів (до 40...60 мг). Різниця в кількості вітаміну С в плодах одного і того ж сорту, але вирощених у різні роки, може досягати 10 мг.

За умов слабкої освітленості рослин зменшується вміст вітаміну С у плодах [7]. Порівняно з іншими овочами огірки мають найбільш активну оксидазу аскорбінової кислоти, в соку – пероксидазу. У плодах огірка міститься каротин (провітамін А) – 0,060...0,280 мг/100 г сирі речовини, тіамін (вітамін В₁) – 0,018...0,030, рибофлавін (вітамін В₂) – 0,030...0,040, біотин (вітамін Н) – 0,021, піридоксин (вітамін В₆) – 0,035, а також ніотинова (вітамін РР) – 0,190...0,200, пантотенова (вітамін В₁₂) – 0,240 і фолієва (вітамін В₉) кислоти [8]. Каротин знаходиться, головним чином, у шкірці, поряд зі ксантофілом і хлорофілом [9]. Із овочевих рослин огірок найбільш багатий біотином і бідний фолієвою кислотою. Остання міститься лише у свіжих плодах. Фолієва кислота легко руйнується при кулінарної обробки продуктів. Великі втрати її і під час консервації [10, 11].

Плоди містять активні дегідрози – амінодегідразу, цигрикодегідразу, фумарази, сукциндегідразу і фосфорглюкодегідразу [12]. Виявлені також глутатинредуктазу і пектинестеразу, протеолітичний фермент, який гідролізує пептин та казеїн із виділенням триптофану, розчиняє желатин і згортає молоко



[13]. Цей овоч, справедливо вважається рекордсменом за вмістом лужних еквівалентів (+31,5 мекв). Він сприятливо впливає на реакцію крові, зміщуючи її у лужний бік.

Огірки відносяться до харчових продуктів із групи «мінімум енергії – максимум біологічної цінності» [14]. Споживання їх визнано необхідним у раціональному харчуванні. Можливості використання огірків у кулінарії дуже різноманітні. Огірки вживають у вигляді різноманітних салатів, закусок та перших страв, з яких найрозповсюдженішими є розсольники.

Певний час серед науковців різних країн була проблема визначення появи гірких речовин у різних рослинних продуктах [15]. Встановлено, що деяким рослинам сімейства гарбузових гіркоту надає особлива речовина – кукурбітацин, який відноситься до класу тетрациклічних тритерпеноїдів [16]. В рослинах знайшли кукурбітацин вільний, і зв'язаний з молекулою цукру у вигляді глюкозидів. Гіркотою овочі зобов'язані вільним кукурбітацином [17].

Сумісно з Інститутом хімії АН Молдови було з'ясовано механізм утворення гіркоти огірків за рахунок кукурбітацину В та С. За допомогою спектрофотометричного методу дослідження (УФ-спекроскопія) знайшли, що кукурбітацини є і в гірких, і в солодких огірках, але в солодких їх вміст дуже малий. Кукурбітацин є своєрідним регулятором окислювально–відновлювальних змін у рослині, тому огірки можна розглядати як протипухлинний засіб [18].

Таким чином, наукові дослідження свідчать про те, що огірок є цінним дієтичним та лікувальним продуктом, харчове значення якого полягає не в поживності, а у вмісті ферментів і мінеральних солей необхідних для кращого засвоєння іншої їжі. Його бажано вживати людям, хворим на гіпертонічну та гіпотонічну хвороби, серцеву недостатність, подагру, людям, які страждають від зайвої ваги. Також огірок корисний для хворих на цукровий діабет через вміст цинку, який сприяє роботі підшлункової залози та виробленню інсуліну.

В світовій кухні є багато прийомів обробки з метою отримання огірків різних за смаком та функціональною дією. На сучасному етапі розвитку систем моделювання продуктів стає можливим формування продукту з заданими



властивостями. Інжиніринговий підхід стає в цьому сенсі потужним інструментом підготовки і прийняття ефективних технологічних рішень.

Визначення раціональних технологічних режимів обробки огірків із метою досягнення необхідного значення речовин окремих компонентів, що визначають їх якість, є складним технологічним завданням, і його рішення може бути досягнуто шляхом використання методів математичного моделювання. Проте, приймаючи до уваги складність взаємозв'язків між вхідними та вихідними змінними технологічного процесу, що не дає повною мірою використати основні фізико-хімічні закони, та певна невизначеність параметрів сировини, що буде перероблятися, математичну модель процесу доцільно будувати на основі регресійних співвідношень. Використання такої моделі дає можливість знайти співвідношення між змінними процесу, які у середньому вірно відтворюють його перебіг. Крім того, за рахунок використання сучасної теорії планування експерименту, що полягає у проведенні цілеспрямованих дослідів, можна зменшити кількість експериментів та скоротити загальний термін проведення досліджень.

Загальне рішення цієї проблеми складається з трьох етапів: на першому етапі шляхом усебічного попереднього аналізу технологічного процесу та проведення цілеспрямованих експериментів знаходять об'єктивні залежності між параметрами технологічного процесу і тими значеннями, що являють собою показники якості даного процесу. На основі здобутих експериментальних даних шляхом наступної математичної обробки отримують математичну модель процесу. Здобута модель дає перше уявлення щодо наявності зв'язків між параметрами технологічного процесу та показниками якості. Після уточнення коефіцієнтів моделі, переходять до другого етапу дослідження [19].

На другому етапі шляхом використання методів багатокритеріальної оптимізації на основі здобутої математичної моделі знаходять значення рецептури технологічного процесу, які максимально наближені до бажаних значень показників якості продукту [20].

На третьому етапі остаточно перевіряють знайдені параметри



технологічного процесу на відповідність встановленим показникам якості та за необхідності показники рецептури корегують. У більшості випадків це необхідно для уточнення показників органолептичного спрямування, тому що вони під час побудови математичної моделі визначаються суб'єктивно і можливі деякі відхилення остаточних показників якості порівняно з початковими вимогами [21].

Після знаходження аналітичних залежностей між показниками якості та вхідними параметрами процесу необхідно за заданими показниками знайти відповідні сполучення параметрів технологічного процесу, які давали можливість найбільшого наближення до заданих показників якості.

Одним із сучасних методів, який використовується для розв'язання цієї задачі, є метод багатокритеріальної оптимізації [22, 23]. Це означає, що треба знайти таке сполучення вхідних параметрів технологічного процесу, яке забезпечує максимальне наближення до заданих значень за певним критерієм наближення. Вибір виду найкращого критерію зумовлено особливостями технологічного процесу. У більшості випадків використовують критерій найменших квадратів, який забезпечує для технічних об'єктів найкраще наближення до заданих величин. Тому за критерій наближення до показників якості продукту було обрано наступний критерій:

$$q = k_i(y_i - y_{iz})^2, \quad (1)$$

де y_i – показник якості значення якого визначається за результатами обчислення математичної моделі,

y_{iz} – заданий показник якості відповідного параметра;

k_i – коефіцієнти вагомості, які дозволяють досліднику виділяти окремі показники серед загальної кількості всіх показників якості і які повинні відповідати умові $\sum_i k_i = 1$

Обраний критерій (1) має широке використання, тому що він дає



можливість наблизитись до заданого значення без урахування можливих великих відхилень від певних значень на малому інтервалі коливань значень параметрів технологічного режиму.

Проте проведений попередній аналіз результатів математичного моделювання показав, що найкращі значення відповідно критеріїв якості не відповідають єдиному сполученню вхідних параметрів технологічного процесу. Тому необхідно «згорнути» ці критерії в один комплексний, за результатами розрахунків якого можна знайти такі сполучення вхідних параметрів технологічного процесу, які дозволять максимально наблизитись до заданих значень.

