

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МАХИНЬКО ВАЛЕРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 664.664

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИСОКОБІЛКОВИХ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ ДЛЯ СПОЖИВАЧІВ
З ПІДВИЩЕНОЮ ПОТРЕБОЮ У МАКРОНУТРІЄНТАХ

Спеціальність 05.18.01 – Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НААН України
Дробот Віра Іванівна,
Національний університет харчових технологій,
професор кафедри технології хлібопекарських
і кондитерських виробів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Лебеденко Тетяна Євгеніївна,
Одеська національна академія харчових технологій,
доцент кафедри технології хліба, кондитерських,
макаронних виробів і харчоконцентратів;

доктор технічних наук, професор
Євлаш Вікторія Владленівна,
Харківський державний університет харчування та
торгівлі, завідувач кафедри хімії, мікробіології
та гігієни харчування;

доктор технічних наук, професор
Кравченко Михайло Федорович,
Київський національний торговельно-економічний
університет, завідувач кафедри технології
і організації ресторанного господарства.

Захист відбудеться «_____» _____ 2019 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.06 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія _____.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розіслано «_____» _____ 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, к.т.н., доц.



І.М. Зінченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Хлібні вироби належать до продуктів повсякденного споживання, тому збалансування їх хімічного складу і підвищення біологічної цінності є важливим завданням фахівців хлібопекарської галузі. Особливо гостро це питання постає для споживачів з підвищеним рівнем фізичної активності (люди важкої фізичної праці, спортсмени, туристи, військовослужбовці). Якщо за калорійністю (енергетичною цінністю) хлібні вироби можуть задовольнити збільшені фізіологічні запити цих груп споживачів, то білкова складова хліба потребує суттєвого коригування. Адже пшеничне борошно, що є основною сировиною для хлібопечення, характеризується низьким вмістом лізину, який на сьогодні визнано однією з найдефіцитніших амінокислот харчових раціонів. Закономірно, що і хлібні вироби мають низьку біологічну цінність, зумовлену недостатністю вказаної амінокислоти. Водночас рекомендації нутриціологів щодо збалансування хімічного складу харчових продуктів за рахунок використання тваринних високоцінних білків не завжди придатні до реалізації в умовах вітчизняного хлібопечення, зважаючи на високу вартість вказаної сировини, підвищені запити споживачів щодо безпечності цієї продукції та переважно негативний вплив тваринних білків на хід технологічного процесу та якість готових виробів.

Пошук технологічно й економічно обґрунтованих шляхів вирішення цієї проблеми вже давно є однією з найважливіших задач, розв'язанню якої присвячено роботи Л.Ю. Авдєєвої, Л.Ю. Арсенєвої, Л.Я. Ауермана, В.І. Дробот, Л.В. Капрельянца, Л.І. Карнаушенка, Н.П. Козьминої, В.Л. Кретовича, Р.М. Кудрявцевої, Т.Є. Лебеденко, І.В. Матвєєвої, Л.П. Пащенко, Р.Д. Поландової, Л.І. Пучкової, А.В. Рибникової, А.І. Стребікіної, Т.Б. Циганової, О.М. Шаніної, Р.І. Шевченко, В.В. Щербатенко, В.Г. Юрчак, Aider M, Attia M., Boye J., Buresova I., Fleming S., Marecek J., Shehata N., Sirois-Gosselin M., Sosulski F., Taha F., Tokar M. та інших. Більшість з них сходиться на думці, що хлібні вироби слід сприймати як комплексний продукт з особливим хімічним складом, біологічною цінністю та технологією виготовлення. Тому питання підвищення харчової цінності повинні вирішуватися з врахуванням цих особливостей. Зокрема, зважаючи на вже наявний у пшеничному борошні білок з певною амінокислотною формулою, підвищення біологічної цінності хлібних виробів доцільніше проводити не шляхом внесення високоцінного (і високовартісного) тваринного білка, а обирати сировину, що була б здатна доповнити лімітуючі амінокислоти хліба, базуючись на явищі компліментарності.

Цій вимозі щонайкраще відповідають рослинні білки бобових культур. Вони мають високий вміст (і навіть певний надлишок, порівнюючи з еталонним білком) лізину, а їх вартість, зважаючи на значний аграрний потенціал України та мінімізацію втрат білка у трофічному ланцюгу рослина-тварина є значно нижчою за білки молока, яєць чи м'яса. Сучасні технології вирощування та перероблення рослинних білків дають змогу одержати кінцевий продукт з мінімальним вмістом антипоживних речовин (що стримувало їх використання у минулому) і певними (заданими) функціонально-технологічними властивостями. Висока концентрація білкових речовин зі збалансованою амінокислотною формулою забезпечить суттєве покращення харчової та біологічної цінності хлібних виробів навіть за технологічно прийнятних дозувань, що не позначатимуться суттєво на споживчих характеристиках кін-

цевої продукції. А вибір з широкого асортименту хлібопекарської галузі груп хлібних виробів, технологія яких дасть змогу вносити підвищені дозування висококонцентрованих рослинних білків, забезпечить випуск продукції, що здатна буде задовольнити навіть підвищені нутрієнтні потреби згаданих груп споживачів.

Тому актуальним є розроблення наукових основ та практичних рекомендацій щодо використання високобілкової рослинної сировини (ВРС) – ізолятів рослинних білків у технології хлібних виробів, що характеризуватимуться збалансованістю білково-вуглеводної та амінокислотної складових і міститимуть підвищену кількість рослинного білка у біологічно безпечній та фізіологічно доступній формі. Додатково потребує вирішення завдання комплексного збагачення різних груп хлібних виробів ВРС, виходячи з цільових запитів спеціальних груп споживачів з підвищеними білковими потребами, адже використання традиційних хлібобулочних виробів для них не завжди виправдане, зважаючи на особливості й потреби зберігання, транспортування і вживання такої продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконувалися відповідно до тематики науково-дослідних робіт кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів НУХТ згідно з програмою «Розроблення сучасних енерго- і ресурсощадних технологій та нанотехнологій для виробництва якісних і безпечних харчових продуктів», яка координується із науковим напрямком НУХТ «Застосування нетрадиційної сировини і добавок з метою покращання хлібопекарських властивостей борошна, інтенсифікації технологічного процесу, надання виробам оздоровчої та профілактичної дії» (державний реєстраційний номер НДР – РК № 0112u004633).

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та практичне розроблення шляхів використання ізолятів рослинних білків для підвищення харчової та біологічної цінності різних груп хлібних виробів, зниження білкового навантаження на організм за рахунок використання високозасвоюваних білків та розширення асортименту високобілкових хлібних виробів для споживачів, що мають підвищену потребу в макронутрієнтах.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати сучасні вимоги нутриціології щодо норм споживання білка різними групами споживачів та вимог до його якості, ознайомитися з шляхами підвищення харчової та біологічної цінності різних груп хлібних виробів за рахунок використання білковмісної сировини, сформулювати вимоги та критерії вибору сировини для збагачення раціону харчування різних груп споживачів хлібними виробами зі збалансованим хімічним складом і високим вмістом рослинного білка у біологічно безпечній та фізіологічно доступній формі;

- на підставі сучасних методик розрахунку біологічної цінності харчових продуктів здійснити комплексне оцінювання різних груп білковмісної сировини, науково обґрунтувати вибір саме ВРС для збагачення хлібних виробів та провести комп'ютерне моделювання впливу внесення різних видів та дозувань ВРС на харчову та біологічну цінність кінцевої хлібної продукції;

- вивчити технологічні властивості різних видів ВРС, простежити закономірності їх впливу на процес замішування тіста і запропонувати технологічні зміни для забезпечення високих споживчих характеристик готових виробів;

- на прикладі процесу клейковиноутворення дослідити характер і встановити закономірності впливу різних видів ВРС на білкові речовини пшеничного борошна з метою уточнення положень теорії Покровського-Патта щодо визначальної ролі морфологічних особливостей рослини, з якої одержано білок, на процес його взаємодії з іншими рослинними білками;

- розглянути вплив способу тістоприготування на формування показників якості готових виробів, обґрунтувати рекомендації щодо етапів внесення ВРС та параметрів технологічного процесу, що забезпечать одержання виробів з необхідними органолептичними та фізико-хімічними характеристиками;

- провести комплексне оцінювання показників розроблених високобілкових хлібобулочних виробів із залученням сучасних інструментальних та комп'ютерних методик, вивчити процес черствіння хліба з ВРС та встановити його зв'язок з перерозподілом форм зв'язку вологи в продукті;

- використовуючи розрахункові та експериментальні методики, оцінити зміну якості білкової складової розроблених хлібобулочних виробів за вмістом незамінних амінокислот, дослідити зміну біодоступності білка збагачених виробів і можливість їх маркування як виробів з підвищеним вмістом білка за вітчизняними та міжнародними критеріями;

- на основі узагальнення експериментальних даних розробити групу хлібних виробів для споживачів з підвищеними білковими потребами (спортсменів, туристів, військовослужбовців), які б характеризувалися покращеною засвоюваністю, зручністю в транспортуванні та вживанні, відповідали специфічним потребам вказаних груп споживачів;

- у випадку неможливості наблизити харчову та біологічну цінність розроблених хлібобулочних виробів до вимог нутриціології за білковою складовою розглянути асортимент нетрадиційної хлібної продукції, що за своїм рецептурним складом і технологією виготовлення могла б відповідати означеним критеріям; на підставі системного аналізу, математичного моделювання та оптимізації розробити рекомендації щодо коригування основних параметрів їх виробництва для вирішення поставленого завдання;

- оцінити економічну ефективність і наукову новизну одержаних рішень, розробити нормативну документацію на нові види високобілкових хлібних виробів, провести виробничу апробацію та впровадження розроблених технологій на підприємствах галузі.

Наукова концепція роботи полягає у комплексному дослідженні біохімічних та технологічних характеристик ВРС та встановленні закономірностей її впливу на технологічний процес для розроблення технології хлібних виробів зі збалансованим хімічним складом і високим вмістом рослинного білка в біологічно безпечній та фізіологічно доступній формі.

Об'єкт досліджень – технологія хлібних виробів.

Предмет досліджень – ВРС (ізоляти рослинних білків), напівфабрикати і хлібні вироби різних груп з підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

Методи досліджень – галузеві та спеціальні фізичні, біохімічні, мікробіологічні та органолептичні методи визначення якості сировини, напівфабрикатів і продукції; методи аналітичного та експериментального оцінювання біологічної скла-

дової сировини і готових виробів; кваліметричні та експериментально-статистичні методи планування експерименту й математичного опрацювання експериментальних даних з використанням сучасних приладів і цифрових технологій.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі проведених досліджень, аналізу й узагальнення одержаних результатів, встановлення закономірностей їх зміни науково обґрунтовано концепцію комплексного вирішення проблеми розроблення різних груп хлібних виробів для споживачів з підвищеними білковими потребами за рахунок використання нових видів ВРС, що мають збалансований хімічний склад та високу біологічну цінність, здатні доповнювати амінокислотну формулу виробів з пшеничного борошна за основною незамінною амінокислотою – лізином.

Уперше:

- запропоновано використання сучасних методик оцінювання білкової складової харчових продуктів і раціонів PDCAAS та DIAAS, які передбачають врахування як загальної засвоюваності білка, так і біодоступності окремих амінокислот, для комплексного вивчення якості білка сировини та готових хлібних виробів;

- з використанням принципів кваліметрії запропоновано методику комплексного оцінювання ВРС за показниками якості, технологічних властивостей і ціни, яка передбачає використання методу однокрокового експертного оцінювання у формі заочного опитування;

- вивчено, узагальнено та систематизовано дані щодо технологічних властивостей ВРС різного морфологічного походження;

- сформульовано теоретичні й практичні передумови використання ВРС у технології хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок і хлібних кульок), розроблено математичні моделі технологічного процесу і проведено оптимізацію параметрів їх виготовлення;

- здійснено системний аналіз технології виготовлення сухарних брикетів з виділенням підсистем, на основі складання параметричної схеми центральної підсистеми (формування) запропоновано математичну модель процесу пресування та складено його цільову функцію.

Знайшли подальший розвиток дослідження щодо:

- зміни водопоглинальної здатності тіста з ВРС, встановлено і проведено математичний та номографічний опис одержаної залежності, що стало підґрунтям для розроблення технологічних рекомендацій;

- взаємодії клейковинних білків пшеничного борошна з білками ВРС, здійснено математичний опис і аналіз цього впливу на кількісні та якісні показники клейковини;

- комплексного вивчення закономірностей перебігу основних технологічних процесів у тісті з ВРС, які узгоджуються з теорією Покровського-Патта про вплив морфологічного походження різних видів рослинних білків на їх взаємодію з білками пшениці;

- впливу різних форм зв'язку вологи у готових виробах з ВРС на процес збереження ними свіжості, зміну структурно-механічних та гідрофільних властивостей їх м'якушки, зумовлених перерозподілом вологи різних форм зв'язку;

- впливу основних параметрів сухарної крихти та тиску пресування на фізи-

ко-хімічні характеристики високобілкових сухарних брикетів.

Теоретично доведено і експериментально підтверджено ефективність використання ВРС для покращення збалансованості білково-вуглеводної та амінокислотної складових різних груп хлібних виробів.

Практичне значення одержаних результатів. На основі вивчення хімічного складу і технологічних властивостей високобілкової сировини виявлено перспективні її види для комплексного покращення харчової та біологічної цінності різних груп хлібних виробів.

Встановлено оптимальні дозування ВРС та їх сумішей у технології традиційних хлібобулочних виробів (хліба, хлібних паличок і хлібних кульок), а також інноваційному продукті – високобілковому сухарному брикеті.

Запропоновано зміни у режимах виготовлення традиційних хлібних виробів (хліб, хлібні палички), що забезпечить їх високі споживчі характеристики.

Розроблено технологію виготовлення високобілкового сухарного брикету на основі ВРС та сухарної крихти, одержаної з черствого хліба.

Розроблено номограми для швидкого визначення додаткової рецептурної кількості води для замішування тіста з різним вмістом та співвідношенням ВРС, а також номограми встановлення кількості білка у високобілкових сухих борошняних сумішах на основі ВРС.

Одержані результати можуть бути використані у курсовому і дипломному проектуванні, при написанні магістерських і дисертаційних робіт.

Розроблено і затверджено нормативну документацію на нові види високобілкових хлібних виробів (у т.ч. – підвищеної засвоюваності), а також сухі борошняні суміші з ВРС, наукову новизну одержаних рішень захищено патентами, що сприятиме розширенню асортименту високобілкових хлібних виробів, які можуть бути використані в умовах спортивних змагань, туристичних походів чи місць проведення військових дій.

Достовірність одержаних даних підтверджена методами їх математично-статистичного опрацювання, розробленням математичних моделей, результатами виробничих випробувань та впровадженням розробленої продукції на підприємствах галузі.

