

складні операції, дорогі лікарські препарати, консультації «розумних» лікарів, але можна просто вдатися до раціонального харчування. Східна мудрість каже: «Людина, яка досягла 30-річного віку і не навчилася зберігати своє здоров'я, не варта його». Багато сучасних лікарів у світі стверджують, що людина в ХХІ столітті фактично не має вибору: вона або припинить хворіти, або буде лікуватися постійно. Перетворення «людини розумної» на «людину хворіючу» призведе зрештою до руйнування генофонду і виродження людей як біологічного виду.

Аби здолати стереотип, що склався в області харчування, потрібні велика мужність, свідомість, організованість. І цього не можна здійснити без підтримки всієї сім'ї, оскільки харчування – справа родинна. Їжа в певних умовах може бути шкідливою для організму. Пізнання механізмів несприятливого впливу їжі дозволяє попереджати хворобливі реакції. Завдання, що стоїть перед медициною, – використовувати їжу як лікувальний чинник у подоланні різних захворювань людей.

Можна витратити величезні гроші на лікування: складні операції, дорогі лікарські препарати, консультації «розумних» лікарів, але можна просто вдатися до раціонального харчування, деякі концепції якого ми розглянули вище. У своєму житті кожна людина йде особливою дорогою, але щасливим може бути лише той, хто живе просто, харчується чисто, мислить щиро і доброзичливо, поважає і цінує духовні багатства, любить і береже природу, знає, що таке справедливість і доброта.

Список літератури

1. Кузьмінська О.В. Значення раціонального харчування для підтримки здоров'я молоді / О.В. Кузьмінська, М.С. Червона // Формування здорового способу життя молоді. У 14 кн. Кн. 4. – К.: Державний інститут проблем сім'ї та молоді, Український ін-т соціальних досліджень, 2004. – 128 с.
2. Здоров'я і здоровий спосіб життя: навч.-виховний курс / Упоряд. О. Затворна, М.А. Кичан. – Березне, 2004. – 75 с.

УДК 519.876.5:[641.85:637.3]

Тележенко Л.М., д-р техн. наук, проф.,

Золовська О.В., Голінська Я.А. (ОНАХТ, Одеса)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ КОМПОНЕНТІВ МОЛОЧНО-РОСЛИННОГО ДЕСЕРТУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті наведено дані математичного моделювання рецептурного складу молочно-рослинного десерту й отримано математичну модель, яка описує раціональне співвідношення компонентів для покращення збитості десерту.

Ключові слова: композиційний уніформ-рототабельний план другого порядку, збитий десерт, об'ємна вага.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Аналіз зареєстрованих серед мешканців України випадків порушення вуглеводного обміну протягом 1993-2011 рр. показав, що число хворих на цю недугу неухильно зростає і становить на початок 2012 року більше 3 млн 600 тис. людей, або близько 8% від загальної маси населення (статистика МОЗ України).

Одним із пріоритетних напрямків діяльності Міністерства охорони здоров'я України є вдосконалення спеціалізованої допомоги хворим на цукровий діабет та інші захворювання, пов'язані з порушенням вуглеводного обміну, що, в свою чергу, потребує розробки страв функціонального та профілактичного призначення [1].

Авторами науково обґрунтовано компонентний склад збитого молочно-рослинного десерту для людей із порушеним вуглеводним обміном [2]. Однак для підвищення засвоюваності не менше значення має текстура продукту та його насиченість повітрям.

Отже, метою нашої роботи є визначення за допомогою методу математичного моделювання раціонального компонентного складу молочно-рослинного десерту, який покращував би його збитість.

Важливим етапом моделювання технологічного процесу є системний аналіз досліджуваної технологічної системи. Технологію виробництва молочно-рослинного десерту потрібно розглядати як складну велику систему, яку доцільно аналізувати за допомогою виділення у ній простіших підсистем [3].

Системний аналіз технологічного процесу виробництва молочно-рослинного десерту проведено шляхом розробки параметричної схеми підсистем збивання, організації композиційного уніформ-рототабельного планування другого порядку (КУРПДП) та статистичного опрацювання результатів.

Аналіз основних параметрів, які впливають на підсистему збивання суміші молочно-рослинного десерту, показав такі головні керівні параметри: співвідношення компонентів десерту, температура та тривалість збивання. У нашій статті розглянуто параметричну схему з параметрами раціональної кількості компонентів, які входять до складу десерту та впливають на збивання десертної композиції.

Вибір цільової функції підсистеми залежить від завдань функціонування системи (якість або кількість продукту) [4], тому метою цієї підсистеми стало створення оптимальної композиції для проведення процесу збивання. Вихідним керівним показником, який найбільш повно характеризує цю технологічну операцію, стала об'ємна вага продукту. Фактори (складові десерту), які мають натуральну розмірність, було умовно позначено як C_i ($i = 1 \dots 3$), а в безрозмірному відношенні – як X_i , де 1 – сухе молоко, 2 – желатин, 3 – фруктозо-глюкозний сироп. Для досягнення поставленої мети було розглянуто підсистему збивання суміші, яку наведено на рисунку 1.