Щодо загальної постановки задачі до даного технологічного процесу, то вона має наступне формулювання: необхідно одночасно мінімізувати чотири критерії показників якості готової продукції у вигляді:

$$q_i(X) \rightarrow \min_{X \in \Omega}, i = 1, \dots, 4, \quad (2)$$

де $q(X)$ – загальний критерій якості,

Ω – множина дозволених рішень щодо використання критеріїв.

Під множиною дозволених рішень розуміють усі можливі сполучення вхідних показників технологічного процесу, які можуть бути реалізовані. Вибір загального критерію якості зумовлений значеннями вихідних показників якості процесу після проведення експерименту. Аналіз здобутих даних у матриці моделювання процесу визначення параметрів рецептури показав, що всі вихідні дані мають приблизно один порядок і тому не має потреби приводити їх до відносних значень одного порядку. Як критерій наближення, що дозволяє «згорнути» всі чотири критерії до одного, буде обрано критерій, який відповідає вимогам методу найменших квадратів і має наступний вигляд:

$$Q(X) = \sum_{i=1}^4 [q_i(X) - W_i]^2 \cdot k_i, \quad (3)$$

де $q_i(X)$ – значення i -го показника, що обчислюється за математичною



моделлю;

W_i – необхідне значення показника якості щодо вимог до даного технологічного процесу.

Вагові коефіцієнти k_i дозволяють більш точно наблизити відповідні показники якості процесу до наперед заданих значень. Вони також дають можливість урахувати окремі вимоги, що можуть ставитися до показників готового продукту і які можуть оперативнo змінюватися.

Остаточно формула за якою будуть визначатися параметри технологічного процесу має вигляд:

$$c = \min (Q, X), \quad (4)$$

де c – значення вектора параметрів технологічного процесу, які забезпечують виконання (4),

X – вектор вхідних змінних процесу.

Для знаходження параметрів технологічного процесу X використовується стандартна програма Minimize пакету MathCAD.

За заданими якісними показниками $y_1 = 6,5$; $y_2 = 5,5$; $y_3 = 5$; $y_4 = 4,5$ шляхом моделювання знайдені наближені значення параметрів технологічного процесу: концентрація солі – 2,94%; тривалість технологічного процесу – 58 хв. Знайдені шляхом математичного моделювання значення параметрів процесу були перевірені за умов проведення додаткових експериментів, які дали можливість з'ясувати окремі показники технологічного процесу обробки огірків із урахуванням можливості коливання технологічних та органолептичних показників. Остаточно були обрані наступні значення параметрів технологічного процесу: концентрація солі 3,0%, тривалість обробки – 60 хв, температура обробки – -18°C .

Слід зазначити, що точність визначення параметрів технологічного процесу обробки та їх значення певним чином зумовлені значенням та стабільністю



технологічних показників сировини, що переробляється. Тому якщо осереднені технологічні показники значення сировини, що надходить на переробку, будуть суттєво відрізнятися від значень, що використовувалися під час розробки та досліджень математичних моделей, то доцільно провести досліди, що мають своєю метою уточнення коефіцієнтів математичних моделей для кожного показника якості. Це дасть змогу шляхом математичного моделювання, без проведення фізичних експериментів, внести необхідні корективи і визначити змінені значення вхідних параметрів технологічного процесу.

1.3. Інжинірингове рішення вибору колориметричних показників охолоджених огірків

Колір харчових продуктів є важливим органолептичним показником якості. Загальне враження про продукт створюється зазвичай на основі зовнішнього вигляду, тобто зорового відчуття. Незважаючи на суб'єктивність колірного сприйняття, колір визначає відношення споживача до товару. У процесі переробки сировини під дією різних чинників відбуваються безповоротні зміни кольору, тому збереження кольору рослинної сировини є також актуальною проблемою. Ця проблема вирішується шляхом застосування методичного інструментарію ефективного інноваційного інжинірингу.

Для об'єктивної характеристики сприйманого кольору використовують різні методи. Найбільш точними з них є спектрофотометрія.

Наступним завданням дослідження було отримання колориметричних показників кольору огірків, підданих охолодженню. Для цього знімали спектри віддзеркалення на спектрофотометрі віддзеркалення TECHCORN-810λ. Для виміру кольору використовували випромінювач, характерний для сонячного і денного світла, – D65, він є стандартним випромінювачем і є спектральним складом типового денного світла в діапазоні 300...830 нм. Одночасно він був обраний як абсолютно білий колір, відносно якого здійснювали виміри.



Отримані результати використовували для обчислення колірних параметрів, застосовуючи метод зважених ординат і колірний графік. Метод розрахунку координат кольору називається методом зважених ординат, оскільки кожна ордината кривої, відкладена за заданого значення довжини хвилі, зважена твором спектральної щільності випромінювання джерела і функції зрушення.

Об'єктами досліджень були: огірки свіжі (контроль); огірки охолоджені; огірки охолоджені з сіллю і спеціями. Чинниками процесу обробки були: тривалість охолодження (від 0,5 до 3 годин) і наявність добавок – хлориду натрію і спеції.

Спектральні криві досліджуваних зразків огірків наведено на рисунках 2 і 3.

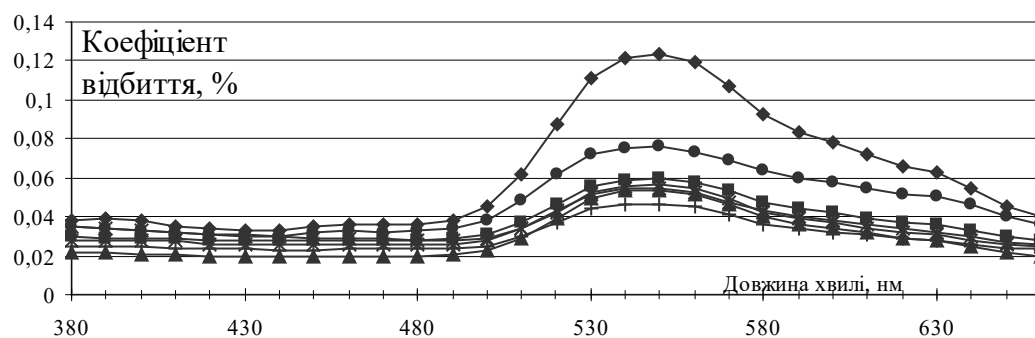


Рисунок 2 – Спектри відбиття зразків огірків: ♦ – свіжі; охолоджені протягом, часу: ● – 0,5; ■ – 1,0; ▲ – 1,5; * – 2,0; × – 2,5; + – 3,0

Аналіз отриманих спектральних даних дозволяє зробити висновок, що відбивна здатність дослідних зразків зміщена в область зеленого кольору (510...560 нм), оскільки основною фарбувальною речовиною, що надає зелений колір, є хлорофіл.

За спектральними характеристиками досліджуваних зразків розраховували трибарвні координати x, y, z і визначали інтегральні характеристики кольору: домінуючу довжину хвилі, чистоту тону, яскравість. Для розрахунку характеристик колірності спектри віддзеркалення дослідних зразків піддавалися математичній обробці, яка полягала в оцифруванні залежності інтенсивності віддзеркалення від довжини хвилі за допомогою пакета Grafula 3 v 2.10.