Особистий внесок здобувача. Автором проведено теоретичне обґрунтування і формулювання мети, завдань і змісту досліджень, виконано підбір методів і методик виконання експериментів, прийнято участь у їх практичній реалізації в лабораторних і виробничих умовах. Аналіз, систематизація і узагальнення одержаних результатів, їх методичне оформлення були виконані за безпосередньої участі автора як відповідального виконавця держбюджетної тематики кафедри. Ряд досліджень виконано спільно з к.т.н. Білик О.А., к.т.н. Лазаренком М.В., к.т.н. Лазаренком М.М., к.т.н. Шараном А.В., к.т.н. Баштою А.В. У спільних наукових роботах автору належить наукове обґрунтування і вибір методології досліджень, підготовка лабораторних зразків, участь у проведенні досліджень та опрацюванні, аналізі й оформленні одержаних результатів. Частина досліджень виконано в процесі керівництва дисертаційною роботою аспіранта Черниш Л.М. Обговорення, аналіз, систематизація і узагальнення одержаних наукових даних та їх теоретичне обґрунтування проведено спільно з науковим консультантом д.т.н. Дробот В.І. Особистий

внесок здобувача підтверджено наведеними у додатках до роботи документами і науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи представлено на 80-й Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, м. Київ, 2014 р.); Міжнародній науковій конференції, присвяченій 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості» (НУХТ, м. Київ, 2014 р.); IV-й міжнародній науково-технічній конференції «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» (ВДУТ, м. Вороніж, 2014 р.); 81-й науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, м. Київ, 2015 р.); XVIII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Современные технологии сельскохозяйственного производства» (ГДАУ, м. Гродно, 2015 р.); Міжнародній науковій конференції «Интеллектуальный потенциал XXI века'2015» (м. Іваново, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Технологічні аспекти підвищення конкурентоспроможності хліба і хлібобулочних виробів» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Інноваційні напрямки розвитку освіти, сфери послуг і технологій», Волинський коледж НУХТ (м. Луцьк, 2016 р.); 82-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, м. Київ, 2016 р.); 8-му Центрально-Європейському конгресі з питань продовольства SEFood 2016 (НУХТ, м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека» (НУХТ, м. Київ, 2017 р.); 83-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, м. Київ, 2017 р.); III-й Міжнародній науково-практичній конференції «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (БДАТУ, м. Мінськ, 2017 р.); XX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Современные технологии сельскохозяйственного производства» (ГДАУ, м. Гродно, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві» (НУХТ, м. Київ, 2017 р.); 84-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, м. Київ, 2018 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 49 наукових праць, у тому числі один розділ у колективній монографії, 21 стаття у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 13 – у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 12 патентів України (з них один – на винахід), 15 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях України та інших держав.

Структура дисертації та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить

473 найменування, 12 додатків. Основний матеріал дисертації викладено на 283 сторінках друкованого тексту, містить 114 рисунків і 76 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, завдання, предмет, об'єкт і методи досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, відображено результати апробації, наведено відомості про особистий внесок здобувача, вказано публікації за матеріалами дисертаційної роботи, охарактеризовано її структуру й обсяг.

У першому розділі «Проблема задоволення підвищених білкових потреб окремих груп споживачів та роль хлібних виробів у її вирішенні» (огляд літератури) на основі вивчення фізіологічних потреб людей різного віку, статі та рівня фізичної активності показано, що для споживачів з підвищеними фізичними навантаженнями (у т.ч. спортсменів силових видів спорту, туристів і військовослужбовців) норми споживання білка у 1,5...2,5 рази перевищують середні значення, на які орієнтуються фахівці харчової галузі, розробляючи традиційні продукти, тому є необхідність розроблення спеціалізованої високобілкової продукції, що здатна задовольнити фізіологічні запити організму окремих груп споживачів з підвищеним рівнем фізичної активності. Для адекватного оцінювання білкової складової різних видів сировини та готових виробів запропоновано використання міжнародно визнаних сучасних методик PDCAAS і DIAAS, рекомендованих експертами ФАО. З урахуванням зібраних даних щодо біологічної цінності різних груп білкових збагачувачів, масштабів культивування, особливостей виробництва та хімічного складу показано ефективність використання у технології хлібопечення саме білкових ізолятів, які характеризуються високим вмістом білка (близько 90 %) і відсутністю антипоживних речовин, властивих продуктам переробки бобових. На підставі літературних даних щодо впливу внесення рослинної білкової сировини на перебіг технологічного процесу і якість готових виробів сформульовано теоретичні та практичні завдання щодо вивчення можливості використання ВРС у технології хлібних виробів для споживачів з підвищеною потребою у макронутрієнтах.

У другому розділі «Характеристика сировини та методів досліджень» наведено основні напрями проведення досліджень, охарактеризовано обрану сировину і вказано методики оцінювання показників якості сировини, напівфабрикатів і кінцевої продукції, наведено характеристику обраної сировини: борошна пшеничного вищого сорту, сухої пшеничної клейковини виробництва ТОВ «Cargill», ізолятів рослинних білків: соєвого (ІСБ) ISOPRO 900 EM-UP1 виробництва Shandong Sinoglory Group Co. (Китай), рисового (ІРБ) виробництва Growing Naturals, LLC (США) та горохового (ІГБ) виробництва Cosucra Groupe Warcoing S. A. (Бельгія), а також традиційної для хлібопечення сировини (дріжджі хлібопекарські пресовані, сіль кухонна харчова, олія соняшникова, цукор білий кристалічний тощо). Усі види сировини відповідали вимогам чинної нормативної документації та мали сертифікати відповідності санітарному законодавству України.

Експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи проводилися у науково-дослідних та виробничих лабораторіях навчально-наукових закладів і підприємств галузі: кафедр технології хлібопекарських та кондитерських виробів і теоретичної механіки та ресурсощадних технологій НУХТ, проблемної науково-дослідній лабораторії НУХТ, Інституту продовольчих ресурсів, Національного університету імені Т.Г. Шевченка, Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова (м. Київ), Сумського коледжу харчових технологій НУХТ, ТОВ «Сумська паляниця» (м. Суми), ТОВ «Васильківхлібопродукт» (м. Васильків Київської області), ПП «Лата-Прим» (м. Бахмут Донецької області), хлібохарчокомбінату Краснопільської РСС (м. Краснопілля Сумської області).

Для встановлення показників якості сировини, напівфабрикатів і готових виробів використовували як загальноприйняті у галузі, так і спеціальні чи модифіковані методики.

Фракційний склад білків борошна і ВРС визначали методом вибіркової розчинності за Осборном. Динамічну в'язкість модельних систем ($W = 65\%$) з внесенням окремих видів ВРС та їх сумішей визначали за допомогою віскозиметра Геплера. *Гранулометричний склад* сухарної крихти, *показники насипної густини та кута природного схилу* визначали згідно методик, прийнятих у борошномельній, харчо-концентратній та фармацевтичній галузях промисловості.

Реологічні характеристики тіста та величину водопоглинання сировини оцінювали за допомогою фаринографа Brabender®, оснащеного міксером з сігма-лопастями S 300. *Визначення площі пор та кольору м'якушки* проводили за допомогою програми «ImageJ», обробляючи цифрове зображення зрізу м'якушки хліба, одержане фотографуванням чи скануванням. *Амінокислотний склад виробів* досліджували методом іонообмінної рідинно-колонної хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот Т-339. *Перетравлюваність білкових речовин* хліба оцінювали за інтенсивністю їх гідролізу пепсином і трипсином в умовах «*in vitro*», використовуючи модифіковану методику Покровського-Єртанова. *Вивчення динаміки зміни форм зв'язку вологи* у м'якушці хліба під час його зберігання проводили термогравіметричним методом з використанням дериватографа Q-1500 D.

Комплексне оцінювання ВРС здійснювали згідно вимог кваліметрії методом однокрокового експертного оцінювання, що проводилося у формі заочного опитування за методикою векторів переваг.

Для характеристики якості білкової складової сировини та готових виробів використовували загальноприйняті розрахункові методики:

- розрахунок амінокислотного числа (скорю) як відносної величини наближення вмісту кожної з незамінних амінокислот у досліджуваному продукті до вмісту цієї ж амінокислоти в еталонному білку;
- розрахунок показника PDCAAS (анг. digestible indispensable amino acid score) як відносної величини наближення амінокислотного складу досліджуваного білка (з врахуванням ступеню його засвоєння) до формули еталонного білка;
- розрахунок показника DIAAS (анг. protein digestibility corrected amino acid score) як відносної величини наближення засвоюваної (біологічно доступної) кількості кожної з незамінних амінокислот у досліджуваному продукті до вмісту цієї ж амінокислоти в еталонному білку;

- розрахунок коефіцієнта розбалансованості амінокислотного складу (КРАС) та показника зіставної надлишковості амінокислотної формули.

Пресування сухарних брикетів масою 5 г проводили на гідравлічному пресі за тиску 127 МПа, використовуючи матрицю внутрішнім діаметром 20 мм і витримуючи брикет під навантаженням 30 сек. Оцінювання якості сухарних брикетів проводили за органолептичними та фізико-хімічними показниками – міцністю (навантаженням руйнування) та тривалістю розмочування, традиційними для фармацевтичної та харчоконцентратної промисловості.

Математичне моделювання рецептур і технологічних параметрів виготовлення хлібних виробів проводили за методом повного факторного експерименту. Для математично-статистичного опрацювання одержаних даних використовували програму ПФЕ_2^н, застосовуючи: для перевірки однорідності дисперсій – критерій Кохрена, оцінювання суттєвості коефіцієнтів рівняння регресії – критерій Стюдента, перевірки адекватності одержаних рівнянь – критерій Фішера. Оптимізацію величин обраних факторів проводили за програмою «крутого сходження». Для автоматизації обчислень та графічного представлення експериментальних даних використовували можливості програмного пакету Microsoft Office Excel, розрахункову оптимізацію хімічного складу хлібобулочних виробів з ВРС проводили за допомогою програмного комплексу «Оптіма». Побудову номограм здійснювали з використанням основних положень номографії.

У третьому розділі «Наукове обґрунтування доцільності використання ВРС у хлібопекарському виробництві» із залученням сучасних методик проведено оцінювання білкової складової різних груп хлібних виробів і підтверджено, що першочергового збалансування амінокислотної формули потребують хлібобулочні вироби з пшеничного борошна вищого і першого сортів, які мають показник коефіцієнту розбалансованості амінокислотного скору (КРАС) на рівні 85...86 %. Розрахунок біологічної цінності ВРС за показниками PDCAAS і DIAAS показав, що вимозі компліментарності (доповнюваності пшеничного борошна) за лізином найкраще відповідають ІГБ (153 %) та ІСБ (134 %), а СПК має найнижчу біологічну цінність (32 % за показником DIAAS, табл. 1).

Таблиця 1 – Біологічна цінність СПК за показником DIAAS

Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Істинна засвоюваність амінокислот, % [17]				Засвоювана кількість амінокислот, мг/1 г білка			
Lys	Met+ Cys	Thr	Trp	Lys	Met+ Cys	Thr	Trp	Lys	Met+ Cys	Thr	Trp
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	К	А×Д	Б×Е	В×Ж	Г×К
18	48	27	40	86	95	91	90	15	46	25	9
Вміст амінокислоти у еталонному білку, мг/1 г білка:								48,0	23,0	25,0	6,6
Амінокислотне число і лімітуюча амінокислота:								0,32	1,98	0,98	1,36
Показник DIAAS суміші, обумовлений лімітуючою амінокислотою, %:								32			

Однак вибір сировини для хлібопечення має враховувати не лише біологічну цінність, але й інші фактори – економічні та функціонально-технологічні. Тому розроблено й апробовано методику комплексного оцінювання високобілкової сировини, що може бути використана у хлібопекарському виробництві й включає такі характеристики сировини:

1. Вміст білка.
2. Біологічна повноцінність білка (збалансованість незамінних амінокислот).
3. Вартість.
4. Органолептичні показники.
5. Відсутність антипоживних речовин.
6. Легкість зберігання і зручність внесення.
7. Функціонально-технологічні властивості (вплив на технологію виготовлення хліба).
8. Доступність сировини і легкість одержання.
9. Екологічність виготовлення.
10. Можливість вживання різними групами споживачів (люди з певними захворюваннями, діти, люди похилого віку тощо).

Провівши статистичне опрацювання результатів експертного оцінювання та розрахувавши узгодженість їх думок, встановлено, що найважливішими факторами вибору сировини є цільова група споживачів, на яких буде орієнтовано збагачений білком продукт, вміст білка у сировині та відсутність у її складі антипоживних речовин. Найбільша розбіжність спостерігається для показника «Вартість», що свідчить про відсутність однакості думок експертів щодо запропонованого критерію: для проведення наукових досліджень цей показник не є визначальним, однак його роль суттєво зростає на етапі впровадження розробленої продукції у виробництво. Оскільки більшість досліджуваних показників не регламентуються нормативною документацією чи мають нечислове вираження, запропоновано 5-бальну відносну шкалу відповідності й розроблено формулу розрахунку комплексного показника оцінювання:

$$KO = \frac{1}{5} (12,1q_1 + 12,9q_2 + 8,8q_3 + 9,8q_4 + 10,3q_5 + 8,4q_6 + 10,8q_7 + 8,3q_8 + 9,3q_9 + 9,3q_{10})$$

де q_i – оцінка сировини за певним критерієм.

Для обраних видів ВРС було одержано такі величини комплексної оцінки: СПК – 84, ІСБ – 92, ІГБ – 80, ІРБ – 79. Враховуючи, що оцінки 90...100 відповідають відмінній якості, а 75...89 – високій, зробили висновок, що лише ІСБ має комплексну оцінку «відмінно», а інші види сировини характеризуються оцінкою «добре». СПК займає друге місце за величиною оцінки, тому саме використання ІСБ та СПК є найперспективнішим як з точки зору доступності сировини, так і її впливу на перебіг технологічного процесу та якість готових виробів. ІГБ та ІРБ також заслуговують на увагу технологів, однак використання цих видів сировини матиме суттєвіший негативний вплив на органолептичні показники кінцевої продукції та її якість.

