

струмінь падає на пружне дно банки, при цьому буде справедливим розглянутий вище процес.

**Висновки.** У статті побудовано математичну модель процесу розливання харчової рідини в скляну тару та проаналізовано її гідродинамічну поведінку за допомогою числового моделювання на основі програмного комплексу ANSYS.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Числове моделювання процесу заповнення тари харчовою рідиною дозволить обґрунтувати вплив конструктивних, технологічних факторів і фізико-хімічних властивостей харчових рідин на критерії оптимізації – продуктивність і точність дозування. Це дозволить розраховувати реальні елементи фасувального обладнання.

### Список літератури

1. Ярмолинский Д.А. Элементы конструкций автоматов линий розлива вин (расчет и конструирование) / Д.А. Ярмолинский, Ц.Р. Зайчик. – М.: Машиностроение, 1974.
2. Степанов И.А. Автоматические линии розлива пищевых жидкостей / И.А. Степанов, П.Н. Галасов. – М.: Пищ. пром-сть, 1971.
3. Харитонов Н.Ф. Автоматы и поточные линии вин / Н.Ф. Харитонов, Д.А. Ярмолинский. – М.: Машиностроение, 1967.
4. Madenci E. The finite element method and applications in engineering using ANSYS / E. Madenci, I. Guven. – Springer Science+Business Media, 2006. – 686 p.
5. Лавріненко Н.М. Кінцево-елементне моделювання в інженерних розрахунках / Н.М. Лавріненко [та ін.]. – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 668 с.

УДК 330.43:664.87

Маковецька С.В., Сєдих О.Л., Запотоцька О.В.,  
Ковбаса В.М., д-р техн. наук, проф. (НУХТ, Київ)

### ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ РЕЦЕПТУРИ КОРПУСУ ДЛЯ КОЕКСТРУЗІЙНИХ ПРОДУКТІВ ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З ДОДАВАННЯМ КВАСОЛІ АБО ЧЕЧЕВИЦІ

*У статті досліджено оптимальне використання рецептурних композицій корпусу для коекструзійних продуктів з підвищеним вмістом білка з використанням квасолі або чечевиці. За допомогою MS Excel розроблено рецептурні композиції з урахуванням технологічних особливостей процесу виробництва та вимог нутриціології до продуктів харчування.*

**Ключові слова:** математичне моделювання, коекструзійні продукти, квасоля, чечевиця, вбудований засіб Excel «Поиск решения».

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Харчування людини є найбільш суттєвим фактором, який безпосередньо впливає на її здоров'я. Сьогодні в усьому світі, зокре-

ма в Україні, зростає попит на продукти «швидкої їжі», а саме, на сухі сніданки екструзійної технології (палички, кільця, кульки, пластинки, пластівці, подушечки з начинками).

Сировиною для виробництва цих продуктів є зернові культури, у більшості випадків кукурудза, пшениця, рис, овес, що можуть використовуватись для виготовлення екструдатів окремо або в сумішах, а також різноманітні смакові й ароматичні добавки. Такі продукти перевантажені крохмалем і характеризуються невеликим вмістом білка, незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин. Систематичне споживання продуктів, які містять недостатню кількість незамінних амінокислот, вітамінів і мінеральних речовин, може зумовити незворотні зміни в організмі людини.

**Метою** досліджень є розробка корпусу для коекструзійних виробів з підвищеним вмістом білка шляхом комп'ютерного моделювання рецептурних композицій з урахуванням вимог нутриціології та особливостей технології екструдування й органолептичних показників готових екструдатів.

Застосування, поряд з традиційною для виробництва продуктів коекструзії (продукти екструзійної технології з начинкою) такої нетрадиційної сировини, як квасоля або чечевиця дозволять розширити асортимент коекструзійних продуктів та покращити їхню харчову і біологічну цінність. Білки зернобобових культур біологічно повноцінні – багаті на амінокислоти, характеризуються високою перетравлюваністю. Рослинні білки можуть використовуватись для підвищення вмісту білка і заміни частини дорогої основної сировини та зниження енергетичної цінності продуктів.