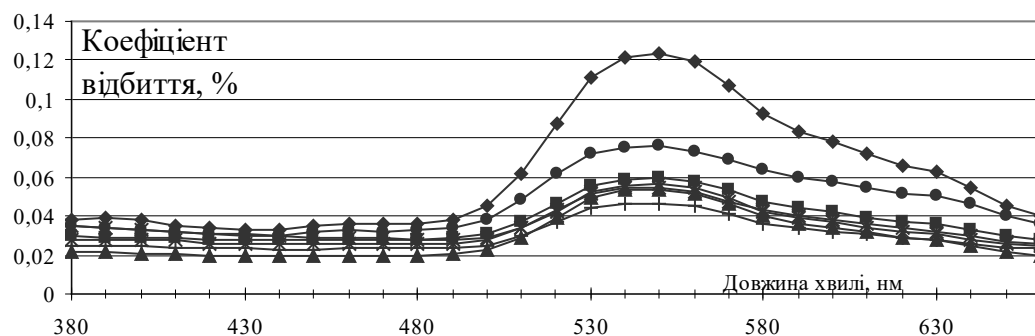


Рисунок 3 – Спектри відбиття зразків огірків: ♦ – свіжі; охолоджені протягом, часу: ● – 0,5; + – 1,0; ▲ – 1,5; * – 2,0; × – 2,5; ■ – 3,0

Колірний тон розглянутого об'єкту пов'язаний із спектральним складом випромінювання. Тому колірний тон зручно характеризувати цифрою – тією або іншою довжиною хвилі спектрального випромінювання. У таблиці 1 наведено результати колориметричних показників.

Домінуюча довжина хвилі знаходиться в межах 560...565 нм, що відповідає зеленому кольору (таблиця 1).

Крім того, помітний вплив на чистоту кольору й яскравість охолоджених огірків робить тривалість охолодження та наявність домішок. Найбільшу чистоту кольору і яскравість має зразок огірків, охолоджених упродовж 1 години, а найменшу – зразок огірків, охолоджених упродовж 3 годин із додаванням солі і спецій. Зі збільшенням тривалості охолодження до 3 годин у зразках огірків з сіллю і спеціями чистота кольору знижується на 18%, а яскравість – на 15%, а в охолоджених без домішок – на 17 і 16%, відповідно. Таким чином, збільшення часу охолодження впливає на чистоту кольору і яскравість зразка.

Отже, максимальне збереження зеленого кольору огірків встановлене під час охолодження їх із додаванням солі і спецій впродовж 1 години. Таким чином, за допомогою визначення спектрів віддзеркалення на спектрофотометрі TECHCORN-810λ, розрахунку координат кольору з використанням методу зважених ординат та математичної обробки з метою розрахунку характеристик колірності спектрів віддзеркалення дослідних зразків огірків, яка полягала в

**Таблиця 1 – Результати визначення колориметричних показників якості**

Зразок	X	Y	Z	x	y	Колірний тон, λ^*	Чистота тону, %	Яскравість , %
контроль	9,38	11,58	5,85	0,41	0,59	565	53,91	38,97
Огірки з додаванням солі і спецій охолоджені впродовж:								
0,5 годин	4,77	5,87	3,63	0,39	0,51	562	43,42	29,07
1 години	3,52	4,45	2,33	0,39	0,46	562	51,72	36,66
1,5 години	4,03	4,86	3,23	0,39	0,51	562	38,93	25,25
2 години	4,41	5,24	3,63	0,39	0,40	563	36,53	23,64
2,5 години	3,22	3,94	2,66	0,37	0,47	560	38,04	24,32
3 години	3,2	3,81	2,74	0,38	0,47	561	33,83	21,20
Огірки охолоджені впродовж:								
0,5 годин	3,99	4,79	3,31	0,39	0,41	562	36,78	23,74
1 години	5,16	6,47	2,9	0,41	0,44	565	59,08	44,44
1,5 години	3,88	4,75	3,15	0,37	0,47	560	38,90	25,11
2 години	2,82	3,56	1,98	0,39	0,41	562	49,32	33,99
2,5 години	3,94	4,88	2,65	0,40	0,50	563	49,83	35,12
3 години	2,71	3,34	2,09	0,38	0,47	561	42,42	28,09

оцифруванні залежності інтенсивності віддзеркалення від довжини хвилі за допомогою пакета Grafula 3 v 2.10, був встановлений важливий для споживача органолептичний параметр малосольних огірків – колір. Застосування даного методичного інструментарію дає змогу об'єктивізувати процес визначення кольору і впровадити ще один механізм підвищення ефективності інноваційного інжинірингу.

1.4. Формування органолептичних показників якості малосольних огірків

Математичне моделювання зі встановлення оптимальних умов охолодження і дослідження колориметричних показників охолоджених огірків



дозволило експериментально встановити оптимальний спосіб виробництва малосольних огірків.

В основу корисної моделі покладено задачу розробки способу отримання малосольних огірків шляхом застосування низьких температур і солі в кількості не менше ніж 3%. Поставлена задача вирішується тим, що отримання малосольних огірків, яке передбачає підготовку огірків до виробництва (миття, замочування, просушування, інспектування, калібрування за розміром), приготування рецептурної суміші, змішування компонентів (сіль, лаврове листя, перець духмянний, листя смородини, листя вишні, зелень кропу), згідно з винаходом, після змішування огірків із прянощами та сіллю, їх поміщають у герметичну тару (поліетиленовий пакет) та піддають охолодженню протягом 1 години за температури – 18°C, при цьому дотримуючись наступного співвідношення рецептурних компонентів, мас. %:

огірки	90...93;
сіль кухонна	3...3,5;
листя смородини	1,5...2,5;
листя вишні	1,0...1,5;
зелень кропу	0,5...1,0;
лист лавровий	0,5...0,8;
перець духмянний	0,5...0,7 [241].

Температура в центрі зразків не повинна перевищувати $t = -0,35^{\circ}\text{C}$ (кріоскопічна температура заморожування огірків), за такого способу утворюються мікрочастинки льоду клітинного та міжклітинного соку і після розморожування зберігається зовнішній вигляд та структура продукту.

Отримані малосольні огірки мають наступні показники якості (таблиця 2).

Для оцінки якості малосольних огірків за органолептичними показниками розроблено бальну шкалу [24] (таблиця 3).

Результати органолептичного аналізу якості малосольних огірків з використанням методу бальної оцінки наведено у таблиці 4.



Таблиця 2 – Показники якості малосольних огірків

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Огірки цілі, видовженої правильної форми, не м'яті, поверхня бугриста
Консистенція	Огірки міцні, м'якоть щільна, хрустка, шкірка тонка, не груба
Смак та запах	Характерний, без гіркоти, солонуватий, з присмаком та ароматом прянощів
Розмір огірків	
– довжина	110 мм
– діаметр	50 мм

Таблиця 3 – Бальна шкала органолептичних показників якості малосольних огірків

Показник	Характеристика			Кількість балів
	пікулі	корнішони	зеленці	
Зовнішній вигляд	огірки цілі, однорідні, видовженої правильної форми, не м'яті, поверхня бугриста, без плодоніжок та залишок квіток, не зморщені, без механічних та інших пошкоджень			5
	огірки цілі, відповідають даному господарсько-ботанічному сорту. Дозволяється наявність одиничних огірків неправильної форми			3-4
	огірки цілі, однорідні, без механічних та інших пошкоджень. Дозволяється наявність одиничних огірків зморщених			0-2
Колір	Привабливий зелений, яскравий, без плям та опіків			5
	Оливково-зелений, без плям та опіків			3-4
	Непривабливий темно оливковий або світло-зелений, без плям та опіків			0-2
Консистенція	огірки міцні, з недорозвиненим насінням, м'якоть щільна, без пустощів, хрустка, шкірка тонка, не груба			5
	огірки міцні, з недорозвиненим насінням, м'якоть щільна, без пустощів, шкірка тонка, не груба			3-4
	огірки міцні, з недорозвиненим насінням, наявність одиничних огірків з грубою шкіркою та незначними внутрішніми пустощами			0-2
Смак	Приємне загальне враження: характерний для малосольних огірків, без гіркоти, солонуватий, із присмаком та ароматом прянощів, без сторонніх смаків			5