Методом комп'ютерного моделювання вивчено зміну кількості білка та лізину в хлібі з внесенням усіх обраних видів ВРС в кількості до 21 % замість борошна (зважаючи, що на ринку України представлено хліб «Білковий», до рецептури якого входить 21 % СПК і який прийнято за контрольний зразок). Доведено, що використання СПК призводить до суттєвого (майже у два рази) зростання вмісту білка у готових виробах, однак при цьому їх біологічна цінність суттєво знижується (рис. 1). Адже скор основної лімітуючої амінокислоти лізину при цьому зменшується майже на третину. Використання ІСБ та ІГБ має позитивний вплив на біологічну цінність готових виробів (скор лізину в обох випадках перевищує 100 %) з одночасним зростанням вмісту білка майже до рівня хліба з СПК (при внесенні ІГБ) чи з суттєвим його перевищенням (вносячи 21 % ІСБ). Внесення ІРБ підвищує біологічну цінність готових виробів за показником амінокислотного скору майже на 30 % (хоча й не

досягає рівня 100 %) і призводить до зростання загального вмісту білка більш ніж у 2 рази. Тож використання СПК для підвищення біологічної цінності збагачених хлібних виробів недоцільне.

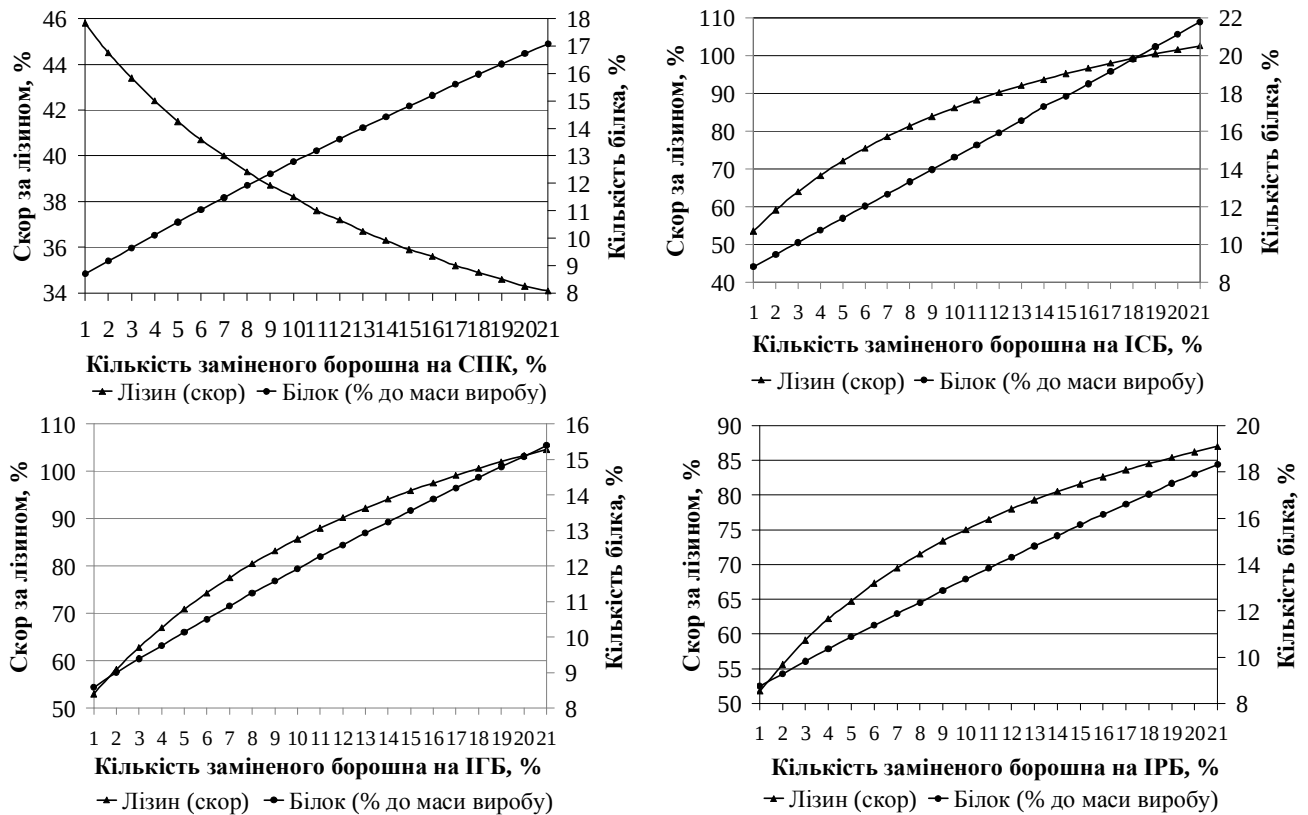


Рисунок 1 – Зміна кількості білка та амінокислотного скору лізину за внесення різної кількості та виду ВРС

Запропоновано сумісне внесення СПК (як технологічної добавки для покращення структурно-механічних властивостей тіста і підвищення споживчих характеристик високобілкових виробів) та ізолятів (як білкових збагачувачів). Методами комп'ютерного моделювання підібрано оптимальні співвідношення різних видів ВРС для забезпечення високої харчової та біологічної цінності хлібних виробів: ІСБ:СПК = 10:17, ІГБ:СПК = 10:11, ІРБ:СПК = 9:12 % замість борошна.

У четвертому розділі «Дослідження технологічних властивостей ВРС та її впливу на перебіг основних процесів під час приготування тіста» проведено порівняльний аналіз технологічних характеристик обраних видів ВРС. Встановлено їх суттєву відмінність від пшеничного борошна: темніше забарвлення (особливо ІГБ та ІРБ), у 1,5...3,5 рази вищі показники водо- та жирутримувальної здатності, що слід враховувати, обираючи основні параметри ведення технологічного процесу. Зокрема, передбачати додаткову рецептурну кількість води та зміну технологічних режимів не лише з врахуванням величини їх водоутримувальної здатності, але й встановленого нами факту зростання динамічної в'язкості (рис. 2) за рахунок синергізму процесів водопоглинання і утворення клейковини.

Аналіз фракційного складу білкових речовин ВРС за методом вибіркової розчинності показав, що лише білки пшеничного борошна та СПК містять високий вміст проламінів та глютелінів, які в сумі становлять понад половину усіх білкових

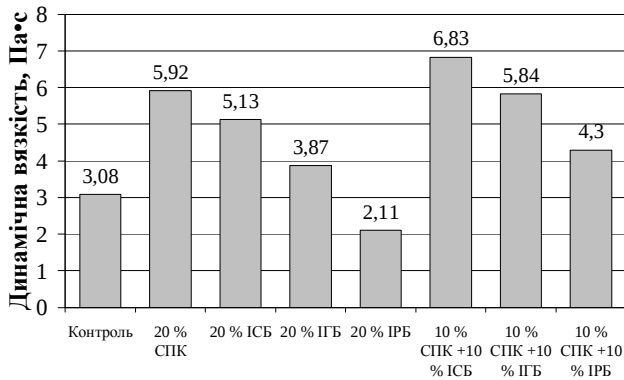


Рисунок 2 – Динамічна в'язкість модельних тістових мас ($W = 65\%$) з додаванням окремих видів та сумішей ВРС

видів ВРС на бродильну активність дріжджів та перебіг мікробіологічних процесів у тісті. Проведене мікрофотографування та аналіз одержаних даних підтвердили це припущення: спостерігається як загальне зростання кількості дріжджових клітин (на 52...62 %), так і перевищення динаміки їх накопичення порівняно з конт-

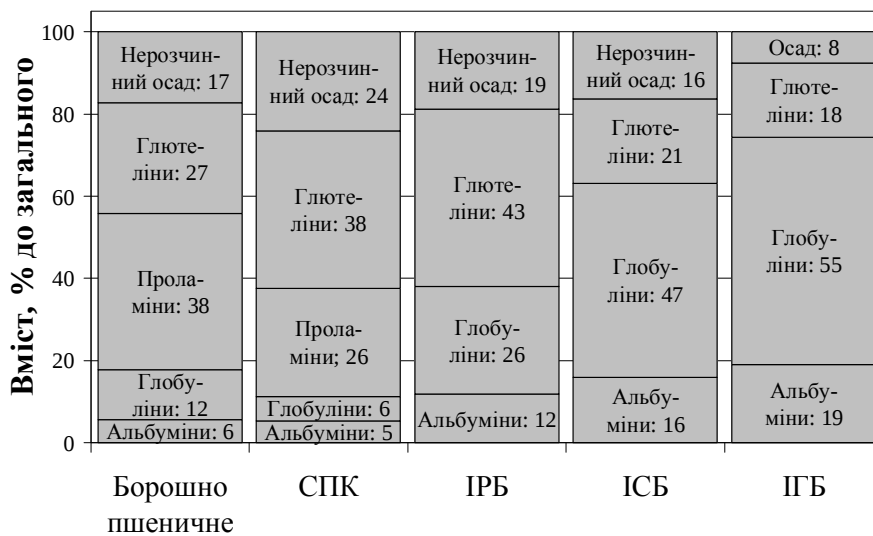


Рисунок 3 – Фракційний склад білків пшеничного борошна та ВРС

ВРС, за верхню межу кількості внесення досліджуваних видів сировини обрано 20 % замість борошна (табл. 2).

Таблиця 2 – Зведені дані фаринографічних досліджень зразків тіста з ВРС

Показник	Контроль (без ВРС)	Замінено 20 % борошна на:			
		ІРБ	СПК	ІСБ	ІГБ
Водопоглинальна здатність, %	61,8	66,5	73,3	94,2	78,1
Час утворення тіста, хв.	2,1	1,3	10,4	4,5	8,1
Стійкість тіста, хв.	12,6	13,5	max	7,4	7,4
Ступінь розрідження тіста, од. фаринографа	18	21	6	29	6

Встановлено суттєве зростання водопоглинальної здатності тіста з внесенням обраної ВРС: від 4,7 % (абс.) у випадку з ІРБ до 32,4 % (абс.) у зразку з додаванням

речовин, тоді як інші види ВРС не містять проламінів, але до їх складу входить підвищена кількість альбумінів і глобулінів (рис. 3). Це узгоджується з основним положенням теорії Покровського-Патта і пояснює відомий факт, що у тісті з внесенням значної кількості продуктів переробки бобових клейковинний каркас практично не утворюється або має незадовільні технологічні характеристики. Водночас підвищений (у 2,5...3,5 рази) вміст альбумінової фракції у ІСБ та ІГБ (16 і 19 % відповідно) дає підстави прогнозувати позитивну дію внесення цих

рольним зразком на 2...7 % (крім СПК).

Для вивчення впливу внесення обраних ВРС на основні характеристики тіста і визначення необхідної кількості води для його замішування використовували фаринограф-АТ Brabender®. Беручи до уваги результати комп'ютерного моделювання зміни харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів з внесенням різної кількості

ІСБ, а також подовження на 2...8 хв. часу утворення тіста з досліджуваними видами сировини (крім зразка з ІРБ, де бачимо зменшення цього показника майже на 1 хв.). Поясненням цьому може бути конкуренція між складовими борошна та доданої ВРС за воду, що сповільнює процес формування необхідної структури тіста і узгоджується з раніше встановленими величинами водоутримувальної здатності. Доведено чітку залежність між водопоглинальною здатністю тіста і видом та кількістю доданої ВРС, що дало змогу розробити формулу розрахунку необхідної для замішування тіста додаткової кількості води залежно від виду ВРС:

$$K_{ВПЗ} = \frac{ВПЗ_0 - G_6 \cdot K_6}{G_0},$$

де $ВПЗ_0$ – водопоглинальна здатність тіста з обраною ВРС, %;

G_6 – маса борошна у 100 г суміші, г;

K_6 – коефіцієнт, що враховує водопоглинальну здатність контрольного зразка тіста (без ВРС), г/г;

G_0 – маса обраної ВРС у 100 г суміші, г.

Розрахунковим способом одержано відповідні коефіцієнти для всіх видів ВРС (г/г): СПК – 1,2; ІСБ – 2,2; ІГБ – 1,5. Тобто внесення кожного додаткового граму ВРС потребуватиме збільшення розрахованої за стандартизованою методикою (що враховує лише масову частку вологи в сировині) рецептурної кількості води на величину, що відповідає розрахованим коефіцієнтам. Додаткові фаринографічні дослідження, проведенні з врахуванням розроблених коефіцієнтів, підтвердили їх ефективність для одержання тіста з необхідними структурно-механічними властивостями.

Для зручності використання у практичній діяльності інженера-технолога хлібопекарського виробництва отримані залежності запропоновано представити у вигляді номограм. Нами розроблено номограми з вирівняних точок з трьома прямолінійними паралельними шкалами (бічними – для вибору дозувань ВРС і центральною – для встановлення необхідної кількості додаткової води на 100 г борошна). Оскільки одним із компонентів суміші завжди буде СПК, також запропоновано групування кількох номограм зі спільною центральною віссю, що позначатиме кількість внесеного СПК (на рис. 4 – приклад для визначення додаткової кількості води у випадку використання суміші СПК з ІГБ чи ІРБ).

Оскільки з технологічної точки зору важливо знати не лише кількість води, яку слід додатково внести для замішування тіста з ВРС, але й результуючу масову частку вологи в ньому, нами запропоновано формулу і порядок встановлення розрахункової вологості тіста з врахуванням підвищеного водопоглинання ВРС. Зважаючи на встановлений факт суттєвої розбіжності між розрахунковою та експериментальною часткою вологи у тісті з ВРС, зумовленою її високою водопоглинальною і водоутримувальною здатністю, вивчено доцільність коригування параметрів висушування тіста з ВРС для повнішого видалення вологи. Доведено, що високої збіжності розрахункових і експериментальних даних в ході поточного технологічного контролю масової частки вологи тіста з ВРС на приладах типу ВЧМ можна досягти за таких параметрів висушування: маса наважки – 5 г, температура висушування – 160 °С, тривалість – 8 хв.