Установлено, що вміст білків у квасолі становить від 24 до 32%, крохмалю – 40-56%, жирів – 1,5-2,8%. Білковий комплекс представлений в основному глобулінами (80-90%), альбумінами (5-15%) і глютенінами (5-10%). Засвоюваність білків квасолі може становити до 87% [1; 3].

Життєво важливі складові квасолі мають також оздоровчо-профілактичні властивості і виконують важливу фізіологічну роль в харчуванні людини. Так, білки квасолі за їхнього регулярного вживання сприяють зниженню рівня ліпідів у сироватці крові, загального та «шкідливого» холестерину (ліпопротеїнів низької густини), підвищенню рівня «корисного» холестерину (ліпопротеїнів високої густини). Тому білки квасолі розглядаються як засіб профілактики і лікування таких захворювань, як атеросклероз, цукровий діабет, ішемічна хвороба серця, гіпертонічна хвороба, ожиріння [5].

Суттєвим джерелом білків рослинного походження є чечевиця. Публікації вітчизняних та закордонних вчених свідчать про перспективність використання в їжу цього унікального джерела повноцінних білків, мінеральних речовин та вітамінів. До складу білків чечевиці входить весь комплекс незамінних амінокислот, що становить більше 36% від загальної суми амінокислот. Також чечевиця багата на вітаміни групи В, РР та бета-каротин, у ній практично повністю відсутні антипоживні та шкідливі фактори, такі як олігоцукри, інгібітори трипсину [4].

Отримані дані стали підставою щодо використання квасолі та чечевиці у виробництві сухих сніданків.

Були визначені можливі межі дозування квасолі від 10 до 30% та чечевиці до 25%.

Розв'язання задачі для побудови математичної моделі пов'язано з підбором компонентів сировини, які задовольняють потреби людини за вмістом основних поживних та біологічно активних речовин.

Для постановки задачі оптимального складу нового продукту необхідно було мати таку інформацію:

- перелік усіх видів сировини і матеріалів, які можуть увійти до складу продукту;
- кількісні характеристики кожного виду сировини, що входять до продукту;
- допустимі межі або співвідношення кожного виду сировини [6].

Вимоги до органолептичних показників, на основі яких створювалась математична модель, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад та енергетична цінність компонентів продукту

Назва	Вміст, %						Енергетична цінність, ккал
	Волога	Вуглеводи	Жири	Зола	Клітковина	Білки	
Рис	14,0	74,0	1,0	3,9	0,3	7,5	333
Овес	12,0	59,5	61,0	2,1	8,0	12,0	342
Пшениця	14,0	68,0	13,0	7,0	4,6	11,0	329
Молоко сухе	4,0	52,6	1,0	7,9	0	33,2	362
Цукор	0,2	99,8	0	0	0	0	399
Сіль	0,2	0	0	99,8	0	0	0
Квасоля	14,0	47,0	2,0	3,6	12,4	21,0	298
Чечевиця	14,0	46,3	1,5	2,7	11,5	24,0	295

Створюємо математичну модель розрахунку сировини з додаванням квасолі.

Введемо позначення  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  – кількість сировини кожного виду.

$F(x)$  – цільова функція, яка визначає вміст білка.

Математична модель цієї задачі буде мати вигляд:

$$F(x) = 0,075x_1 + 0,12x_2 + 0,11x_3 + 0,332x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,21x_7 \rightarrow \max .$$

Обмеження за основними поживними речовинами:

$$\text{Волога} - 0,14x_1 + 0,12x_2 + 0,14x_3 + 0,04x_4 + 0,002x_5 + 0,002x_6 + 0,14x_7 \leq 20 .$$

$$\text{Вуглеводи} - 0,74x_1 + 0,595x_2 + 0,68x_3 + 0,526x_4 + 0,998x_5 + 0x_6 + 0,47x_7 \leq 70 .$$

$$\text{Жири} - 0,01x_1 + 0,061x_2 + 0,013x_3 + 0,01x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,2x_7 \leq 10 .$$

$$\text{Зола} - 0,039x_1 + 0,021x_2 + 0,07x_3 + 0,079x_4 + 0x_5 + 0,998x_6 + 0,036x_7 \leq 20 .$$

$$\text{Клітковина} - 0,003x_1 + 0,08x_2 + 0,046x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,124x_7 \leq 20 .$$