Запах	Достатньо приємне загальне враження: солонуватий, кислуватий, без гіркоти, з незначним присмаком прянощів	3-4
	Неприємне загальне враження: кислий з легкою гіркотою, неприємний післясмак	0-2
	Приємний, характерний для малосольних огірків з ароматом прянощів без сторонніх запахів	5
	Допустимий: недостатньо виражений	3-4
	Неприємний: наявні сторонні запахи	0-2

**Таблиця 4 – Оцінка якості органолептичних показників
малосольних огірків**

Показник	Контроль	«Слобожанський»
Зовнішній вигляд	Огірки цілі, правильної форми деякі трохи зігнуті, цілі, не м'яті, не зморщені, без механічних пошкоджень (4 бали)	Огірки цілі, витягнутої правильної форми, не м'яті, не зморщені, без механічних пошкоджень (5 балів)
Консистенція	Огірки хрусткі, міцні, мають щільну просочену м'якоть, та недорозвинене насіння, огірків з внутрішніми пустотами не виявлено (5 балів)	Огірки міцні, пружні, без пустот, з щільною хрумкою м'якоттю, з недорозвиненим насінням, огірків з внутрішніми пустотами не виявлено. (5 балів)
Смак і запах	Смак виражений огірковий, помірно солоний, запах недостатньо гармонійний з ароматом прянощів, без сторонніх присмаків і запахів (5+3 балів)	Смак слабокислий, помірно солоний, запах приємний з ароматом прянощів, без сторонніх присмаків і запахів (5+5 балів)
Колір	Огірки зелені та темно-зелені без плям чи опіків (4 бали)	Огірки зелені та темно-зелені без плям чи опіків (5 балів)
Кількість балів	21	25

Усі обрані зразки відповідають нормам, встановленим ТУ У 15.3-01566330-213:2010 «Огірки малосольні. Технічні умови». Відхилень за розміром та формою не виявлено.



Дослідження малосольних огірків за органолептичними показниками показало, що оцінку «відмінно» отримав зразок Слобожанський (25 балів), його і рекомендовано використовувати для виробництва малосольної продукції.

1.5. Визначення хімічного складу малосольних огірків, виготовлених за інноваційною технологією

Розробка нового способу соління огірків спричинила зміну їх хімічного складу. Це пов'язано з внутрішньоклітковою дифузійною тканин огірків, та подальшою обробкою низькою температурою.

Результати визначення хімічного складу огірків сировини та малосольних огірків наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Хімічний склад сировини та перероблених огірків

Показник хімічного складу, %	Продукція		
	Свіжий огірок (сировина)	Малосольний огірок (контроль)	Малосольний огірок сорту «Слобожанський»
Сухі речовини	$5,25 \pm 0,30$	$5,47 \pm 0,40$	$6,15 \pm 0,50$
Загальні цукри	$2,80 \pm 0,12$	$0,60 \pm 0,30$	$1,90 \pm 0,50$
у т.ч. моноцукри	$2,16 \pm 0,09$	$0,45 \pm 0,05$	$1,85 \pm 0,02$
Клітковина	$0,65 \pm 0,01$	$0,62 \pm 0,01$	$0,63 \pm 0,01$
Органічні кислоти	$0,05 \pm 0,01$	$0,60 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,01$
Пектинові речовини	$0,40 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$
Зола	$0,50 \pm 0,01$	$2,60 \pm 0,01$	$2,32 \pm 0,01$
Енергетична цінність, ккал/100 г	$10 \pm 0,5$	$5 \pm 0,5$	$9 \pm 0,5$

Харчова цінність продуктів рослинного походження визначається вмістом



в них вітамінів, мінеральних речовин, органічних кислот тощо.

Малосольні огірки, виготовлені за новим способом (таблиця 5), порівняно з сировиною, відрізняються меншим вмістом сухих речовин (4%), проте це більше, ніж у малосольних огірках, виготовлених за традиційною технологією (2,8%), що є важливим чинником для формування консистенції та харчової цінності продукту. Суттєва частка сухих речовин – вуглеводи, до складу яких входять 0,78% клітковини, 1,9% цукрів та 0,72% пектинових речовин.

Клітковина впливає на стан моторної функції травної системи та на перебіг ліпідного обміну. Нестача клітковини в організмі людини спричиняє такі захворювання, як ожиріння, жовчнокам'яна хвороба, серцево-судинні захворювання.

Загальна частина цукрів у малосольних огірках наведена моноцукрами (0,5%), які легко засвоюються. До складу малосольних огірків, виготовлених новим способом, входить цукор у кількості від 1,9 до 2,27%, це дає можливість стверджувати, що малосольні огірки – низькокалорійний продукт.

Пектинові речовини сприяють зниженню вмісту токсичних продуктів життєдіяльності мікроорганізмів у шлунково-кишковому тракті людини, послаблюють токсичну дію багатьох шкідливих речовин.

Органічні кислоти добре впливають на мікрофлору кишечника, є джерелом енергії, позитивно впливають на обмін ліпідів, що призводить до зменшення рівня холестерину та загальних ліпідів у крові та тканинах внутрішніх органів. Їх вміст складає 0,2%.

Суттєвим критерієм харчової цінності продукту є його біологічно-активні речовини. Біологічно активні речовини малосольних огірків, виготовлених новим способом, можуть широко використовуватися для запобігання переродження печінки, знижувати кров'яний тиск, послаблювати спазми та зміцнювати капіляри, а також вони необхідні для лікуванні атеросклерозу. Як відомо, до біологічно активних речовин відносять: мінеральні речовини, вітаміни, провітаміни (хлорофіл *a*, хлорофіл *b*, каротиноїди).

Мінеральні речовини виконують різнобічні функції в організмі людини. Як



структурний компонент вони забезпечують побудову опорних тканин скелету (кальцій, фосфор, магній) та підтримку необхідного осмотичного середовища клітин крові, в яких перебігають усі обмінні процеси (натрій, калій), створення специфічних шлункових соків (хлор), гормонів (йод, цинк, мідь), переносників кисню в організмі (залізо, мідь), деяких життєво важливих вітамінів та ферментів, без яких неможливо перетравлення харчових речовин, що надходять до організму (кобальт). Мінеральний склад сировини та перероблених огірків надано в таблиці 6.

**Таблиця 6 – Мінеральний склад сировини та перероблених огірків,
мг%/100 г**

Показник	Свіжий огірок (сировина)	Малосольний огірок (контроль)	Малосольний огірок «Слобожанський»
Натрій	10± 1	1563±109	1160±81
Калій	153± 11	138±10	156±11
Кальцій	27± 2	30±2	32±2
Магній	18± 1	10±1	21±1
Фосфор	49± 3	20±1	47±3
Залізо	1,3± 0,1	1,2±0,1	1,5±0,1

Малосольні огірки, виготовлені за новим способом (таблиця 6), містять збільшену кількість макро- та мікроелементів порівняно з сировиною та малосольним огірком, виготовленим за традиційною технологією. Це зумовлено внутрішньоклітинною дифузією під впливом низької температури. В малосольних огірках спостерігається підвищена кількість калію – 156 мг в 100 г порівняно з сировиною (153 мг у 100 г). Саме калій запобігає всмоктуванню цезію-137 організмом людини.

Вітамінний склад малосольних огірків, виготовлених за новим способом, порівняно з сировиною та малосольним огірком, виготовленим за традиційною технологією (контроль) наведено у таблиці 7.



Вміст вітаміну С у малосольних огірках, виготовлених за новою технологією, залишився на рівні 88,3%, а в малосольних огірках, виготовлених за традиційною технологією – на 41,1%. Результати, представлені у таблиці 7, свідчать про доцільність соління огірків за інноваційною технологією, яка дає можливість краще зберігати вітамінний склад.