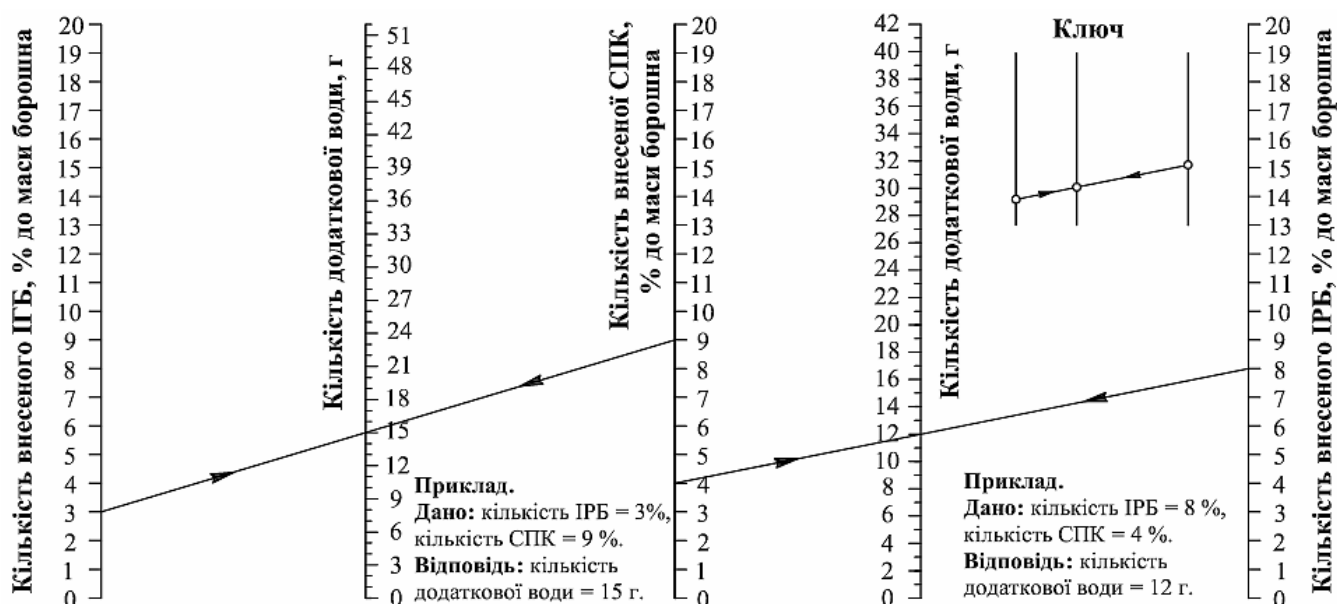


Рисунок 4 – П'ятиосьова номограма для встановлення кількості додаткової води, що вноситься у тісто з різним співвідношенням СПК та ІГБ чи ІРБ

Проведено комплексний аналіз зміни показників кількості та якості клейковини у тісті з внесенням досліджуваних видів ВРС в кількості до 15 % замість борошна. Встановлено ряд закономірностей: лише внесення СПК призводить до закономірного зростання кількості сирої та сухої клейковини у 2...2,5 рази, тоді як ІСБ та ІГБ зумовлюють зниження цих показників (рис. 5). Величини цього впливу узгоджується з теорією Покровського-Патта і свідчить про можливість залучення глютелінової фракції білкових речовин ВРС до загального процесу клейковинотворення на основі білків пшениці, про що свідчить зростання майже на 1 % вмісту сухої клейковини у зразку із заміною частини борошна на ІРБ. Нами здійснено математичний опис залежностей показників кількості сирої та сухої клейковини від типу й дозування ВРС:

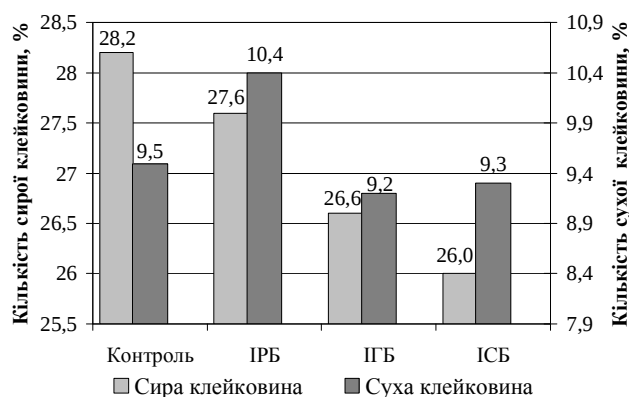


Рисунок 5 – Зміна кількості сирої та сухої клейковини у зразках з внесенням 15 % ВРС (крім СПК)

	Зміна кількості сирої клейковини	Зміна кількості сухої клейковини
СПК	$y = 34,90 + 5,56x$	$y = 6,9 + 3,46x$
ІРБ	$y = 28,25 - 0,17x$	$y = 9,3 + 0,25x$
ІГБ	$y = 27,55 - 0,24x$	$y = 9,5 - 0,07x$
ІСБ	$y = 27,45 - 0,38x$	$y = 9,5 - 0,05x$

Проведений аналіз одержаних рівнянь з урахуванням розмірності та знаку коефіцієнтів впливу свідчить, що негативний вплив ІСБ більш ніж удвічі відчутніший, ніж ІРБ (для ІГБ ця відмінність становить 1,7 рази). Негативно впливає внесення ІГБ та ІСБ і на кількість сухої клейковини, у той час як для ІРБ спостерігаємо хоча й незначний, але позитивний вплив, подібний до СПК. Ці залежності

можуть бути використанні для теоретичного прогнозування зміни кількості сирови та сухої клейковини у зразках з різним дозуванням ВРС.

Вивчення якісних характеристик клейковини свідчить про зниження її гідратаційної здатності на 7...30 % (абс.) та пружності – на 12...21 од. приладу (за показником ИДК) для всіх видів ВРС, що обґрунтовано пов'язано нами з різницею у водопоглинальній здатності досліджуваних видів сировини.

Дослідженнями зміни кількісних та якісних показників клейковини за умови використання підібраних сумішей ВРС (табл. 3) встановлено, що додавання лише СПК в кількості 21 % (контроль білковий) призводить до зростання вмісту сирови клейковини майже на 41 % (абс.) – з 28,2 % до 69,1 %. Використання пропонованих сумішей не зумовлює такого значного збільшення цього показника (лише на 18...21 % абс.), однак порівняно з контрольним зразком без ВРС спостерігаємо зростання майже у 1,7 рази (46,5...49 %). Вміст сухої клейковини зростає на 8...9 % (абс.) порівняно з контрольним зразком без ВРС.

Таблиця 3 – Зміна кількісних та якісних характеристик клейковини у зразках з обраними співвідношеннями сумішей ВРС

Показники	Контроль (без ВРС)	Контроль білковий (21 % СПК)	Співвідношення різних видів ВРС		
			ІСБ:СПК = 10:17	ІГБ:СПК = 10:11	ІРБ:СПК = 9:12
Вміст сирови клейковини, %	28,2	69,1	49	46,5	47,3
Вміст сухої клейковини, %	9,5	25,9	18,4	17,6	17,9
Гідратаційна здатність, %	197,1	182,2	175,5	187,9	189,4
Пружність за показником ИДК, од. приладу	70	57,3	61,5	65,5	68,0

Водночас спостерігається зниження показника гідратаційної здатності на 8...22 % (абс.) та ущільнення клейковини (за показником ИДК) на 2...13 одиниць приладу (до 57,3...68 од.), однак подібні погіршення якості клейковини не виходять за технологічно прийнятні межі, що підтверджує можливість використання пропонованих сумішей для виготовлення хлібних виробів з підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

Вивчення показника розпливання тіста з обраними сумішами ВРС показало, що зразки з додавання лише СПК та суміші ІСБ:СПК характеризуються на 17...20 % (абс.) меншою величиною досліджуваного показника, ніж контрольний зразок, тоді як зразки з додаванням сумішей, до складу яких входить ІРБ та ІГБ перевищують його на 16...24 % (абс.), що можна пояснити як меншою (у 1,5...2 рази) кількістю СПК у цих сумішах, так і можливим вивільненням ВРС зв'язаної на перших етапах замішування вологи, що викликає додаткове розрідження тіста.

Внесення ВРС, незважаючи на її високу титровану кислотність, не призводить до суттєвого зростання досліджуваного показника, а відмінності у впливові різних сумішей ВРС знаходяться в межах похибки досліду. Тож цей показник не буде лімітуючим у встановленні відповідності одержаних виробів вимогам нормативної документації, адже за титрованою кислотністю усі досліджувані зразки відповідають тісту для хліба «Білкового», що виробляється на підприємствах галузі.

У п'ятому розділі «Встановлення раціональних способів виготовлення хлібобулочних виробів з ВРС, оцінювання ефективності пропонованих заходів за показниками харчової цінності й техніко-економічними розрахунками» обґрунтовано можливість підвищення споживчих характеристик високобілкового хліба за рахунок вибору оптимальної технологічної схеми їх виготовлення, а також розрахунковими та експериментальними методами оцінювали зміну харчової та біологічної цінності розробленої продукції. За результатами лабораторних та виробничих випробувань запропоновано зміни у технологічному процесі: підвищено розрахункову масову частку вологи у тісті згідно розрахованих нами коефіцієнтів додаткового водопоглинання різних видів ВРС, подовжено тривалість замішування тіста на 2...4 хв. і тривалість вистоювання тістових заготовок на 10...20 хв. Вироби мають правильну форму, однак спостерігається незначне затемнення м'якушки (особливо з ІГБ) та зміна смакоароматичних характеристик хліба з білковими ізолятами бобових. Усі зразки характеризуються підвищенням на 3,3...6,5 % (абс.) вмістом вологи і дещо вищим (на 0,4...0,7 град) показником титрованої кислотності, а вихід виробів зріс на 8...23 % (абс.). З використанням спеціалізованої програми «ImageJ» було встановлено факт незначного (на 1...7 %) зниження площі пор усіх зразків, крім контролю білкового з СПК, а також погіршення показника сірої константи м'якушки хліба на 8...23 одиниці (5...14 %), що підтверджує її потемніння.

На прикладі хліба з додаванням суміші ІСБ та СПК показано перспективність використання у технології високобілкових хлібобулочних виробів опарного способу тістоприготування з внесенням ВРС на етапі замішування тіста. Використання опари також дещо згладжує особливості впливу різних видів ВРС, забезпечуючи практичне вирівнювання якості кінцевої продукції незалежно від виду обраної суміші ВРС: на 2...12 % зростає питомий об'єм виробів, на 14...23 % покращується показник правильності форми (Н/В). Готові вироби мають вищі органолептичні характеристики, спостерігається збільшення площі пор м'якушки на 5...6 % (абс.) і зниження показника сірої константи на 2...6 одиниць порівняно з безопарним способом. Тому запропоновано використання саме опарного способу тістоприготування як оптимального для хліба з різними видами ВРС та їх сумішами (табл. 4).

Таблиця 4 – Фізико-хімічні показники тіста і виготовленого з нього опарним способом хліба, до рецептури якого входять підібрані суміші ВРС

Показник	Контроль (без ВРС)	Контроль білковий	ІСБ:СПК (10:17)	ІГБ:СПК (10:11)	ІРБ:СПК (9:12)
Тісто					
Масова частка вологи (розрахункова), %	44	51,6	55,7	52,1	50,9
Кінцева кислотність, град	3,4	4,4	4,5	4,6	4,2
Питомий об'єм (відн.), %	192	238	254	240	250
Хліб					
Масова частка вологи, %,	42,4	46,7	49,3	47,2	46,9
Кислотність, град	3,0	3,4	3,6	3,6	3,2
Питомий об'єм, см ³ /100 г	334	375	350	346	339
Коефіцієнт правильності форми (Н/В)	0,52	0,56	0,5	0,44	0,48

Вивчення процесу черствіння розроблених виробів показало, що внесення лише СПК в кількості 21 % замість борошна (хліб білковий) підвищує ступінь на-

мокання м'якушки хліба на 20,2 % (абс.), тобто більш ніж у 1,7 рази, тоді як для хліба з додаванням суміші на основі ІРБ та СПК цей показник практично рівний контролю (без ВРС). Подібну динаміку спостерігаємо і для показника крихкуватості – додавання ВРС зменшує його на 1,6...5,8 % через 24 год. і на 0,3...12,6 % через 72 год. зберігання виробів. Слід зазначити, що загальне зниження цього показника протягом дослідів близьке в усіх зразків (8...9 % абс), крім СПК, де зростання крихкуватості становить лише 1,2 % абс. Оскільки відомо, що існує прямий зв'язок між протіканням процесу черствіння і перерозподілом вільної та зв'язаної форм вологи у м'якушці, вивчали форми зв'язку вологи у виробках з внесенням різних сумішей ВРС. З використанням термогравіметричного аналізу встановлено факт зростання кількості вільної води у зразках з підвищеним вмістом клейковини: порівняно з контролем без ВРС хліб з СПК через 24 год. зберігання містить у 1,5 рази більше вільної вологи; для інших зразків ця величина дещо менша, але все ж перевищує перший контроль на 32...39 % (табл. 5). Через 72 год. зберігання лише в контрольному зразку без ВРС спостерігається зростання на 5,6 % (абс.) вмісту вільної води з пропорційним зниженням кількості вологи у зв'язаній формі, усі інші зразки характеризуються активнішим переходом води у зв'язаний стан, що і пояснює раніше встановлене явище сповільнення процесу черствіння виробів з ВРС.

Таблиця 5 – Вміст вологи з різною формою зв'язку в контрольних і розроблених видах хліба через 24 і 72 год. зберігання

Зразок і форма зв'язку вологи		Вміст вологи (%) протягом зберігання, год.		Зміна
		24	72	
Контроль (без ВРС)	вільна	20,3	25,9	+ 5,6
	зв'язана	23,7	18,8	– 4,9
Контроль білковий	вільна	30,9	21,7	– 9,2
	зв'язана	12,6	18,4	+ 5,8
ІСБ:СПК (10:17)	вільна	27,4	23,9	– 3,5
	зв'язана	20	22	+ 2,0
ІГБ:СПК (10:11)	вільна	28,2	24,9	– 3,3
	зв'язана	16,5	19,5	+ 3,0
ІРБ:СПК (9:12)	вільна	26,7	23,7	– 3,0
	зв'язана	17	19,4	+ 2,4

За результатами проведених досліджень розроблено нормативну документацію на виготовлення виробів з різними видами та дозуваннями ВРС: хліб «Високобілковий» з внесенням ІСБ та СПК, хліб «Білковий з гороховим ізолятом», що містить у рецептурі ІГБ та СПК і хліб «Білковий з ізолятом рису», до рецептури якого входять ІРБ та СПК. Розрахункове та експериментальне оцінювання їх харчової та біологічної цінності підтвердили досягнення поставленої у роботі мети – зокрема, встановлено суттєве (у 2...2,5 рази) підвищення загального вмісту білка з одночасним зниженням кількості вуглеводів (табл. 6).

Методом іонообмінної рідинно-колонної хроматографії підтверджено розрахункові дані щодо покращення амінокислотної формули кінцевої продукції за рахунок збільшення вмісту лізину на 21...60 %. Комплексне оцінювання білкової складової хліба за показниками індексу якості білка, коефіцієнту розбалансованості амінокислотного скору (КРАС) та показника зіставної надлишковості свідчить про зростання біологічної цінності пропонованих виробів на 8...14 %.

Таблиця 6 – Харчова та енергетична цінність виробів (на 100 г)

Виріб	Вміст, г			Енергетична цінність / калорійність, кДж/ккал
	білки	жири	вуглеводи	
Хліб пшеничний (контроль)	7,8	0,7	54,6	1018/243
Хліб «Білковий» (контроль білковий)	18,8	2,9	41,3	1077/257
Хліб «Високобілковий»	20,0	3,5	33,4	960/229
Хліб «Білковий з гороховим ізолятом»	16,8	3,0	38,9	1006/240
Хліб «Білковий з ізолятом рису»	17,8	2,63	38,1	997/238

З врахуванням коефіцієнту утилітарності незамінних амінокислот доведено підвищення кількості засвоєного (еталонного) білка в усіх розроблених зразках хліба на 0,4...4,0 г порівняно з контролем білковим (табл. 7), а також покращення перетравлюваності білкової складової досліджуваних виробів «*in vitro*»: кількість накопичених продуктів гідролізу порівняно з контролем зросла на 21...37 %. Це забезпечить зниження білкового навантаження на організм та зменшить ризик накопичення продуктів неповного розщеплення білка (наприклад, пуринових основ).