Для зменшення числа дослідів у планах другого порядку було використано композиційне планування. Суть цієї ідеї полягала в тому, що спочатку здійснювали план повного факторного експерименту, а вже потім додавали до нього деяку кількість, спеціальним чином розташованих, так званих «зіркових» точок і дослід у центрі експерименту.

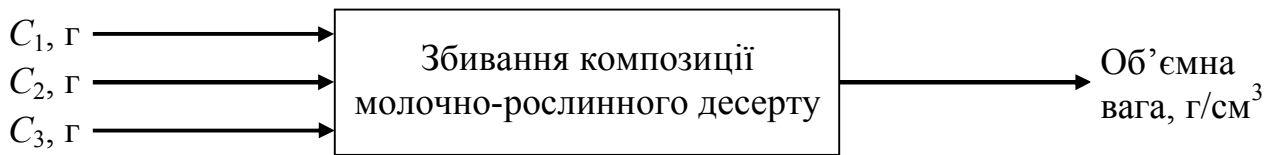


Рисунок 1 – Параметрична схема підсистеми збивання суміші молочно-рослинного десерту

Враховуючи те, що структура композиційних уніформ-рототабельних планів другого порядку не відрізняється від структури відповідних ортогональних планів, ядром плану став повний факторний експеримент, в якому загальне число дослідів в плані було розраховано за формулою (1) [5]:

$$N = 2^n + 2 \cdot n + N_{III}, \quad (1)$$

де N – загальна кількість дослідів,
 n – кількість факторів,
 N_{III} – кількість повторених дослідів у центрі планування.

Значення факторів у планах і розрахунках було виражено за допомогою безрозмірної величини x_i . Для цього проведено перетворення змінних (так зване кодування) за наступною формулою:

$$x_i = \frac{C_i - C_{i0}}{\lambda_i}, \quad (2)$$

де C_i – значення фактора на заданому рівні в натуральних змінних;
 x_i – значення фактора в кодованих змінних;
 C_{i0} – значення i -го фактора в натуральних змінних на нульовому (центр експерименту) рівні;
 λ_i – інтервал варіювання, який дорівнює розмірності між будь-якими рівнями й основним рівнем фактора;
 i – номер фактора.

Обрані інтервали варіювання факторів, які впливають на технологічну систему, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані моделі молочно-рослинного десерту

Незалежні змінні	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	10	3	30
Інтервал варіювання	3	1,5	10
Верхній рівень	13	4,5	40
Нижній рівень	7	1,5	20

Для визначення впливу трьох факторів (компонентів) на об'ємну вагу за КУРПДП, було обрано кодовану матрицю, яку наведено у таблиці 2 [5].

Таблиця 2 – Центральний композиційний уніформ-рототабельний план другого порядку (для $n = 3$)

№	Компоненти			№	Компоненти			№	Компоненти		
	X_{1u}	X_{2u}	X_{3u}		X_{1u}	X_{2u}	X_{3u}		X_{1u}	X_{2u}	X_{3u}
1	-1	-1	-1	8	+1	+1	+1	15	0	0	0
2	-1	+1	-1	9	-1,682	0	0	16	0	0	0
3	+1	-1	-1	10	+1,682	0	0	17	0	0	0
4	+1	+1	-1	11	0	-1,682	0	18	0	0	0
5	-1	-1	+1	12	0	+1,682	0	19	0	0	0
6	-1	+1	+1	13	0	0	-1,682	20	0	0	0
7	+1	-1	+1	14	0	0	+1,682				

Керуючись властивостями значення виходу процесу, що не залежить у рототабельному плані від напряму радіуса вектора, а обертання системи осей координат не змінює величину дисперсії, було визначено плече «зіркової» точки, де $K = \pm 1,682$. На основі проведених розрахунків було складено центральний КУРПДП відповідно до натуральної та відсоткової величини факторів (компонентів), які наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок відповідних кодованих і натуральних значень факторів у матриці планування композиції молочно-рослинного десерту

№	X_{1u}			X_{2u}			X_{3u}			K/m сир, г
	Код	%	г	Код	%	г	Код	%	г	
1	-1	7	7	-1	1,5	1,5	-1	20	20	71,5
2	-1	7	7	+1	4,5	4,5	-1	20	20	68,5
3	+1	13	13	-1	1,5	1,5	-1	20	20	65,5
4	+1	13	13	+1	4,5	4,5	-1	20	20	62,5
5	-1	7	7	-1	1,5	1,5	+1	40	40	51,5
6	-1	7	7	+1	4,5	4,5	+1	40	40	48,5
7	+1	13	13	-1	1,5	1,5	+1	40	40	45,5
8	+1	13	13	+1	4,5	4,5	+1	40	40	42,5
9	-1,682	4,954	4,954	0	3	3	0	30	30	62,05
10	+1,682	15,06	15,06	0	3	3	0	30	30	51,94
11	0	10	10	-1,682	0,477	0,477	0	30	30	59,52
12	0	10	10	+1,682	5,523	5,523	0	30	30	54,48
13	0	10	10	0	3	3	-1,682	13,18	13,18	73,82
14	0	10	10	0	3	3	+1,682	46,82	46,82	40,18
15	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57
16	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57
17	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57
18	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57
19	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57
20	0	10	10	0	3	3	0	30	30	57