Таблиця 7 – Вітамінний склад сировини та перероблених огірків, мг / 100 г

Найменування продукції	Вітамін С	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Каротиноїди
Свіжий огірок (сировина)	17,1±0,6	2,43±0,12	7,28±0,12	0,06±0,12
Малосольний огірок (контроль)	7,5±0,4	1,52±0,08	4,56±0,12	0,03±0,12
Малосольний огірок «Слобожанський»	10,8±0,5	2,25±0,11	6,75±0,12	0,04±0,12

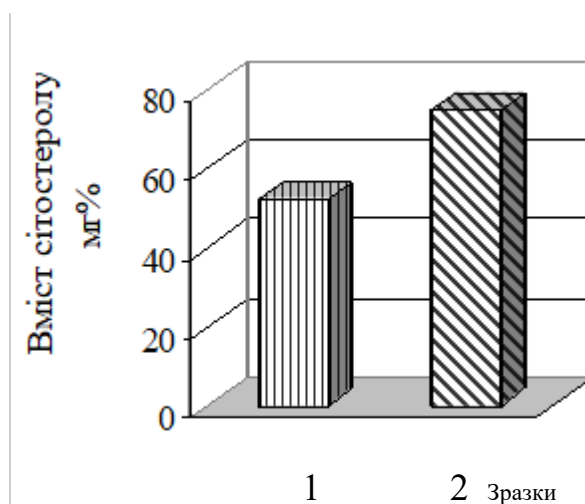
Малосольні огірки є цінним продуктом також завдяки вмісту β -сیتостеролу. Відомо, що β -сیتостерол має виражену здатність знижувати рівень холестерину й сироваточних ліпідів у крові дорослих і дітей, що дозволяє застосовувати його для лікування гіперхолестеринемії й профілактики низки патологічних станів, пов'язаних із порушенням обміну ліпідів в організмі. Він проявляє слабку естрогеноподібну активність і може бути використаний як антиестроген.

Фітостероли – це натуральні компоненти мембран клітин рослин. Завдяки подібності фітостеролів структурі холестерину, вони легко приєднуються і блокують рецептори холестерину, знижуючи тим самим абсорбцію холестерину і покращуючи його виведення з організму. Крім того вони знижують концентрацію загального холестерину і ліпопротеїнів малої щільності в крові. Потрапивши в кишечник людини, фітостероли заважають засвоєнню екзогенного холестерину, що надходить з їжею, а ендogenous холестерину, який потрапляє у кишечник з жовчею. Таким чином, регулярне вживання їжі, багатої фітостеролами, може приводити до значного зниження рівня холестерину в крові.



З метою визначення вмісту β -сیتостеролу зі свіжих огірків Слобожанський було виготовлено зразок малосольних огірків за розробленою технологією соління. Для порівняльної характеристики в свіжому огірку Слобожанський також було визначено вміст β -сیتостеролу.

Вимірювання оптичної густини дозволило отримати наступні дані: в ферментованих огірках вона становила 0,286 Abs, в свіжих – 0,420 Abs. Було встановлено, що вміст β -сیتостеролу складає у свіжих огірках 75 мг%, у ферментованих – 52,2 мг% (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Вміст β -сیتостеролу в огірках Слобожанський:
1 – огірки малосольні; 2 – огірки свіжі**

Отже, під час технологічної обробки кількість β -сیتостеролу в огірках зменшується на 30% [25].

Важливим аспектом якості продуктів у сучасних умовах є вміст токсичних речовин. В малосольних огірках, виготовлених новим способом, порівняно зі свіжими огірками, відбулося зниження цинку на 23, свинцю на 22, а міді на 11%, що можна пояснити додаванням солі у рецептуру (таблиця 8).

Порівнюючи малосольні огірки з контролем, не спостерігається зниження токсикантів, тому що не використовується розчин.

Після отримання малосольних огірків за новим способом виробництва, було проведене повторне визначення вмісту нітратів, радіонуклідів та пестицидів (таблиця 9).

**Таблиця 8 – Вміст солей важких металів у свіжих та перероблених огірках**

Продукт	Солі солей важких металів, мг/кг				
	цинк	свинець	мідь	арсен	ртуть
Свіжий огірок (сировина)	8,71±0,0 9	0,41±0,0 3	4,37±0,1 2	не знайдено	не знайдено
Малосольний огірок (контроль)	5,64±0,0 8	0,27±0,0 2	3,12±0,0 6	не знайдено	не знайдено
Малосольний огірок «Слобожанський»	6,7±0,02	0,32±0,0 1	3,88±0,0 4	не знайдено	не знайдено
ГДК	10,0±0,6	0,50±0,0 3	5,0±0,3	0,20±0,0 1	0,02±0,00 1

Таблиця 9 – Вміст токсичних речовин у сировині та перероблених огірках

Продукт	Нітрати, мг/кг	Радіонукліди, Бк/кг		Пестициди, мг/кг	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	ГХЦГ	ДДТ
Свіжий огірок (сировина)	36,6±3	4,48±0,3	3,0±0,2	не знайдено	не знайдено
Малосольний огірок (контроль)	21,3±2	3,26±0,2	2,39±0,1	не знайдено	не знайдено
Малосольний огірок «Слобожанський»	28,7±4	3,75±0,1	2,63±0,1	не знайдено	не знайдено
ГДК	200±90	40±3	20±1,2	0,52±0,03	0,11± 0,01

В малосольних огірках, виготовлених новим способом, відбулося зниження нітратів на 21,6% порівняно з сировиною.

Вміст радіоактивних елементів у малосольних огірках, виготовлених за традиційною технологією, також відрізняється більш низьким рівнем, ніж у малосольних огірках, виготовлених новим способом. Так, вміст ¹³⁷Cs знизився на 16, а ⁹⁰Sr – на 12% порівняно з сировиною.



1.6. Формування інтегрованого інжинірингового рішення щодо виробництва ферментованого продукту для оздоровчого харчування

Якість продуктів харчування – один із найважливіших чинників для споживачів. Для визначення інтегральної оцінки якості нової продукції враховували наступні дані: комплексний показник якості малосольних огірків та показник економічної ефективності від упровадження нової продукції у виробництво. Розрахунки комплексного та інтегрального показників якості проводили згідно з прийнятими принципами кваліметрії.

На першому етапі було побудовано графічне зображення ієрархічної структури – «дерево властивостей», – на якому виділили необхідні та достатні для оцінки якості та корисності продукту групи властивостей (рисунок 6).

З метою обчислення групових показників використано дані таблиці 10, де для властивостей групи А (органолептичні) наведено оцінку за 50-бальною системою, що визначена групою експертів у складі 8 осіб, для груп В, С, D, Е – значення, виміряні за допомогою стандартних методик, для групи F – розраховане значення відпускної ціни продукту. Переведення отриманих абсолютних значень у відносні безрозмірні величини для органолептичних властивостей здійснено за допомогою графіка функції бажаності Харрінгтона (рисунок 5). За віссю абсцис, яка є безрозмірною шкалою, поділеною на окремі нерівномірні ділянки, відкладали кількість балів, присвоєних у межах обраних значень окремих показників. За віссю ординат знаходили безрозмірні оцінки показників якості одиничних властивостей.

Визначення відносних значень для інших показників P_i проводили за формулами:

$$q = \frac{P_i}{P_{\text{баз}}}, \quad (14)$$

$$q = \frac{P_{\text{баз}}}{P_i}, \quad (15)$$

$$q_i = \frac{(P_i - P_{i \text{ гр}})}{(P_{i \text{ баз}} - P_{i \text{ гр}})}, \quad (16)$$

де P_i – значення i -го показника ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) якості оцінюваної



продукції;

P_{igr} – значення мінімального (максимального) граничного показника;

P_{ibaz} – значення базового показника.