Таблиця 7 – Кількість загального та засвоєного (еталонного) білка у високобілкових видах хліба (на 100 г)

Найменування виробу	Загальний вміст білка, г	Коефіцієнт утилітарності, %	Кількість засвоєного білка, г
Хліб пшеничний (контроль)	7,8	44,5	3,5
Хліб «Білковий» (контроль білковий)	18,8	34,0	6,4
Хліб «Високобілковий»	20,0	51,5	10,3
Хліб «Білковий з гороховим ізолятом»	16,8	62,3	10,5
Хліб «Білковий з ізолятом рису»	17,8	38,0	6,8

Перевірка відповідності хімічного складу розроблених зразків хліба вимогам вітчизняної та міжнародної нормативної документації щодо маркування харчової продукції підтвердила можливість використання для усіх виробів терміну «продукт з високим вмістом білка» (табл. 8), а розрахунок інтегрального скору білкової складової високобілкового хліба показав, що за умови споживання близько 170 г виробів задоволення потреб організму в рослинних білках навіть споживачів п'ятої групи фізичної активності віком 18...29 років становитиме 47...61 %.

Таблиця 8 – Відповідність розроблених виробів вимогам маркування («ДБ» – джерело білка, «ВВБ» – високий вміст білка)

Виріб	Вміст білка, г	Частка калорійності за рахунок білка, %	Задоволення добової потреби в білку (75 г), %	Відповідність вимогам		
				Україна	Митний союз	Кодекс Аліментаріус
Хліб пшеничний (контроль)	7,8	13	10	ДБ	ДБ	ДБ
Хліб «Білковий» (контроль білковий)	18,8	29	25	ВВБ	ВВБ	ВВБ
Хліб «Високобілковий»	20,0	35	27	ВВБ	ВВБ	ВВБ
Хліб «Білковий з гороховим ізолятом»	16,8	28	22	ВВБ	ВВБ	ВВБ
Хліб «Білковий з ізолятом рису»	17,8	30	24	ВВБ	ВВБ	ВВБ

Проведені техніко-економічні розрахунки показали зростання загальної вартості усіх зразків (зважаючи на високу вартість ВРС), однак в перерахунку на 1 г

засвоєного (еталонного) білка підвищення не наскільки суттєве (11...37 %), а вартість засвоєного білка у хлібі з ІСБ навіть на 27 % нижча за контрольний зразок.

З урахуванням усього масиву даних щодо впливу ВРС на хід технологічного процесу, якість, харчову і біологічну цінність хліба розроблено та затверджено у встановленому порядку пакет нормативних документів на нову продукцію – рецептури РЦУ 00389676.6815:2016 та технологічні інструкції ТІУ 00389676.6815:2016, інформацію про вироби включено до ДСТУ-П 4588:2006 «Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови». Запропоновані технічні рішення підтверджено патентами України на корисні моделі, розроблені рецептури хлібобулочних виробів апробовано у виробничих умовах і впроваджено у виробництво на хлібопекарських підприємствах України.

Для спрощення технологічного процесу приготування високобілкового хліба в умовах домашнього хлібопечення і хлібопекарських підприємств невеликої потужності нами розроблено сухі хлібопекарські суміші на основі пшеничного борошна та встановлених оптимальних співвідношень ВРС: ІСБ:СПК = 10:17, ІГБ:СПК = 10:11, ІРБ:СПК = 9:12 % замість борошна. Розрахунок їх харчової та біологічної цінності показав зростання вмісту білка у 2,4...3 рази і вмісту лізину на 12...21 %, а за показниками DIAAS і PDCAAS ці суміші перевищують борошно пшеничне вищого сорту на 14...32 % (абс.). Хоча підібрані композиції сумішей характеризуються збалансованим хімічним складом і високою біологічною цінністю, на виробництві може виникнути необхідність використання інших співвідношень компонентів. Оскільки

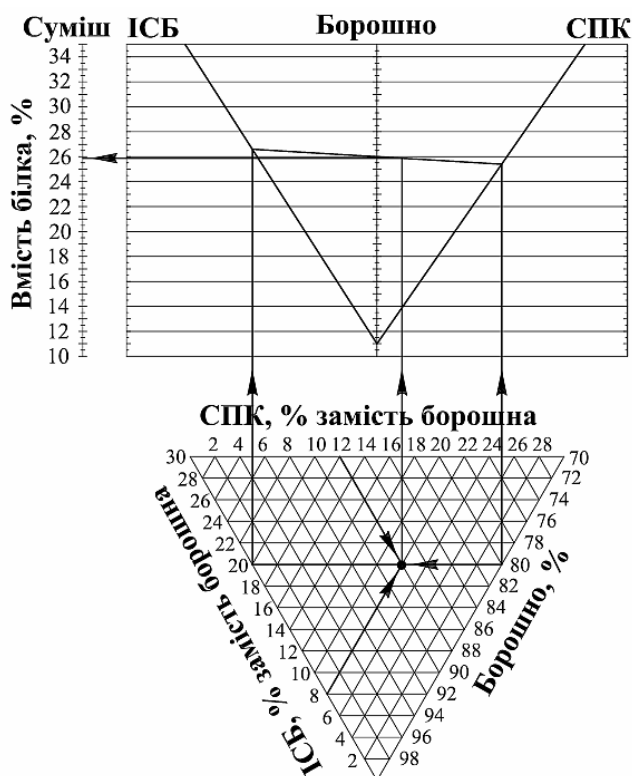


Рисунок 6 – Уточнена семиосьова номограма для визначення кількості білка у борошняній суміші з ІСБ та СПК за умови, що сумарна кількість ВРС не перевищує 30 %

лики подібні суміші призначені насамперед для збагачення хлібобулочних виробів білком, розрахунок його кількості має важливе значення для правильного підбору рецептури. Нами розроблено семиосьові номограми з трикутною системою координат та інструкцію щодо їх використання для визначення вмісту білка у трикомпонентних борошняних сумішах з різним співвідношенням ВРС чи підбору необхідної композиції інгредієнтів для одержання суміші із заданою кількістю білка (на рис. 6 – приклад використання модифікованої семиосьової номограми для встановлення вмісту білка в суміші).

У шостому розділі «Наукове обґрунтування і розроблення технології високобілкових хлібних виробів для окремих цільових груп» доведено можливість використання рослинних добавок для підвищення засвоюваності білка хліба, а також показано перспективність високобілкових хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок і хлібних кульок) як компоне-

нту харчування споживачів з підвищеним рівнем фізичної активності.

Відомо, що значні фізичні навантаження можуть пригнічувати секреторну діяльність кишково-шлункового тракту, тим самим знижуючи ступінь засвоєння спожитого білка, що може призвести до білкового «перевантаження» організму і спричинити виснаження травної системи та залоз внутрішньої секреції, створить передумови для гіпертрофії печінки та підвищеного навантаження на нирки. Для мінімізації негативного впливу підвищених кількостей білка та продуктів їх розщеплення на організм людини, робота травної системи якої ослаблена значними фізичними навантаженнями, нами запропоновано використання природних стимуляторів травлення – препаратів з рослин бедринця ломикаменевого та бобівника трилистого і підібрано способи їх внесення: бедринець – у вигляді попереднього замоченого протягом 15 хв. порошку, бобівник – у вигляді водного екстракту (температура води 64 °С, гідромодуль 1:11, тривалість екстрагування 67,6 хв). Параметри екстрагування одержано в результаті проведеного математичного моделювання та оптимізації процесу, прийнявши за критерій оптимальності оптичну густину (насиченість) екстракту згідно таких рівнянь регресії:

- у кодованій формі: $Y = 1,47 + 0,23X_1 - 0,13X_2 + 0,06X_3$;

- у натуральній формі: $ОГ = 1,05 + 0,015t_b - 0,24ГМ + 0,003\tau_e$

Доведено, що внесення 3...5 % порошку бедринцю (до маси борошна) та 30...50 % екстракту бобівника (замість води) зумовлює зниження кількості як сухої, так і сирої клейковини (на 3...7 % абс.), а також погіршення її гідратаційної здатності (на 5...22 % абс.), що може свідчити про часткове розщеплення клейковинних білків борошна комплексом ферментів, що містяться у цих рослинних добавках (табл. 9).

Таблиця 9 – Характеристика клейковинного комплексу зразків з внесеними рослинними добавками

Показник	Контроль (ІСБ:СПК= 17:10)	Внесено порошку бедринця, %			Внесено екстракту бобівника, %		
		3	4	5	30	40	50
Вміст сирої клейковини, %	50,5	47,3	46,5	45,8	46,8	44,3	43,3
Вміст сухої клейковини, %	19,5	18,3	17,3	16,5	17,8	16,8	16,3
Гідратаційна здатність, %	156,4	151	145	140	150	143	138

З використання програми «ImageJ» встановлено загальне зменшення площі пор зразків з порошком бедринця на 5...9 % (абс.), а з додаванням екстракту бобівника – 4...7 % абс.; величина сирої константи при додаванні порошку бедринця знижується на 4...6 одиниць порівняно з контролем, а за умови використання максимальних дозувань екстракту бобівника – на 29 одиниць. На основі проведеного комплексу досліджень обґрунтовано доцільність внесення у високобілкові хлібні вироби порошку бедринцю в кількості 4...5 % до маси борошна (подовживши тривалість замочування до 1 години) або 30 % водного екстракту бобівника замість частини води на замішування тіста.

Досягнення поставленої у роботі мети розроблення хлібних виробів з показниками харчової та біологічної цінності, близькими до еталонних з точки зору нутриціології, потребує використання лише ізолятів бобових, однак для традиційного хліба це неможливо, зважаючи на суттєве погіршення споживчих характеристик. Використання СПК, хоча й забезпечує кращі структурно-механічні властивості тіста та підвищення якості готових виробів, однак негативно впливає на їх біологічну

цінність, адже вміст лімітуючої амінокислоти лізину в СПК нижчий за цей показник навіть у пшеничному борошні. Тому розглянуто можливість використання підвищених дозувань ВРС у технології хлібних виробів, де б подібний негативний ефект від їх внесення не був так суттєвого відчутний. Показано, що найкраще поставленим вимогам відповідають хлібні палички і хлібні кульки, технологія виготовлення яких передбачає скорочений процес бродіння та внесення підвищених кількостей дріжджів і жиру (олії, масла чи маргарину). Наявність у рецептурах цих виробів смакоароматичних речовин (кмин, ванілін, цитрусова есенція) сприятиме маскуванню невластивого смаку та аромату, зумовленого внесенням ізолятів бобових, а знижена масова частка вологи (до 10 %) забезпечить вищу концентрацію білка у готовому продукті навіть за умови його внесення у кількостях, допустимих з огляду на необхідність збереження високих якісних характеристик кінцевої продукції.

Як білкові збагачувачі обрано ІГБ та ІСБ, що мають найвищу біологічну цінність і характеризуються доступною ціною. Доведено, що замішування тіста слід проводити з врахуванням встановлених коефіцієнтів додаткового водопоглинання. Показано, що внесення ІГБ в кількості 6...15 % позитивно впливає на газоутворювальну здатність тіста (вона зростає на 16...45 %), однак погіршує показники підіймальності сили (на 5...12 хв) та газоутримувальної здатності (на 10...27 % абс.). З використанням методів моделювання та оптимізації визначено оптимальні параметри процесу виготовлення хлібних паличок з ІГБ, прийнявши за критерій оптимальності питомий об'єм виробів: масова частка вологи тіста (розрахункова) – 37 %, кількість внесеного ІГБ – 5 % (замість частини борошна), кількість цукру за рецептурою – 7 %. Математичний опис процесу має вигляд:

- у кодованій формі: $Y = 194,8 + 39X_1 - 6,8X_2 + 18,3X_3$;

- у натуральній формі: $V_{\text{пит}} = -1276,9 + 39W_T - 3,4G_{\text{ІГБ}} + 18,3G_{\text{ц}}$

Встановлено (табл. 10), що розроблені вироби характеризуються вищим вмістом білка (майже на третину порівняно з контролем – хлібними паличками Ароматними) та кращою білково-вуглеводною збалансованістю (1:5 порівняно з 1:7 у контрольному зразку), при цьому кількість лімітуючої амінокислоти лізину зросла на 76 %, а показник його амінокислотного числа підвищився на 21,6 % (абс.), сягнувши 80,2 %.

ІСБ для покращення харчової та біологічної цінності хлібних виробів зниженої вологості (хлібних кульок) запропоновано вносити в кількості 10...20 %. Підтверджено схожість дії ІСБ та ІГБ на якість тіста та перебіг технологічного процесу: газоутворювальна здатність тіста покращується на 2...10 %, однак на 30...45 % (абс.) погіршується показник його питомого об'єму. Встановлено, що показники питомого об'єму хлібних кульок та коефіцієнта набухання з підвищенням кількості внесеного ІСБ погіршуються у 2...3 рази, що унеможливорює отримання високоякісних готових виробів за дозування ІСБ понад 15 %. На основі проведеного математичного моделювання та оптимізації (приймаючи за критерій оптимальності питомий об'єм виробів) встановлено оптимальні значення досліджуваних факторів: масова частка вологи тіста (розрахункова) – 44 %, рецептурна кількість дріжджів – 5,3 %, дозування ІСБ – 12 % замість частини борошна.

Математичний опис процесу виготовлення хлібних кульок з ІСБ має вигляд:

- у кодованій формі: $Y = 168 + 11,2X_1 + 10,6X_2 - 24,5X_3$;

- у натуральній формі: $V_{\text{пит}} = 46,1 + 3,2W_T + 10,6G_{\text{др.}} - 4,9G_{\text{ІСБ}}$

Розраховано, що виготовлені за розробленою рецептурою вироби з ІСБ мають необхідні споживчі показники, характеризуються підвищенням на 66,5 % вмістом білка і збалансованістю білково-вуглеводної складової (1:3,5). Майже трикратне зростання вмісту лізину зумовило підвищення показника його амінокислотного числа до рівня 98,3 % (тим самим наближаючи розроблений виріб за показником вмісту лізину до еталонного білка) і збільшення у 1,5 рази показника утилітарності незамінних амінокислот. Задоволення фізіологічних потреб організму в рослинному білку за рахунок споживання пропонованих хлібних паличок і хлібних кульок зростає удвічі (з 25 до 50 % абс.), що свідчить про високу ефективність та перспективність використання розроблених хлібних виробів зниженої вологості з ВРС як елементів харчування у туристичних походах та у складі сухих пайків раціонів військовослужбовців.