Енергетична цінність:

$$3,33x_1 + 3,42x_2 + 3,29x_3 + 3,62x_4 + 3,99x_5 + 0x_6 + 2,98x_7 \leq 400$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 100$$

Обмеження по змінних:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0$$

Обмеження по продуктах:

$$15 \leq x_1 \leq 40, \quad x_2 \leq 20, \quad 20 \leq x_3 \leq 40, \quad 0 \leq x_4 \leq 9$$

$$5 \leq x_5 \leq 10, \quad x_6 = 1, \quad x_7 \leq 40$$

Створюємо електронну таблицю в MS Excel відповідно до математичної моделі, яку наведено на рисунку 1:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Змінні										
2	Імя	Рис	Овес	Пшениця	Молоке сухе	Цукор	Сіль	Квасоля			
3	Вміст								ЦФ	напряв	
4	білку в ЦФ	0,075	0,12	0,11	0,332	0	0	0,21	0	max	
5											
6	Вид										
7	Волога	0,14	0,12	0,14	0,04	0,002	0,002	0,14	0	≤	20
8	Вуглеводи	0,74	0,595	0,68	0,526	0,998	0	0,47	0	≤	70
9	Жир	0,01	0,061	0,013	0,01	0	0	0,02	0	≤	10
10	Зола	0,039	0,021	0,07	0,079	0	0,998	0,036	0	≤	20
11	Клітковина	0,003	0,08	0,046	0	0	0	0,124	0	≤	20
12	Енерг.цін	3,33	3,42	3,29	3,62	3,99	0	2,98	0	≤	400
13	Отримання одиниць продукта	1	1	1	1	1	1	1	0		100

Рисунок 1 – Електронна таблиця в MS Excel

Електронна таблиця даних у режимі формул представлена на рисунку 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Змінні										
2	Імя	Рис	Овес	Пшениця	Молоке сухе	Цукор	Сіль	Квасоля			
3	Вміст								ЦФ	напряв	
4	білку в ЦФ	0,075	0,12	0,11	0,332	0	0	0,21	=СУММПРОИЗВ(В3:Н3;В4:Н4)	max	
5											
6	Вид										
7	Волога	0,14	0,12	0,14	0,04	0,002	0,002	0,14	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В7:Н7)	≤	20
8	Вуглеводи	0,74	0,595	0,68	0,526	0,998	0	0,47	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В8:Н8)	≤	70
9	Жир	0,01	0,061	0,013	0,01	0	0	0,02	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В9:Н9)	≤	10
10	Зола	0,039	0,021	0,07	0,079	0	0,998	0,036	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В10:Н10)	≤	20
11	Клітковина	0,003	0,08	0,046	0	0	0	0,124	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В11:Н11)	≤	20
12	Енерг.цін	3,33	3,42	3,29	3,62	3,99	0	2,98	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В12:Н12)	≤	400
13	Отримання одиниць продукта	1	1	1	1	1	1	1	=СУММПРОИЗВ(\$В\$3:\$Н\$3;В13:Н13)		100

Рисунок 2 – Електронна таблиця в режимі формул

Для визначення оптимального складу компонентів було використано вбудований засіб Excel «Поиск решения» [5]. Вікно «Поиск решения» з вказаною цільовою функцією та обмеженнями наведено на рисунку 3.