У формулі 14 використано, коли зниження P_i приводить до зниження якості ($Pb_1, Pb_2, Pb_4, Pb_6, Pc_i, Pd_2, Pd_3, Pd_4, Pd_5, Pd_6$), а у формулі 15 – коли зниження значення P_i призводить до підвищення якості (Pb_3, Pb_5, Pd_1, Pf). За формулою 16 розраховано відносні показники якості для групи E.

Для показників групи B (крім Pb_3, Pb_5) та групи D (крім Pd_1) за базовий брали максимальний показник того чи іншого компонента в хімічному складі досліджуваних зразків.

Для показників групи C (крім Pc_4) як базові обрано вміст відповідних компонентів у свіжих огірках.

Для показників Pb_3, Pb_5, Pd_1 за базовий приймали мінімальний вміст такого компонента. Це пов'язано з тим, що для перероблених огірків позитивним є зниження кислоти та кухонної солі під час консервування, що має характеризуватися зниженням вмісту органічних кислот (Pb_3), золи (Pb_5) та натрію (Pd_1). Для показника Pc_4 як базовий обрано вміст вітаміну C в дослідному зразку.

Для групи E за граничний показник приймали ГДК токсичних речовин та солей важких металів у продукті, а за базовий – мінімальне його значення.

Для групи F за базовий обрано відпускну ціну дослідного зразка.

Результати вибору базових значень для груп B, C, D, F наведено у таблиці 10.

Коефіцієнт вагомості кожного показника якості за групами (таблиця 12) визначено за таких умов:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 1 \quad (17)$$

де M_i – коефіцієнт вагомості i -того показника;

n – число показників якості в окремій групі.