Таблиця 10 – Порівняння хімічного складу, біологічної та енергетичної цінності контрольного зразка та розроблених хлібних паличок і хлібних кульок

Поживна речовина та калорійність	Хлібні палички «Ароматні» (контроль)	Хлібні палички з ІГБ		Хлібні кульки з ІСБ	
		вміст у 100 г виробів, г	відхил від контролю, %	вміст у 100 г виробів, г	відхил від контролю, %
Білки	10,8	13,9	+ 28,9	18,0	+ 66,5
Жири	4,4	4,3	- 2,0	3,9	- 10,8
Вуглеводи	76,9	71,5	- 7,1	62,9	- 18,2
Незамінні амінокислоти, мг:					
валін	526	653	+ 24,3	877	+ 66,8
гістидин	227	293	+ 29,3	508	+ 123,7
ізолейцин	547	661	+ 20,8	885	+ 61,8
лейцин	826	1047	+ 26,8	1388	+ 68,0
лізин	305	536	+ 76,0	849	+ 178,4
метіонін + цистин	340	395	+ 16,3	468	+ 37,7
треонін	340	447	+ 31,6	682	+ 100,6
триптофан	124	145	+ 16,6	221	+ 78,1
фенілаланін + тирозин	462	739	+ 59,9	1096	+ 137,2
Енергетична цінність / калорійність, кДж/ккал	1635/390,3	1594/380,4	- 2,5	1504/358,9	- 8,1

Техніко-економічними розрахунками доведено, що на фоні зростання загальної вартості виробів у 1,7...1,8 рази ціна 1 г еталонного білка у виробах з ІГБ підвищилася лише на 3 % (або 4 копійки), а у хлібних кульках з ІСБ навіть знизилася майже на третину (на 29,7 %), що підтверджує не лише значний соціальний ефект (зумовлений підвищенням харчової та біологічної цінності й збалансування білково-вуглеводної складової), але й економічну доцільність виготовлення пропонованих високобілкових хлібних виробів зниженої вологості для споживачів, які мають підвищені білкові потреби. Наукова новизна запропонованих рішень підтверджена патентами України на винахід та корисні моделі.

У цьому розділі «Наукове обґрунтування і розроблення технології нетрадиційних високобілкових хлібних виробів (сухарних брикетів)» доведено перспективність використання у харчуванні людей з підвищеною потребою у макронутрієнтах інноваційного хлібного виробу – сухарного брикету, проаналізовано і запропоновано зміни у технології його виготовлення, охарактеризовано харчову та біологічну цінність розроблених виробів.

Оскільки попередніми етапами досліджень встановлено, що лімітуючим фактором внесення підвищених кількостей ВРС є технологія, здійснено пошук можливих варіантів виготовлення високобілкових хлібних виробів, які б давали можливість вносити ВРС в заданих кількостях без необхідності пошуку компромісу між якістю та харчовою і біологічною цінністю продукту. На основі сформульованих вимог до «ідеального» високобілкового продукту підбрано виріб, що відповідає усім критеріям – сухарний брикет, який одержують пресуванням висушеної хлібної крихти з додатковою сировиною. Відсутність стадії бродіння дає можливість підбирати співвідношення рецептурних компонентів, виходячи з цільового завдання дослідника. Відсутність стадії випікання забезпечить максимальне збереження внесених білкових речовин і не вплине на їх біологічну цінність та фізіологічну доступність. Виготовлення сухарних брикетів може бути організовано на існуючому обладнанні харчоконцентратного та фармацевтичного виробництва, тому не потребуватиме значних витрат на розроблення базових технологічних аспектів і впровадження. До того ж виготовлення цих брикетів може бути одним з варіантів переробки хлібного браку, що зумовлює значущість соціально-економічного ефекту впровадження цієї технології. Аналіз запропонованої В.В. Щербатенком технології виготовлення хлібних брикетів виявив ряд недоліків, тому нами проведено формалізацію технології сухарних брикетів з використанням основних положень системного аналізу на основі функціональної схеми виробництва, виділено центральну підсистему – процес формування (пресування) і складено параметричну схему цієї підсистеми з наведенням основних груп факторів (рис. 7).

До **вхідних керівних** факторів віднесли масу матеріалу, що використовується для виготовлення одного брикету G_m , швидкість пресування V_n , робочий тиск пресування P_n і тривалість витримування під тиском τ_n . До **збурювальних** факторів

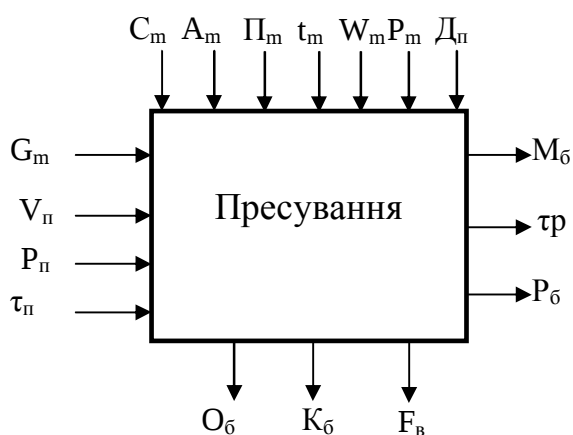


Рисунок 7 – Параметрична схема процесу формування сухарних брикетів

можна віднести фізико-хімічні показники суміші (сипкість C_m , адгезійність A_m , пресованість Π_m), температуру t_m , вологість W_m , розмір частинок та їх однорідність P_m , діаметр пуансона D_n . Тоді **вихідними керованими** параметрами будуть міцність брикету M_6 , тривалість його розмочування τ_r , щільність та геометричні розміри P_6 . **Параметри стану** – органолептичні показники брикету O_6 , коефіцієнт ущільнення K_6 та зусилля виштовхування F_v .

Теорія пресування стверджує, що для отримання готових виробів високої якості дуже важливо підбирати сировину зі схожими фізич-

ними характеристиками (розміром частинок, сипучістю, насипною щільністю). Оскільки основною сировиною для виробництва сухарних брикетів є хлібна крихта, було вивчено насамперед її показники. Використовували хлібну крихту п'яти виробників: ТМ «Золоте зерно», ТМ «Novus», ТОВ «Украгроконсалтинг ЛТД», ТМ «Черкасихліб», ПАТ «ХПП». Аналіз їх гранулометричного складу показав значне відхилення у співвідношенні фракцій з різним розміром частинок (коефіцієнт неоднорідності коливається від 0,34 до 0,8), а також розбіжність у показниках кута природного схилу ($35...41^\circ$) і коефіцієнта вібраційного ущільнення (0,16...0,26). Однак вказані відмінності знаходяться в технологічно допустимих межах і відповідають більшості видів сировини, що використовується для прямого пресування в харчоконцентратній та фармацевтичній галузях, що свідчить про можливість виготовлення сухарних брикетів з хлібної крихти на існуючому обладнанні цих підприємств без істотних змін у технології. Зважаючи на суттєву відмінність у гранулометричному складі панірувальних сухарів різних виробників, запропоновано модельні суміші для пресування сухарних брикетів з трьох фракцій, підібраних за законом нормального розподілу: основна фракція – 44 % загальної маси, по 28 % дрібнішої та крупнішої фракцій з кроком 500 мкм. У дослідженнях використовували 4 партії крихти, де крупність основної фракції відповідала проходу крізь сита: зразок 1 – сито № 0,5, зразок 2 – сито № 1,0, зразок 3 – сито № 1,5, зразок 4 – сито № 2,0.

Беручи до уваги мету роботи – розроблення сухарних брикетів підвищеної харчової та біологічної цінності для споживачів з підвищеною потребою у макронутрієнтах, а також особливості виготовлення сухарних брикетів, підібрано додаткову сировину: ІСБ та мальтодекстрин (додатковою перевагою якого саме для пресування є його традиційне використання у фармацевтичній промисловості як зв'язувальної речовини, що забезпечує краще спресовування рецептурних компонентів). Вивчення фізичних властивостей цієї сировини показало, що вони характеризуються значно нижчою крупністю, що відповідає прийнятій нижній межі для сухарної крихти (450 мкм). Показник кута природного схилу мальтодекстрину близький до середньої величини цього значення для крихти (37°), тоді як для ІСБ він становить 53° , що на 12° перевищує верхню межу, визначену для сухарної крихти. Це пов'язано як з розмірами, так і з формою частинок, що підтверджено проведенням мікрофотографування.

Оскільки, згідно законодавчих норм, продуктом з високим вмістом білка може називатися виріб, у якому за рахунок білка забезпечується щонайменше 20 % загальної калорійності продукту, а також зважаючи на потребу дотримуватися співвідношення білків та вуглеводів на фізіологічно оптимальному рівні 1:4, було проведено комп'ютерне моделювання рецептур високобілкових брикетів на основі обраних видів сировини і підібрано 6 варіантів рецептур на основі обраної сировини з результируючим вмістом білка 17,5...17,8 % (табл. 11).

Зміна кількості додаткової сировини коливається у досить широких межах (ІСБ – 10...15 кг, мальтодекстрин – 4...23 кг), тому потребує вибору необхідних параметрів процесу пресування, що характеризуватиметься мінімальними витратами енергії, водночас забезпечуючи необхідні характеристики кінцевого продукту. Для оцінювання якості сухарних брикетів використовували прийняті у фармацевтичній та харчоконцентратній галузях показники: міцність і тривалість розмочування.

Таблиця 11 – Варіанти рецептур сухарних брикетів за умови забезпечення білками не менше 20 % загальної калорійності суміші та дотримання співвідношення білки:вуглеводи $\approx 1:4$

Сировина	Варіант рецептури					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Сухарна крихта, г	100	100	100	100	100	100
ІСБ, г	10	11	12	13	14	15
Мальтодекстрин, г	4	7,8	11,6	15,4	19,2	23
Вміст макронутрієнтів у 100 г суміші, г:						
білки	17,5	17,6	17,6	17,7	17,7	17,8
жири	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
вуглеводи	67,3	67,6	67,9	68,1	68,4	68,6
Енергетична цінність / калорійність, кДж/ккал	1470/ 350,8	1474/ 351,8	1478/ 352,7	1482/ 353,6	1485/ 354,4	1488/ 355,1

Встановлено, що зростання розмірів частинок основної фракції призводить до підвищення у 1,3...2,4 рази міцності готових брикетів та подовження тривалості їх розмокання у 6,5...10 разів, що потребуватиме особливих умов їх виготовлення та споживання. Зокрема, сухарні брикети, виготовлені з найдрібнішої серед досліджуваних фракцій крихти (крупність основної фракції 500 мкм), мали недостатню міцність, що спричиняло часткове руйнування готових виробів ще на етапі виштовхування з прес-форми. Водночас брикети, для виготовлення яких використано найкрупнішу фракцію (2000 мкм), мають завищені значення досліджуваних показників, що ускладнить їх використання для «кишенькового» харчування – вони можуть бути рекомендовані насамперед для додавання у перші та другі обідні страви під час їх приготування як додаткове джерело рослинного білка. Аналіз зміни міцності та тривалості розмокання брикетів залежно від тиску пресування в діапазоні 64...256 МПа виявив, що міцність готових виробів підвищується у 3,7...6,4 рази, а тривалість їх розмокання – у 2,4...6 разів. Застосування тиску менше зазначеної нижньої межі не забезпечувало спресовування рецептурної суміші, а перевищення верхньої межі підвищувало тиск, необхідний для виштовхування одержаного брикету з матриці, призводячи до його часткового руйнування вже на цьому етапі технологічного процесу. Узагальнення одержаних результатів дало змогу зробити висновок, що для показника міцності у 2,7 рази вагомішою є величина тиску пресування, тоді як на швидкість розмокання виробів у 1,7 рази дужче впливає крупність основної фракції крихти. Ці дані слід враховувати, обираючи цільову групу споживачів певного виду брикетів та особливості вживання розробленої продукції (можливість тривалого чи високотемпературного розмочування тощо).

На основі математичного моделювання процесу пресування сухарних брикетів за планом ПФЕ 2³ (приймавши за критерій оптимальності міцність брикету) і наступного математико-статистичне опрацювання одержаних результатів отримано адекватну математичну модель цього процесу:

- у кодованій формі: $Y = 15,15 + 1,39X_1 + 1,29X_2 + 1,41X_3$;

- у натуральній формі: $M_6 = -4,38 + 0,70G_{\text{ІСБ}} + 10,75K_{\text{к}} + 0,12P_{\text{п}}$

Проведена оптимізація рецептури і технологічних параметрів виготовлення високобілкових сухарних брикетів дала змогу встановити такі дані: кількість ІСБ – 12 %, кількість мальтодекстрину – 11,6 % до маси крихти, крупність крихти –

0,68 мм, тиск пресування – 191 МПа. Розрахунок харчової цінності розроблених брикетів показав зростання (табл. 12) як загальної кількості білка у готових виробках (більш ніж удвічі), так і вмісту лімітуючої для виробів з пшеничного борошна амінокислоти лізину (у 3,5 рази). Доведено, що розроблені сухарні брикети мають на 35 % (абс.) вищу біологічну цінність за показником PDCAAS порівняно з розробленими нами високобілковими видами хліба, характеризуються необхідними органічними та фізико-хімічними показниками, які відповідають основним вимогам до «кишенькового» харчування туристів і військовослужбовців (невелика маса і об'єм, необхідна міцність, достатня тривалість зберігання, висока концентрація легкозасвоюваних вуглеводів та біологічно-повноцінного білка, зумовлена низькою масовою часткою вологи), що свідчить про досягнення поставленої у роботі мети створення хлібних виробів підвищеної харчової та біологічної цінності. Новизна запропонованого технічного рішення підтверджена патентом України на корисну модель.

Таблиця 12 – Харчова та біологічна цінність розроблених сухарних брикетів

Елемент хімічного складу	Сухарі вершкові	Сухарний брикет високобілковий	Відхилення, %
Білки, г/100 г	8,5	17,6	+107,2
Жири, г/100 г	10,83	1,2	-88,9
Вуглеводи, г/100 г	69,6	67,9	-2,4
Енергетична цінність / калорійність, кДж/ккал	1717/409,9	1478/352,8	-13,9
Амінокислоти, мг/100 г продукту:			
валін	393	852	+116,8
ізолейцин	359	860	+139,4
лейцин	668	1355	+102,9
лізин	226	792	+250,3
метионін + цистин	302	516	+70,8
треонін	269	650	+141,8
триптофан	85	214	+151,9
фенілаланін + тирозин	628	1414	+125,2

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу та узагальнення теоретичних даних, розрахункових і експериментальних досліджень та виробничих випробувань обґрунтовано наукові засади і запропоновано практичні рішення щодо комплексного збагачення хлібних виробів ВРС та розроблено технологію їх виготовлення, що дасть змогу збагатити раціон харчування різних груп споживачів виробами зі збалансованим хімічним складом і високим вмістом рослинного білка у біологічно безпечній та фізіологічно доступній формі.