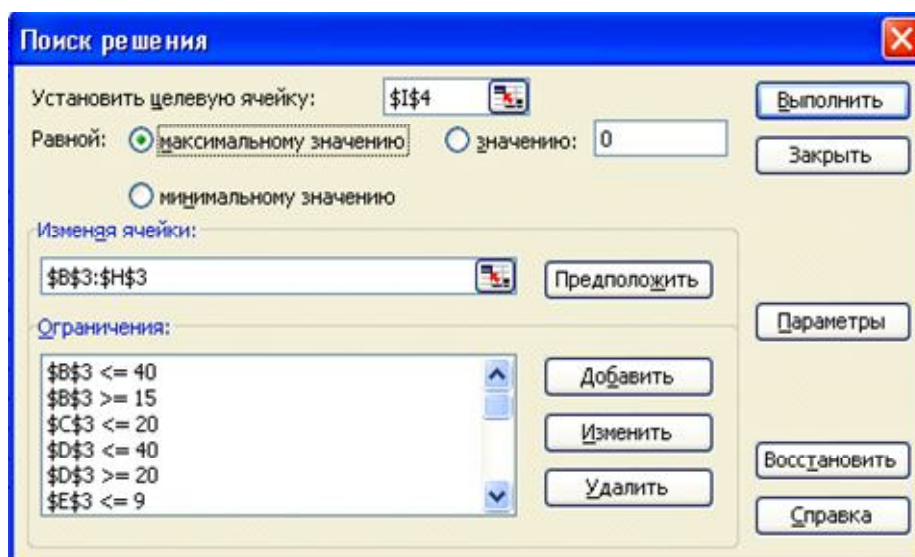


Рисунок 3 – Вікно «Поиск решения»

Результати обчислення розрахунку сировини з додаванням квасолі наведено на рисунку 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Змінні										
2	Імя	Рис	Овес	Пшениця	Молоко сухе	Цукор	Сіль	Квасоля			
3	Вміст	15	10	20	9	5	1	40	ЦФ	напря	
4	білку в ЦФ	0,075	0,12	0,11	0,332	0	0	0,21	15,913	max	
5											
6	Вид										
7	Волога	0,14	0,12	0,14	0,04	0,002	0,002	0,14	12,072	≤	20
8	Вуглеводи	0,74	0,595	0,68	0,526	0,998	0	0,47	59,174	≤	70
9	Жир	0,01	0,061	0,013	0,01	0	0	0,02	1,91	≤	10
10	Зола	0,039	0,021	0,07	0,079	0	0,998	0,036	5,344	≤	20
11	Клітковина	0,003	0,08	0,046	0	0	0	0,124	6,725	≤	20
12	Енерг.цін	3,33	3,42	3,29	3,62	3,99	0	2,98	321,68	≤	400
13	Отримання одиниць продукта	1	1	1	1	1	1	1	100		100

Рисунок 4 – Результати обчислення

Оптимальний склад компонентів з додаванням квасолі згідно проведених розрахунків (на 100 г) такий: рис – 15 г, овес – 10 г, пшениця – 20 г, молоко сухе – 9 г, цукор – 5 г, сіль – 1 г, квасоля – 40 г.

Вміст білка на 100 г продукту становить 15,913 ккал.

Аналогічно виконуємо розрахунки вмісту білка в продукті з додаванням чечевиці.

Математична модель задачі буде мати вигляд:

$$F(x) = 0,075x_1 + 0,12x_2 + 0,11x_3 + 0,332x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,24x_7 \rightarrow \max .$$

Обмеження за основними поживними речовинами:

$$\text{Волога} - 0,14x_1 + 0,12x_2 + 0,14x_3 + 0,04x_4 + 0,002x_5 + 0,002x_6 + 0,14x_7 \leq 20.$$

$$\text{Вуглеводи} - 0,74x_1 + 0,595x_2 + 0,68x_3 + 0,526x_4 + 0,998x_5 + 0x_6 + 0,463x_7 \leq 70.$$

$$\text{Жири} - 0,01x_1 + 0,061x_2 + 0,013x_3 + 0,01x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,15x_7 \leq 10.$$

$$\text{Зола} - 0,039x_1 + 0,021x_2 + 0,07x_3 + 0,079x_4 + 0x_5 + 0,998x_6 + 0,027x_7 \leq 20.$$

$$\text{Клітковина} - 0,003x_1 + 0,08x_2 + 0,046x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0,115x_7 \leq 20.$$

Енергетична цінність:

$$3,33x_1 + 3,42x_2 + 3,29x_3 + 3,62x_4 + 3,99x_5 + 0x_6 + 2,95x_7 \leq 400.$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 100.$$