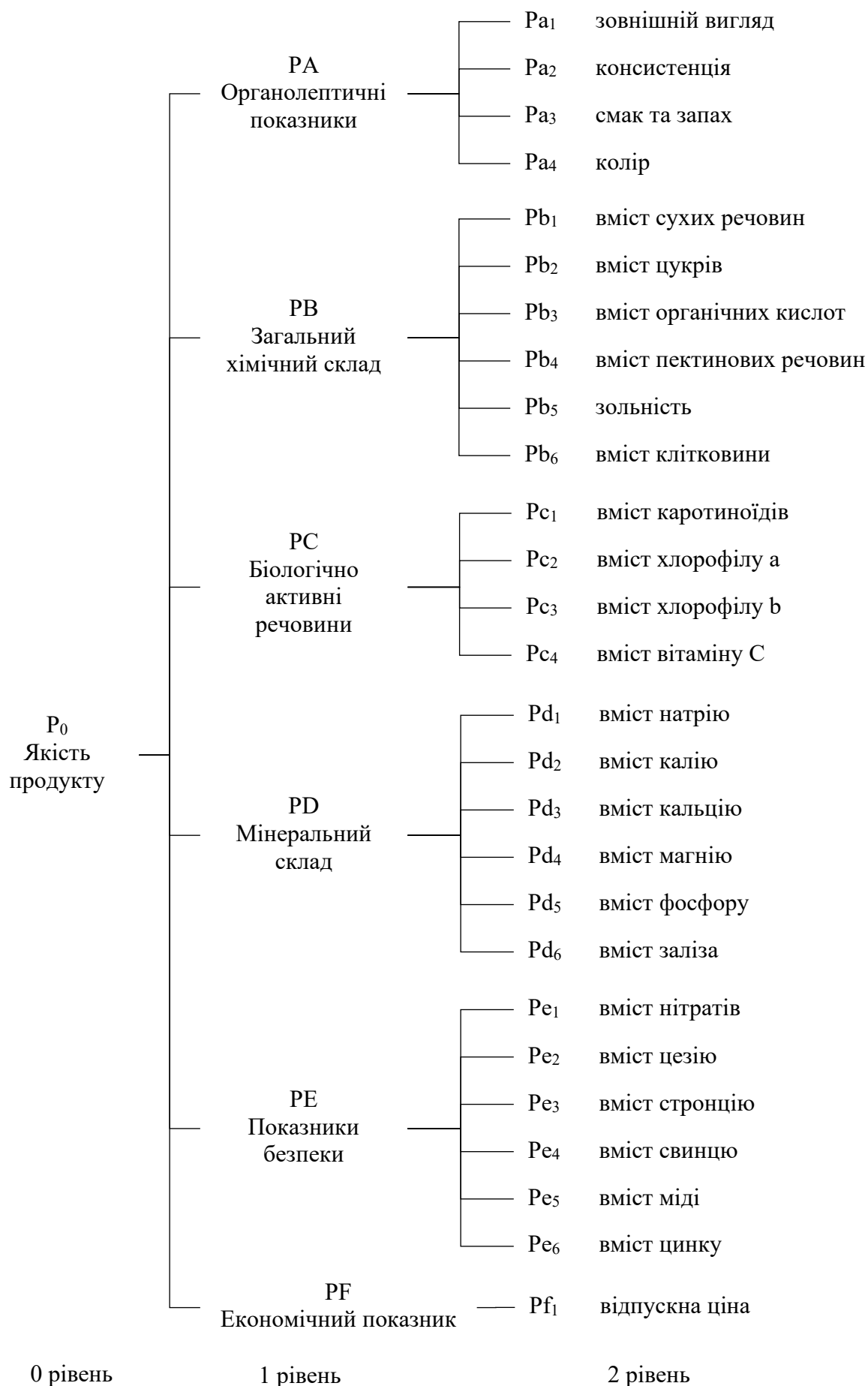


Рисунок 6 – «Дерево властивостей» для оцінки якості малосольних огірків

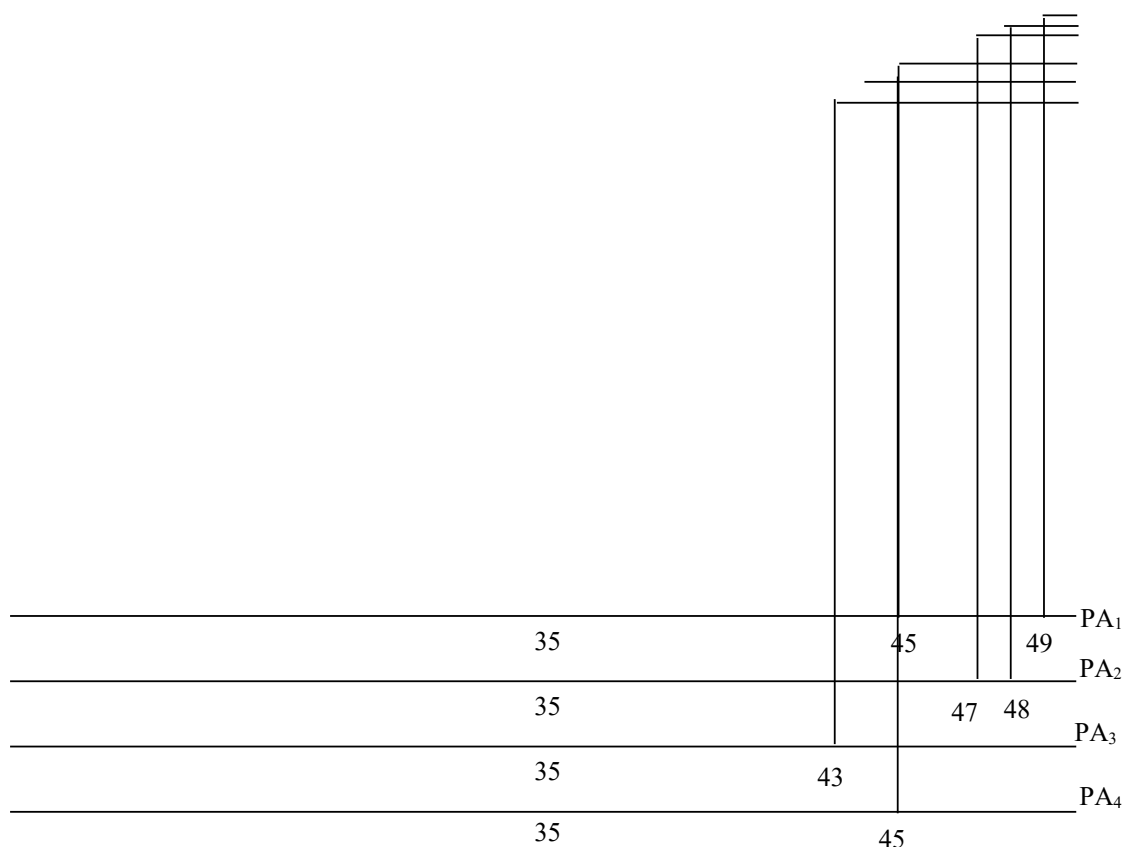


Рисунок 5 – Знаходження оцінок якості органолептичних властивостей: зовнішній вигляд (PA₁), консистенція (PA₂), смак та запах (PA₃), колір (PA₄)

Розраховану групову оцінку якості зразків для кожної групи властивостей зводимо разом за допомогою адитивної моделі комплексної оцінки.

Для групи властивостей А:

$$Ka_0 = (Ma_1 \times qa_1) + (Ma_2 \times qa_2) + (Ma_3 \times qa_3) + (Ma_4 \times qa_4).$$

Для групи властивостей В:

$$Kb_0 = (Mb_1 \times qb_1) + (Mb_2 \times qb_2) + (Mb_3 \times qb_3) + (Mb_4 \times qb_4) + (Mb_5 \times qb_5) + (Mb_6 \times qb_6).$$

Для групи властивостей С:

$$Kc_0 = (Mc_1 \times qc_1) + (Mc_2 \times qc_2) + (Mc_3 \times qc_3) + (Mc_4 \times qc_4).$$

Для групи властивостей D:

$$Kd_0 = (Md_1 \times qd_1) + (Md_2 \times qd_2) + (Md_3 \times qd_3) + (Md_4 \times qd_4) + (Md_5 \times qd_5) + (Md_6 \times qd_6).$$



Таблиця 10 – Базові показники для властивостей груп В, С, D, F

Група властивостей	Показник	Одиниці вимірювання	Значення базового показника
В	Pb ₁	%	6,15
	Pb ₂	%	1,90
	Pb ₃	%	0,15
	Pb ₄	%	0,30
	Pb ₅	%	2,32
	Pb ₆	%	0,63
С	Pc ₁	мг/%	0,20
	Pc ₂	мг/%	2,43
	Pc ₃	мг/%	7,28
	Pc ₄	мг/%	10,8
D	Pd ₁	мг/100 г	1160
	Pd ₂	мг/100 г	156,0
	Pd ₃	мг/100 г	32,0
	Pd ₄	мг/100 г	21,0
	Pd ₅	мг/100 г	47,0
	Pd ₆	мг/100 г	1,5
F	Pf	грн	25,64

Таблиця 11 – Базові та граничні показники для властивостей груп E

Група властивостей	Показник	Од. вимірюв.	Значення показників	
			Базовий, P _{і баз}	Граничний, P _{і гр.}
E	Pe ₁	мг/кг	19,10	200,00
	Pe ₂	Бк/кг	3,01	40,00
	Pe ₃	Бк/кг	2,00	20,00
	Pe ₄	мг/кг	0,26	0,50
	Pe ₅	мг/кг	3,00	5,00
	Pe ₆	мг/кг	5,40	10,00

Таблиця 12 – Коефіцієнти вагомості показників якості для окремих груп властивостей перероблених огірків

Ma ₁	Ma ₂	Ma ₃	Ma ₄	Mb ₁	Mb ₂	Mb ₃	Mb ₄	Mb ₅
0,21	0,25	0,29	0,25	0,22	0,1	0,11	0,18	0,19
Mb ₆	Mc ₁	Mc ₂	Mc ₃	Mc ₄	Md ₁	Md ₂	Md ₃	Md ₄
0,20	0,20	0,30	0,31	0,19	0,22	0,09	0,13	0,18
Md ₅	Md ₆	Me ₁	Me ₂	Me ₃	Me ₄	Me ₅	Me ₆	Mf
0,20	0,18	0,21	0,24	0,23	0,13	0,08	0,11	1,00



Для групи властивостей E:

$$K_{E0} = (Me_1 \times qe_1) + (Me_2 \times qe_2) + (Me_3 \times qe_3) + (Me_4 \times qe_4) + (Me_5 \times qe_5) + (Me_6 \times qe_6).$$

Для групи властивостей F:

$$KF_0 = Mf \times qf.$$

Групові показники якості наведено на рисунку 6.

З моделей якості видно, що дослідний зразок кращий від зразка традиційного соління за всіма показниками згідно з деревом властивостей, окрім показника безпеки. Але за вмістом токсичних речовин та радіонуклідів, зразок, що пропонуємо не перевищує гранично допустимі концентрації.

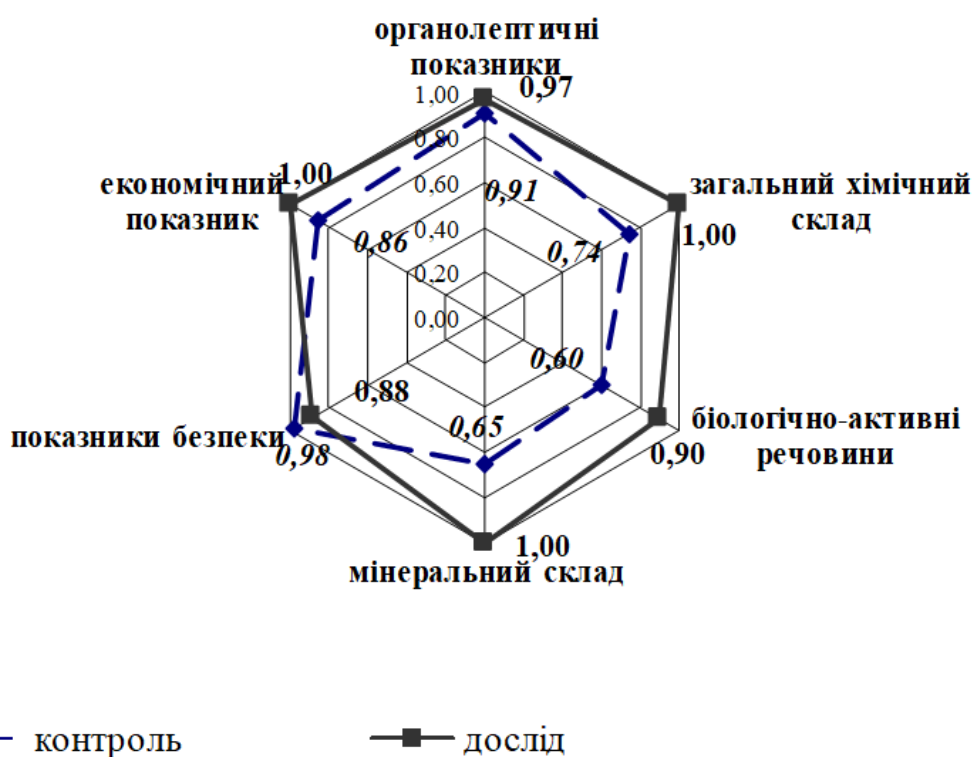


Рисунок 6 – Модель якості досліджуваних зразків малосольних огірків

Для визначення комплексного та інтегрального показників якості малосольних огірків визначали коефіцієнти вагомості для окремих груп властивостей (таблиця 13).