1. Проаналізовано вимоги нутриціології щодо норм вживання білка споживачами різного віку, статі та рівня фізичної активності, вивчено білкові потреби організму споживачів спеціальних груп (спортсмени, туристи, військовослужбовці). На підставі аналізу хімічного складу та біологічної цінності, з врахуванням медико-клінічних рекомендацій обрано види ВРС (ІСБ, ІГБ, ІРБ), обґрунтовано теоретичну можливість і практичну цінність її використання для збалансування хімічного складу та підвищення біологічної цінності різних груп хлібних виробів.

2. Використовуючи сучасні методики розрахунку біологічної цінності харчових продуктів PDCAAS і DIAAS, проведено комплексне оцінювання якості білкової складової різних груп хлібних виробів та обраної ВРС, показано можливість досягнення компліментарності їх білків за лізином. Розроблено методику комплексного підходу до вибору ВРС за показниками ціни, якості та технологічних властивостей. На основі комп'ютерного моделювання рецептур та хімічного складу готових виробів доведено доцільність сумісного внесення обраних видів ВРС та СПК як технологічного поліпшувача.

3. З врахуванням результатів вивчення біологічних і технологічних властивостей ВРС доведено необхідність сумісного внесення білкових ізолятів та СПК у співвідношеннях ІСБ:СПК = 10:17, ІГБ:СПК = 10:11, ІРБ:СПК = 9:12 % замість борошна для забезпечення необхідних споживчих властивостей, високої харчової та біологічної цінності готових виробів. На підставі фаринографічних досліджень запропоновано розрахунковий та номографічний методи визначення додаткової рецептурної кількості води, встановлено величини відповідних коефіцієнтів водопоглинання: ІРБ – 0,9; СПК – 1,2; ІГБ – 1,5; ІСБ – 2,2 г/г.

4. На основі комплексного оцінювання впливу ВРС на кількість і якість клейковини здійснено його математичний опис і проведено аналіз одержаних залежностей. Одержано наукове підтвердження утворення комплексів білків пшеничного борошна та ВРС згідно теорії Покровського-Патта щодо визначального впливу морфологічних особливостей рослинної сировини, з якої одержано білковий препарат, на його взаємодію з білком пшениці і можливість залучення глютелинової фракції білкових речовин ВРС до загального процесу клейковиноутворення на основі білків пшениці; запропоновано практичні рішення для поліпшення технологічних характеристик тіста і якості готових виробів.

5. Встановлено оптимальні параметри приготування хлібобулочних виробів з ВРС безопарним способом і розроблено відповідну апаратурно-технологічну схему; підтверджено незначне погіршення органолептичних і фізико-хімічних показників готових виробів, однак вказано на зростання виходу виробів (8...23 %). Доведено ефективність опарного способу тістоприготування з внесенням ВРС на етапі замішування тіста, що забезпечить зростання на 2...12 % питомого об'єму хліба, підвищення на 14...23 % показника правильності форми (Н/В), а також збільшення на 5...6 % (абс.) площі пор м'якушки і зниження показника сірої константи на 2...6 одиниць. На підставі результатів тегмографіметричного аналізу щодо перерозподілу форм вологи у готових виробах підтверджено позитивний вплив ВРС на збереження хлібобулочними виробами свіжості. Розроблено сухі суміші на основі ВРС, що містять у 2,4...3 рази більше білка і на 12...21 % більше лізину, а за показниками DIAAS і PDCAAS перевищують борошно пшеничне вищого сорту на 14...32 % (абс.), запропоновано номограмний метод на основі семиосьових номограм з трикутною системою координат для швидкого встановлення вмісту білка у сумішах з різним співвідношенням ВРС.

6. Комплексне оцінювання білкової складової хліба з пропонованими сумішами ВРС показало зростання загальної кількості білка в готових виробах у 2...2,5 рази і збільшення вмісту лізину на 21...60 %, що зумовило підвищення кількості засвоєного (еталонного) білка в усіх розроблених зразках хліба на 0,4...4,0 г і зрос-

тання біологічної цінності пропонованих виробів на 8...14 %, а також покращення засвоєння білкової складової досліджуваних виробів *in vitro* на 21...37 %. З врахуванням вітчизняних та міжнародних вимог до маркування високобілкових виробів доведено, що всі розроблені види хліба можуть називатися виробами з високим вмістом білка, а їх споживання в кількості 170 г здатне задовольнити потреби організму споживачів п'ятої групи фізичної активності в рослинних білках на 47...61 %. Техніко-економічними розрахунками встановлено незначне (11...37 %) зростання вартості пропонованих високобілкових виробів в перерахунку на 1 г засвоєного (еталонного) білка.

7. Запропоновано використання у технології високобілкових хлібобулочних виробів природних стимуляторів травлення – препаратів з рослин бедринця ломикаменевого та бобівника трилистого, підібрано способи і кількості їх внесення (4 % порошку бедринцю та 30 % екстракту бобівника), оптимізовано процес екстрагування (температура води 64 °C, гідромодуль 1:11 і тривалість екстрагування 67,6 хв). Встановлено негативний вплив добавок на клейковинний комплекс тіста (зниження кількості клейковини на 3...7 %, погіршення її гідратаційної здатності на 5...22 %) і якість готових виробів (зменшення площі пор та сірої константи м'якушки на 5...10 %), однак підвищенні ступеню перетравлювання білкових речовин *in vitro* на 24...38 %.

8. На основі вивчення хімічного складу та біологічної цінності хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок і хлібних кульок) показано перспективність збагачення їхніх рецептур ВРС. На прикладі ІГБ, що вносився в кількості 6...15 %, встановлено підвищення газоутворювальної здатності тіста на 16...45 % і зниження показників підйимальної сили (на 5...12 хв) та газоутримувальної здатності (на 10...27 %). З використанням методів моделювання та оптимізації процесу виготовлення високобілкових хлібних паличок встановлено такі оптимальні значення: масова частка вологи тіста (розрахункова) – 37 %, кількість внесеного ІГБ – 5 % замість частини борошна, кількість цукру – 7 %; підтверджено зростання у розробленому виробі вмісту білка (майже на третину) і підвищення кількості лімітуючої амінокислоти лізину на 76 %, що дало змогу досягти показника його амінокислотного числа 80 % і одержати кращу білково-вуглеводну збалансованість хімічного складу готових виробів (1:5). Оптимізовано параметри виготовлення хлібних кульок з ІСБ (масова частка вологи тіста – 44 %, рецептурна кількість дріжджів – 5,3 %, дозування ІСБ – 12 % замість частини борошна), які забезпечують отримання виробів з високими споживчими властивостями, збалансованою білково-вуглеводною складовою (1:3,5) і підвищеним на 66,5 % вмістом білка, а також близьким до еталонного білка показником амінокислотного числа лізину (98,3 %) і збільшеним у 1,5 рази показником утилітарності незамінних амінокислот. Розроблені вироби здатні на 50 % задовольнити потреби у рослинних білках спеціальних груп споживачів (спортсмени, туристи, військовослужбовці), а їх ціна в перерахунку на 1 г еталонного білка близька до традиційної продукції.

9. З урахуванням сформульованих вимог до «ідеального» високобілкового продукту розроблено нетрадиційний хлібний виріб – сухарний брикет; проведено системний аналіз технології його виготовлення з виділенням центральної підсистеми – процесом формування (пресування) і складанням її параметричної схеми. Ви-

вчення фізичних характеристик та хімічного складу основної сировини (хлібної крихти) дало змогу обґрунтовано підібрати додаткову сировину (ІСБ та мальтодекстрин) і на основі комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень встановити їх оптимальне співвідношення (100:12:11,6), а також довести можливість виготовлення пропонованих сухарних брикетів на існуючому обладнанні харчоконцентратного чи фармацевтичного виробництва без істотних змін у технології. Виявлено, що для показника міцності готових брикетів у 2,7 рази вагомішою є величина тиску пресування, тоді як на швидкість розмокання виробів у 1,7 рази дужче впливає крупність основної фракції крихти, що слід враховувати, виготовляючи вироби для окремих цільових груп споживачів. З використанням сучасних розрахункових методик доведено зростання у готових виробах як загальної кількості білка (більш ніж удвічі), так і вмісту лізину (у 3,5 рази), а також підвищення біологічної цінності за показником PDCAAS на 35 % (абс.) порівняно з розробленими нами високобілковими видами хліба, що свідчить про досягнення поставленої у дисертаційній роботі мети створення хлібних виробів підвищеної харчової та біологічної цінності.

10. За підсумками експериментальних і виробничих випробувань розроблено і затверджено на галузевому рівні рецептури й технологічні інструкції на високобілкові види хліба (хліб «Високобілковий» з внесенням ІСБ та СПК, хліб «Білковий з гороховим ізолятом», що містить у рецептурі ІГБ та СПК і хліб «Білковий з ізолятом рису», до рецептури якого входять ІРБ та СПК), а також на сухі високобілкові суміші, новизну технічних рішень підтверджено 12 патентами України. Проведено комплекс заходів щодо промислової апробації та впровадження розроблених видів виробів на підприємствах галузі. Узагальнення одержаних результатів підтверджує не лише соціальну значимість (зумовлену підвищенням харчової та біологічної цінності й збалансування білково-вуглеводної складової), але й економічну доцільність виготовлення розробленої високобілкової хлібної продукції.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Розділ у колективній монографії

1. Махинько В.М., Шаран А.В. Високобілкові рослинні добавки для хлібопечення. *Повноцінне харчування : інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу* : кол. моногр. 2015. Х.: ХДУХТ. С. 191–208.

Статті в іноземних виданнях

2. Грищенко Т.В., Черныш Л.Н., Махинько В.Н. Перспективность и особенности использования изолята горохового белка в хлебопечении. *Мир науки и инноваций*. Иваново: Научный мир, 2015. Вып. 2, Т. 4. С. 46–49 (Російська Федерація).

3. Махинько В.Н. Соколовская И.А., Шаран А.В. DIAAS – усовершенствованная методика расчета биологической ценности пищевых продуктов и рационов. *Вестник Алматинского технологического университета*. 2017. Выпуск 2 (115). С. 48–53 (Республіка Казахстан).

4. Makhynko Valeriy, Drobot Vira, Golikova Tatjana. Effect of adding of plant protein isolates to the structural – mechanical properties of the wheat dough / Valeriy

Makhynko. *Food and Environment Safety*. Volume XVI, Issue 2. Ștefan cel Mare University of Suceava, Romania, 2017. PP. 117–122.

5. Махынко В.Н., Шаран Л.А., Самбурский Ф.Г. Особенности выбора и использования в хлебопечении высокобелкового растительного сырья. *Пекарь&Кондитер*. 2017. № 5 (11). С. 43–45 (Республіка Білорусь).

6. Makhynko V.M., Sharan A.V., Sharan L.O. System approach in crumb briquette technology. *International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies"*. 2017. Issue № 2, Vol.1. P. 107–111 (Karlsruhe, Germany).

7. Махынко В.Н., Соколовская И.А., Сажина А.В. Продукты с повышенным содержанием питательных веществ: критерии классификации. *Пекарь&Кондитер*. 2018. № 2(14). С. 38–40 (Республіка Білорусь).

Статті у фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз

8. Махынко В.М., Дробот В.І., Соколовська І.О., Черниш Л.М. Формула еталонного білка: етапи розроблення і сучасні норми. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23. № 2. С. 208–216 (Збірник індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

9. Махынко В.Н., Соколовская И.А., Землинская М.Д. Инновации в оценке белковой составляющей пищевых продуктов. *Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание*. 2017. Выпуск 5. Том. 2. С. 58–62 (Научно-производственный журнал індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

10. Махынко В.М. Номограф для визначення добової потреби людини в енергії та білку. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23, № 5. С. 207–211 (Збірник індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

11. Махынко В.М., Самбурський Ф.Г., Землинська М.Д. Оценка физических свойств крошки для производства сухарных брикетов. *Научный взгляд в будущее*. 2017. Выпуск 7, Том 1. С. 68–72 (Научно-производственный журнал індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

12. Махынко В.М., Дробот В.І., Землинська М.Д. Сухарні брикети для споживачів з підвищеними білковими потребами. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24. № 3. С. 160–169 (Збірник індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

13. Махынко В.М., Шаран А.В., Шаран Л.О., Черниш Л.В. Вплив ізолятів рослинних білків на клейковинний комплекс пшеничного тіста. *Харчова промисловість*. 2018. № 23. С. 21–26 (Збірник індексується у наукометричній базі Index Copernicus).

Статті у фахових виданнях України

14. Махынко В.М., Черниш Л.М. Високобілкові добавки в хлібопеченні. *Хранение и переработка зерна*. 2014. № 6/183. С. 57–60.

15. Махынко В.М., Черниш Л.М., Власюк В.М., Землинська М.Д. Використання рисового білкового ізоляту для збагачення хлібобулочних виробів. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка*. Харків. 2015. Вип. 166. Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. С. 63–68.

16. Махынко В.М., Бережна О.П., Грищенко Т.В. Загальну біологічну цінність білка нівелює низький вміст незамінних амінокислот. *Зерно і хліб*. 2015. № 2. С. 32–33.

17. Черниш Л.М., Махинько В.М. Вплив соєво-клейковинного збагачувача на якість тіста і хліба. *Хранение и переработка зерна*. 2016. № 11 (207). С. 60–63.

18. Дробот В.І., Махинько В.М., Скотар О.С. Використання ізоляту соєвого білка для підвищення харчової цінності хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок). *Харчова промисловість*. 2016. № 20. С. 28–33.

19. Махинько В.М., Соколовська І.О., Черниш Л.М. Розрахунок біологічної цінності харчових продуктів та раціонів за методикою PDCAAS. *Зернові продукти і комбікорми*. 2017. № 65. С. 22–26.

20. Махинько В. М., Черниш Л. М., Прищепчук М. О. Високобілковий хліб для військовослужбовців. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2017. Вип. № 57. С. 209–215.

21. Махинько В. М., Сажина А. В., Рибалко С. О. Хлібні вироби з підвищеним вмістом білка. *Хранение и переработка зерна*. 2018. № 2 (222). С. 53–57.

22. Махинько В. М., Писарець О. П., Лістратенко А. О. Високобілковий хліб для споживачів з підвищеними білковими потребами. *Продовольчі ресурси: збірник наукових праць*. 2018. № 10. С. 200–205.