Обмеження по змінних:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0$$

Обмеження по продуктах:

$$15 \leq x_1 \leq 40, \quad x_2 \leq 20, \quad 20 \leq x_3 \leq 40, \quad 0 \leq x_4 \leq 9$$

$$5 \leq x_5 \leq 10, \quad x_6 = 1, \quad x_7 \leq 25.$$

Таким же чином виконуємо розрахунки для визначення оптимального складу компонентів з додаванням чечевиці. Результати обчислення відображені на рисунку 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Змінні										
2	Імя	Рис	Овес	Пшениця	Молоко е сухе	Цукор	Сіль	Чечевиця			
3	Вміст	15	20	25	9	5	1	25	ЦФ	напрям	
4	білку в ЦФ	0,075	0,12	0,11	0,332	0	0	0,24	15,263	max	
5											
6	Вид										
7	Волога	0,14	0,12	0,14	0,04	0,002	0,002	0,14	11,872	≤	20
8	Вуглеводи	0,74	0,595	0,68	0,526	0,998	0	0,463	61,299	≤	70
9	Жир	0,01	0,061	0,013	0,01	0	0	0,015	2,16	≤	10
10	Зола	0,039	0,021	0,07	0,079	0	0,998	0,027	5,139	≤	20
11	Клітковина	0,003	0,08	0,046	0	0	0	0,115	5,67	≤	20
12	Енерг.цін	3,33	3,42	3,29	3,62	3,99	0	2,95	326,88	≤	400
13	Отримання одиниць продукта	1	1	1	1	1	1	1	100		100

Рисунок 5 – Результати обчислення

За результатами обчислень отримали оптимальний склад компонентів у продукті з додаванням чечевиці (на 100 г): рис – 15 г, овес – 20 г, пшениця – 25 г, молоко сухе – 9 г, цукор – 5 г, сіль – 1 г, чечевиця – 25 г.

Вміст білка на 100 г продукту становить 15,263 ккал.

**Висновки.** За допомогою вбудованого засобу Excel «Поиск решения» було визначено оптимальний склад компонентів з максимальним вмістом білка для сухих сніданків з додаванням квасолі або чечевиці. На основі проведеного аналізу було встановлено оптимальне дозування квасолі або чечевиці згідно вимог нутриціології під час виробництва сухих сніданків з підвищеним вмістом білка.

### Список літератури

1. Химия и биохимия бобовых растений / Пер. с англ. К.С. Спектрова, под. ред. М.Н. Запрометова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.
2. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.
3. Ильчакова Ж.А. Технологическая оценка бобового сырья для производства кулинарной продукции / Ж.А. Ильчакова, О.А. Гринченко, П.П. Пивоваров // Продукты & ингредиенты. – 2006. – № 12. – С. 70-71.
4. Леонтьев В.М. Чечевица / В.М. Леонтьев. – Л.: Колос, 1996. – 256 с.
5. Пикуза В. Экономические расчеты и бизнес-моделирование в Excel / В. Пикуза. – СПб.: Питер, 2012. – 400 с.
6. Научные принципы конструирования комбинированных продуктов питания / Н.В. Колесникова, С.Ю. Лескова, И.В. Брянская, К.М. Миронов. – Улан-Удэ: издат. ВСГУТ, 2005. – 45 с.

УДК 637.3:001.891.5

Машта Н.О. (РІС КСУ, Рівне)

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ РЕОЛОГІЧНОГО ПОКАЗНИКА ПЛАВЛЕНИХ СИРНИХ ПРОДУКТІВ ВІД КІЛЬКОСТІ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДОБАВОК, ЩО ДОДАВАЛИ

*У статті подано основні етапи планування експерименту щодо встановлення математичної моделі залежності граничного напруження зсуву плавлених сирних продуктів від кількості та співвідношення нетрадиційних добавок, що додавали.*

**Ключові слова:** *плавлені сирні продукти, математична модель, реологічний показник, граничне напруження зсуву.*

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Розроблення та виробництво технологій харчових продуктів пов'язані із проведенням складних і дорогих експериментальних досліджень, адже для вибору оптимального технологічного процесу та рецептурних компонентів слід проаналізувати величезну кількість чинників у обмежені терміни. Плавлені сирні продукти – багатокомпонентні продукти, які дозволяють у широких межах регулювати їх хімічний склад. Тому актуальним є використання методів планування експерименту, які дозволяють у багатьох випадках суттєво скоротити витрати часу та матеріальних ресурсів на виконання дослідницьких робіт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні положення методик повнофакторного експерименту викладені такими авторами: Ю.П. Адлер,