Комплексну оцінку якості досліджуваних зразків визначали за формулою:

$$K_0 = (Ma_0 \times Ka_0) + (Mb_0 \times Kb_0) + (Mc_0 \times Kc_0) + (Md_0 \times Kd_0) + (Me_0 \times Ke_0).$$



Таблиця 13 – Міжгрупові коефіцієнти вагомості для досліджуваних зразків малосольних огірків (за даними експертної групи)

Оцінка якості	Ma ₀	Mb ₀	Mc ₀	Md ₀	Me ₀	Mf ₀
комплексна	0,34	0,26	0,10	0,11	0,19	-
інтегральна	0,25	0,23	0,10	0,09	0,14	0,19

Для визначення інтегральної оцінки якості продукції додатково враховували показник економічної ефективності:

$$K_i = (Ma_0 \times Ka_0) + (Mb_0 \times Kb_0) + (Mc_0 \times Kc_0) + (Md_0 \times Kd_0) + (Me_0 \times Ke_0) + (Mf_0 \times qf_0).$$

Результати визначень комплексної оцінки якості досліджуваних зразків малосольних огірках, виготовлених за традиційною технологією, та малосольних огірків, рекомендованим способом соління, наведені в таблиці 14.

Таблиця 14 – Результати комплексної та інтегральної оцінок якості досліджуваних зразків малосольних огірків

Назва продукту	Оцінка якості	
	Комплексна	Інтегральна
Малосольні огірки (контроль)	0,82	0,82
Малосольні огірки (дослід)	0,96	0,97

Таким чином, малосольні огірки, вироблені новим способом, мають набагато вищі оцінки якості ніж контроль. Значення комплексної оцінки, малосольних огірків, що запропоновані, на 17,1% вище, ніж у зразку традиційного посолу. Відносно інтегральної оцінки якості необхідно зазначити, що для малосольних огірків, виготовлених новим способом, вона на 18,3% вище ніж у зразків, виготовлених за традиційною технологією, що зумовлене зниженням їх відпускної ціни.



Висновки

Таким чином, сучасний розвиток індустрії харчування спрямований на підвищення якості й безпеки та формування продукції із заданими властивостями, які мають визначену функціональну дію. Інтенсифікація змін у ринковому середовищі актуалізує проблему вирішення виробничих і комерційних питань з позиції системного підходу, який передбачає багатоаспектність конкретного рішення, з одного боку, і більшу стійкість у конкурентному середовищі завдяки стратегічному характеру певного інноваційного рішення щодо розробки і виробництва функціональних продуктів харчування.

Системний характер інноваційних рішень потребує використання відповідних інструментів моделювання продуктів і технологій, а також проектування виробництв і підприємств. Серед сучасних інструментів формування виробничих рішень технологічного та проєктного характеру високоефективним є інноваційний інжиніринг. Розробка інноваційного продукту з рослинної сировини має здійснюватися на основі комплексу цілей, які відображають інтереси як підприємства, так і суспільства.

Проаналізовано хімічний склад огірків, які піддають обробці за запропонованою технологією. Визначено, що огірок є цінним дієтичним та лікувальним продуктом, харчове значення якого полягає не в поживності, а у вмісті ферментів і мінеральних солей, необхідних для кращого засвоєння їжі.

З метою отримання огірків різних за смаком та функціональною дією використовується багато прийомів обробки. На сучасному етапі розвитку систем моделювання продуктів стає можливим формування найбільш корисного продукту з заданими властивостями. Інжиніринговий підхід стає в цьому сенсі потужним інструментом підготовки і прийняття ефективних технологічних рішень. За допомогою математичного моделювання визначено оптимальні умови проведення технологічного процесу охолодження огірків. Найбільш прийнятними обрано наступні значення параметрів технологічного процесу:



концентрація солі 3,0%, тривалість обробки 60 хв., температура обробки -18°C.

Отримано колориметричні характеристики огірків, підданих охолодженню, які показали, що їх охолодження із додаванням солі і спецій упродовж 1 години сприяє максимальному збереженню зеленого кольору огірків, що підвищує їх споживчі властивості. Для цього знімали спектри віддзеркалення на спектрофотометрі віддзеркалення TECHCORN-810λ. Для виміру кольору був використаний випромінювач, характерний для сонячного і денного світла, – D65, він є стандартним випромінювачем і є спектральним складом типового денного світла в діапазоні 300...830 нм. Одночасно він був обраний як абсолютно білий колір, відносно якого здійснювали виміри. Для розрахунку характеристик колірності спектри віддзеркалення дослідних зразків піддавалися математичній обробці, яка полягала в оцифруванні залежності інтенсивності віддзеркалення від довжини хвилі за допомогою пакета Grafula 3 v 2.10.

Отримання малосольних огірків з новою технологією передбачає підготовку огірків до виробництва (миття, замочування, просушування, інспектування, калібрування за розміром), приготування рецептурної суміші, змішування компонентів (сіль, лаврове листя, перець духмянний, листя смородини, листя вишні, зелень кропу). Після змішування огірків із прянощами та сіллю їх поміщають у герметичну тару (поліетиленовий пакет) та піддають охолодженню протягом 1 години за температури –18°C.

Визначено рецептурні компоненти малосольних огірків, мас. %:

огірки	90...93;
сіль кухонна	3...3,5;
листя смородини	1,5...2,5;
листя вишні	1,0...1,5;
зелень кропу	0,5...1,0;
лист лавровий	0,5...0,8;
перець духмянний	0,5...0,7.

Дослідження малосольних огірків за органолептичними показниками показало, що оцінку «відмінно» отримав зразок Слобожанський (25 балів), його



і рекомендовано використовувати для виробництва малосольної продукції.

Комплексне дослідження хімічного складу дозволило встановити, що за вмістом мінеральних речовин, вітаміну С, хлорофілів, каротиноїдів та інших сполук малосольні огірки, отримані за новою технологією, перевищують аналог, що підвищує їхню харчову цінність. Суттєвою є частка вуглеводів, до складу яких входять 0,78% клітковини, 1,9% цукрів та 0,72% пектинових речовин. До складу малосольних огірків, виготовлених новим способом, входить цукор у кількості від 1,9 до 2,27%. Вміст органічних кислот складає 0,2%. В малосольних огірках визначена підвищена кількість калію – 156 мг в 100 г порівняно з сировиною (153 мг у 100 г). Саме калій запобігає всмоктуванню цезію-137 організмом людини. Вміст вітаміну С у малосольних огірках, виготовлених за новою технологією, залишився на рівні 88,3%, а в малосольних огірках, виготовлених за традиційною технологією – на рівні 41,1%. Вміст β -сїтостеролу, який знижує абсорбцію холестерину і покращує його виведення з організму, складає у свіжих огірках 75 мг%, у ферментованих – 52,2 мг%.

Використання нової технології дозволяє знизити вміст контамінантів у малосольних огірках порівняно з сировиною. Так, вміст нітратів зменшується на 21%, солей важких металів – на 20%, цезію-137 – на 16%, стронцію-90 – на 12%. Пестициди та мікотоксини у готовому продукті не знайдено.

Для визначення інтегральної оцінки якості нової продукції були враховані комплексний показник якості малосольних огірків та показник економічної ефективності від упровадження нової продукції у виробництво. Комплексна оцінка якості малосольних огірків, виготовлених за новим способом, показала результат на 17,1% вище, ніж у контрольному зразку. За інтегральною оцінкою якості малосольні огірки також мають значення на 18,3% вище ніж у зразків, виготовлених за традиційною технологією.