Патенти

23. Дробот В.І., Махинько В.М., Скотар О.С., Землинська М. Д. Хлібний виріб. Патент 116498 UA МПК A21D 13/064 (2017.01), A21D 2/26 (2006.01). № a201610567; заявл. 19.10.2016; опубл. 26.03.2018; Бюл. № 6, 2018 р. (Патент на винахід).

24. Махинько В.М. Черниш Л.М., Власюк В.М., Землинська М. Д. Високобілковий хлібобулочний виріб. Патент 106058 UA МПК A21D 13/06 (2006.01), A21D 2/26 (2006.01). № u201511030; заявл. 11.11.2015; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7, 2016 р. (Патент на корисну модель).

25. Дробот В.І., Махинько В.М., Скотар О.С., Землинська М. Д. Високобілковий хлібний виріб. Патент 115243 UA МПК A21D 2/26 (2006.01), A21D 13/00. № u201610568; заявл. 19.10.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7, 2017 р. (Патент на корисну модель).

26. Махинько В.М., Черниш Л.М., Грищенко Т.В. Хліб з підвищеним вмістом рослинного білка. Патент 116563 UA МПК A21D 13/06 (2017.01). № u201612609; заявл. 12.12.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10, 2017 р. (Патент на корисну модель).

27. Махинько В.М., Черниш Л.М., Самбурський Ф.Г. Хліб білково-соєвий. Патент 119388 UA МПК A21D 13/06 (2017.01). № u201703047; заявл. 31.03.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18, 2017 р. (Патент на корисну модель).

28. Махинько В.М., Черниш Л.М., Бережна О.П. Високобілковий хліб підвищеної засвоюваності. Патент 124833 UA МПК A21D 13/06 (2017.01). № u201710760; заявл. 06.11.2017; опубл. 25.04.2018; Бюл. № 8, 2018. (Патент на корисну модель).

29. Махинько В.М., Черниш Л.М., Бережна О.П. Хліб з підвищеною засвоюваністю білка. Патент 124832 UA МПК A21D 13/06 (2017.01). № u201710757; заявл. 06.11.2017; опубл. 25.04.2018; Бюл. № 8, 2018. (Патент на корисну модель).

30. Дробот В.І., Махинько В.М., Землинська М.Д. Високобілковий сухарний брикет. Патент 127329 UA МПК A21D 2/26 (2006.01), A21D 13/06 (2017.01).

№ u201802082 ; заявл. 28.02.2018 ; опубл. 25.07.2018; Бюл. № 14, 2018. (Патент на корисну модель).

31. Дробот В.І., Махинько В.М., Прищепчук М.О. Суха борошняна суміш підвищеної харчової цінності. Патент 127391 UA МПК A23L 33/185 (2016.01). № u201802657 ; заявл. 16.03.2018 ; опубл. 25.07.2018; Бюл. № 14, 2018. (Патент на корисну модель).

32. Дробот В.І., Махинько В.М., Лістратенко А.О. Композиція інгредієнтів для приготування високобілкового хліба. Патент 127392 UA МПК A23L 33/185 (2016.01). № u201802661 ; заявл. 16.03.2018 ; опубл. 25.07.2018; Бюл. № 14, 2018. (Патент на корисну модель).

33. Дробот В.І., Махинько В.М., Прищепчук М.О. Суха борошняна суміш для приготування високобілкового хліба. Патент 127917 UA МПК A21D 2/26 (2006.01). № u201802663 ; заявл. 16.03.2018 ; опубл. 27.08.2018; Бюл. № 16, 2018. (Патент на корисну модель).

34. Дробот В.І., Махинько В.М., Сажина А.В. Високобілковий хлібний виріб зниженої вологості. Патент 128201 UA МПК A21D 2/26 (2006.01), A21D 13/06 (2017.01). № u201802518; заявл. 13.03.2018; опубл. 10.09.2018; Бюл. № 17, 2018. (Патент на корисну модель).

Матеріали і тези конференцій

35. Черниш Людмила, Махинько Валерій. Порівняльний аналіз високобілкових рослинних добавок для хлібопечення. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 80-ї міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів* (Київ, 10-11 квітня 2014 р.). К.: НУХТ, 2014. Ч.1. С. 170.

36. Махинько В.М., Черниш Л.М. Високобілкові рослинні добавки – сучасний підхід у виробництві функціональних хлібних виробів. *Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості: матеріали Міжнародної наукової конференції, присвяченої 130-річчю Національного університету харчових технологій* (Київ, 13-16 жовтня 2014 року). К.: НУХТ, 2014. С. 67.

37. Товстоног Ю.В., Махинько В.Н., Черныш Л.Н. Перспективность использования растительных белковых изолятов в хлебопечении. *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы IV Международной научно-технической конференции* (Воронеж, 5–6 ноября 2014 года). Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 2014. Собр. 2. С. 319–321.

38. Махинько В.Н., Черныш Л.Н., Товстоног Ю.В. Сравнительная характеристика возможных источников растительного пищевого белка. *Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции* (Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 14–15 мая 2015 г.). Гродно, 2015. С. 228–229.

39. Черниш Л., Махинько В. Вплив високобілкових рослинних добавок на біотехнологічні властивості хлібопекарських дріжджів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 81-ї наукової*

конференції молодих вчених, аспірантів і студентів (Київ, 23–24 квітня 2015 р.). К.: НУХТ, 2015. Ч. 1. С.114.

40. Makhynko Valery, Chernysh Ludmyla, Berezna Oksana. Influence of vegetable protein isolates on structural and mechanical properties of wheat dough. *Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well – being (CEFood 2016): Book of Abstracts (23–26 May 2016)*. K.: NUFT, 2016. P.167.

41. Черниш Л.М., Махинько В.М. Вплив високобілкової рослинної сировини на якість хлібобулочних виробів з пшеничного борошна. *Інноваційні напрямки розвитку освіти, сфери послуг і технологій*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих учених, ВоК НУХТ (м. Луцьк, 24–25 березня). Луцьк, 2016. С. 98–101.

42. Бережна О.П., Махинько В.М. Вибір рослинних добавок для високобілкових хлібобулочних виробів. *Технологічні аспекти підвищення конкурентоспроможності хліба і хлібобулочних виробів*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. К. : НУХТ, 2016. С. 38–39.

43. Черниш Людмила, Бережна Оксана, Махинько Валерій. Вплив ізоляту соєвого білка на якість пшеничного тіста. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 82-ї міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 13–14 квітня 2016 р.). К.: НУХТ, 2016. Ч.1. С.126

44. Махинько Валерій, Соколовська Ірина, Самбурський Федір. Критерії класифікації білковмісних продуктів. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 25–26 травня 2017 р.). К.: НУХТ, 2017 р. С. 110–111.

45. Махинько В.М., Прищепчук М.О. Удосконалені методики розрахунку біологічної цінності харчових продуктів і раціонів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 83-ї міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 5–6 квітня 2017 р.). К. : НУХТ, 2017 р. Ч. 1. С. 121.

46. Махинько В.Н., Соколовская И.А., Прищепчук М.А. Современная методика расчета биологической ценности пищевых продуктов и рационов. *Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции*: сборник статей III Международной научно-практической конференции (Минск, 23–24 марта 2017 г). Минск : БГАТУ, 2017. С. 70–72.

47. Махинько В.Н., Прищепчук М.А. Изменение представлений об аминокислотной формуле идеального белка. *Современные технологии сельскохозяйственного производства*: сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции. Гродно: ГГАУ, 2017. С. 102–104.

48. Землинська, М.Д., Самбурський Ф.Г., Махинько В.М. Показники хлібної крихти як сировини для сухарних брикетів. *Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 13 вересня 2017 р.). К. : НУХТ, 2017. С. 49–50.

49. Землинська М., Рибалко С., Махинько В. Вивчення та оптимізація процесу пресування сухарних брикетів. *Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 84-ї міжнародної наукової конферен-

ції молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 23–24 квітня 2018 р.). К.: НУХТ, 2018. Ч. 1. С. 156.

Особистий внесок здобувача: проведення літературного пошуку, теоретичне обґрунтування та вибір методик дослідження, керівництво та участь в експериментальних дослідженнях, аналіз, систематизація та узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації чи патентування.

АНОТАЦІЯ

Махенько В.М. Наукове обґрунтування та розроблення технології високобілкових хлібних виробів для споживачів з підвищеною потребою у макроелементах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.01 – Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів. – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню наукових засад і розробленню практичних рішень щодо комплексного збагачення хлібних виробів високобілковою рослинною сировиною (ВРС) – ізолятами рослинних білків, що дасть змогу збагатити раціон харчування різних груп споживачів виробами зі збалансованим хімічним складом і високим вмістом рослинного білка у біологічно безпечній та фізіологічно доступній формі. З цією метою запропоновано концепцію комплексного вирішення завдання розроблення різних груп хлібних виробів для споживачів з підвищеними білковими потребами за рахунок використання нових видів ВРС, що мають збалансований хімічний склад та високу біологічну цінність, здатні доповнювати амінокислотну формулу виробів з пшеничного борошна за основною незамінною амінокислотою лізином. Для оцінювання ефективності досягнення поставленої мети запропоновано використання сучасних методик оцінювання білкової складової харчових продуктів і раціонів PDCAAS та DIAAS.

У ході роботи вивчено, узагальнено та систематизовано дані щодо хімічного складу і технологічних властивостей ВРС різного морфологічного походження, з використанням принципів кваліметрії запропоновано методику комплексного оцінювання ВРС за показниками якості, технологічних властивостей і ціни.

На основі комплексного вивчення закономірностей перебігу основних технологічних процесів встановлено і описано закономірності зростання водопоглинальної здатності тіста з ВРС, одержано нові дані щодо взаємодії клейковинних білків пшеничного борошна з білками ВРС.

З врахуванням теорії Покровського-Патта щодо особливостей впливу різних видів рослинних білків залежно від їх морфологічного походження на білки пшеничного борошна вивчено напрями і способи удосконалення технології хлібобулочних виробів з внесенням підвищених дозувань ВРС, запропоновано технологічні заходи щодо підвищення якості готових виробів, покращення засвоюваності їх білкової складової та сповільнення динаміки черствіння.

Сформульовано теоретичні й практичні передумови використання ВРС у технології як традиційних хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок і хлібних кульок), так і нетрадиційного хлібного виробу – сухарного брикету. Здійс-

нено системний аналіз технології виготовлення сухарних брикетів з виділенням підсистем, поглиблено знання щодо впливу основних характеристик сухарної крихти та тиску пресування на фізико-хімічні показники високобілкових сухарних брикетів.

Теоретично доведено і експериментально підтверджено ефективність використання ВРС для покращення збалансованості білково-вуглеводної та амінокислотної складової різних груп хлібних виробів.

За результатами проведених аналітичних та експериментальних досліджень встановлено оптимальні дозування ВРС та їх сумішей у технології різних груп хлібних виробів, розроблено сухі борошняні суміші з ВРС, що дасть змогу розширити асортимент високобілкових хлібних виробів, які можуть бути використані в умовах спортивних змагань, туристичних походів чи місць проведення військових дій.

Для практичного використання пропонованих рішень розроблено номограми, які дають змогу швидко визначати додаткову рецептурну кількість води для замішування тіста з різним вмістом та співвідношенням ВРС, а також графічно встановлювати кількість білка у високобілкових сухих борошняних сумішах на основі ВРС.

На нові види високобілкових хлібних виробів розроблено і затверджено нормативну документацію, наукову новизну одержаних рішень захищено дванадцятьма патентами, а практичну цінність підтверджено результатами виробничих випробувань та впровадженням розробленої продукції на підприємствах галузі.

Ключові слова: хліб, біологічна цінність, технологія, білок, амінокислоти, ізолят, соя, горох, рис, клейковина, сухарний брикет, хлібні палички.

ANNOTATION

Makhynko V.M. Scientific justification and development of technology of high-protein bread products for consumers with increased macronutrient requirements. – Qualifying scientific paper as manuscript.

The dissertation for obtaining the academic degree of the Doctor of Technical Sciences of specialty 05.18.01 – Technology of Bakery Products, Confectionery and Food Concentrates. – National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The work focuses on justification of scientific basics and development of practical solutions as to composite enrichment of bread products with high-protein vegetable raw materials (VRMs) – isolates of vegetable proteins which will allow to enrich diets of various groups of consumers with products with balanced chemical composition and high content of vegetable protein in a biologically safe and physiologically accessible form. For this purpose, the work proposes a concept of composite solution for development of various groups of bread products for consumers with increased protein requirements by using new types of VRMs which have balanced chemical composition and high biological value, and can supplement amino acid formula of wheat flour products with the main essential amino acid lysine. The PDCAAS and the DIAAS – modern methods of evaluating protein component of food products and diets – are proposed for evaluation of the purpose achievement efficiency.

The work studies, summarizes and systematizes data on chemical composition and technological properties of VRMs of various morphological origin, and proposes a method of comprehensive evaluation of the VRMs by quality indicators, technological properties and prices using the principles of qualimetry.

On the basis of comprehensive study of patterns of the main processes, it determines and describes patterns of growth of water-absorbing capacity of dough with VRMs, and obtains new data on interaction between gluten proteins of wheat flour and proteins of VRMs.

Considering the Pokrovsky – Patt theory regarding features of influence of various types of vegetable proteins (depending on their morphological origin) on wheat flour proteins, the work studies areas and methods to improve the bakery products technology by entering increased dosages of VRMs, and proposes technological measures to enhance quality of finished products, to improve digestibility of their protein component and to slow down staling pattern.

The work formulated theoretical and practical prerequisites for the use of the VRMs in technologies of both traditional bread products with decreased moisture content (bread sticks and bread balls) and the non-traditional bread product – crumb briquette. It includes system analysis of the crumb briquette manufacture technology, including separation of subsystems, provides better knowledge of how the main characteristics of crumbs and the squeezing pressure influence physical and chemical indicators of high-protein crump briquettes.

The work gives theoretical evidence and experimental confirmation of efficiency of using the VRMs for improvement of balance of protein-carbohydrate and amino acid components of various groups of bread products.

Based on results of analytical and experimental studies, it determined optimal dosages of the VRMs and their mixtures in technologies of various groups of bread products, developed dry flour mixtures with VRMs which would allow to expand the range of high-protein bread products that can be used in conditions of sports competitions, hiking or warfare places.

Nomograms were developed and can be used in the solutions proposed and to quickly determine additional recipe amount of water necessary to prepare dough with various contents and ratios of the VRMs, and to graphically determine amount of protein in high-protein dry flour mixtures based on the VRMs.

Regulatory documentation for new types of high-protein bread products was drawn up and approved, scientific novelty of the solutions obtained was protected by twelve patents, and practical value was confirmed by results of production tests and introduction of the products developed in industry enterprises.

Keywords: bread, biological value, technology, protein, amino acids, isolate, soy, peas, rice, gluten, crumb briquette, bread sticks.