Протягом роботи проведено дослідження впливу зміни співвідношення компонентів молочно-рослинного десерту на зміну його об'ємної ваги. Результати представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати дослідження зміни об'ємної ваги десерту

<i>u</i>	<i>Y</i>	<i>u</i>	<i>Y</i>	<i>u</i>	<i>Y</i>
1	11,85	9	12,02	15	11,88
2	10,09	10	12,85	16	11,88
3	11,33	11	12,87	17	11,87
4	11,42	12	12,14	18	11,87
5	11,66	13	11,82	19	11,88
6	11,17	14	12,36	20	11,87
7	12,53	–	–	–	–
8	11,94	–	–	–	–

На основі проведених досліджень було розраховано коефіцієнти регресії та коефіцієнти рівняння (3-6) [5]:

$$b_0 = 0,16634 \cdot \sum_{u=1}^{20} y_u - 0,05679 \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 \cdot y_u, \quad (3)$$

$$b_i = 0,07322 \cdot \sum_{u=1}^{14} x_{iu} y_u, \quad (4)$$

$$b_{ij} = 0,125 \cdot \sum_{u=1}^8 x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u, \quad (5)$$

$$b_{ij} = 0,0625 \cdot \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 \cdot y_u + 0,00689 \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 \cdot y_u - 0,05679 \cdot \sum_{u=1}^{20} y_u, \quad (6)$$

Формули розрахунку дисперсії коефіцієнтів [6]:

$$S^2(b_i) = 0,0733 \cdot S^2(y); \quad (7)$$

$$S^2(b_{ij}) = 0,125 \cdot S^2(y); \quad (8)$$

$$S^2(b_{11}) = 0,0597 \cdot S^2(y). \quad (9)$$

Отримані дані після обчислення цих формул за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 – Розраховані коефіцієнти регресії

Коефіцієнт	Значення	Коефіцієнт	Значення	Коефіцієнт	Значення
B_0	11,88	B_{12}	0,10	B_{11}	0,02
B_1	-0,29	B_{13}	0,07	B_{22}	0,05
B_2	-0,09	B_{23}	0,22	B_{33}	-0,1
B_3	0,13	–	–	–	–

Дисперсію відтворюваності було розраховано за III частиною плану (у дослідях 15-20) [6]:

$$S^2(y) = \frac{\sum (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{N_{III} - 1}, \quad (10)$$

$$\text{де } \bar{y}_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N_{III}} y_{0u}}{N_{III}}, \quad (11)$$

$N_{III} - 1 = f_2$ – число ступенів вільності.

Дисперсію коефіцієнтів регресії розраховано за формулами 7, 8, 9. Довірчі інтервали розраховано за формулою (12):

$$\varepsilon(b_i) = t \cdot S(b_i), \quad (12)$$

де t – критичне (табличне) значення критерія Стьюдента, яке знаходили за рівнем значущості $p = 0,05$ та числом ступенів вільності.

Якщо виконувалася нерівність $|b_i| > \varepsilon(b_i)$, то коефіцієнт вважали значущим. В іншому випадку коефіцієнт виключали з рівняння регресії. Далі було проведено перевірку адекватності математичної моделі рівняння відповідно до експериментальних даних за критерієм Фішера [7]. За відповідності нерівності це рівняння кваліфікували як таке, що адекватно описує процес дослідження. Дисперсію адекватності розраховували за результатами I і II частин плану (1-й-14-й дослід):

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N-N_{III}} (\hat{y}_u - y_u)^2}{(N - N_{III}) - N'}, \quad (13)$$

де \hat{y}_u – передбачене для умов u -го дослідження значення виходу процесу;

N' – число значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії;

$(N - N_{III}) - N' = f_1$ – число ступенів вільності.

У результаті проведених досліджень і розрахунків отримано наступну залежність (у кодованих значеннях):

$$Y = 11,88 - 0,29x_1 - 0,09x_2 + 0,13x_3 + 0,10x_1x_2 + 0,07x_1x_3 + 0,22x_2x_3 + 0,05x_2^2 - 0,10x_3^2.$$

Графічний вигляд отриманої залежності, яка характеризує вплив обраних факторів (виражених у натуральних показниках) на об'ємну вагу десерту, наведено на рисунках 2, 3, 4.

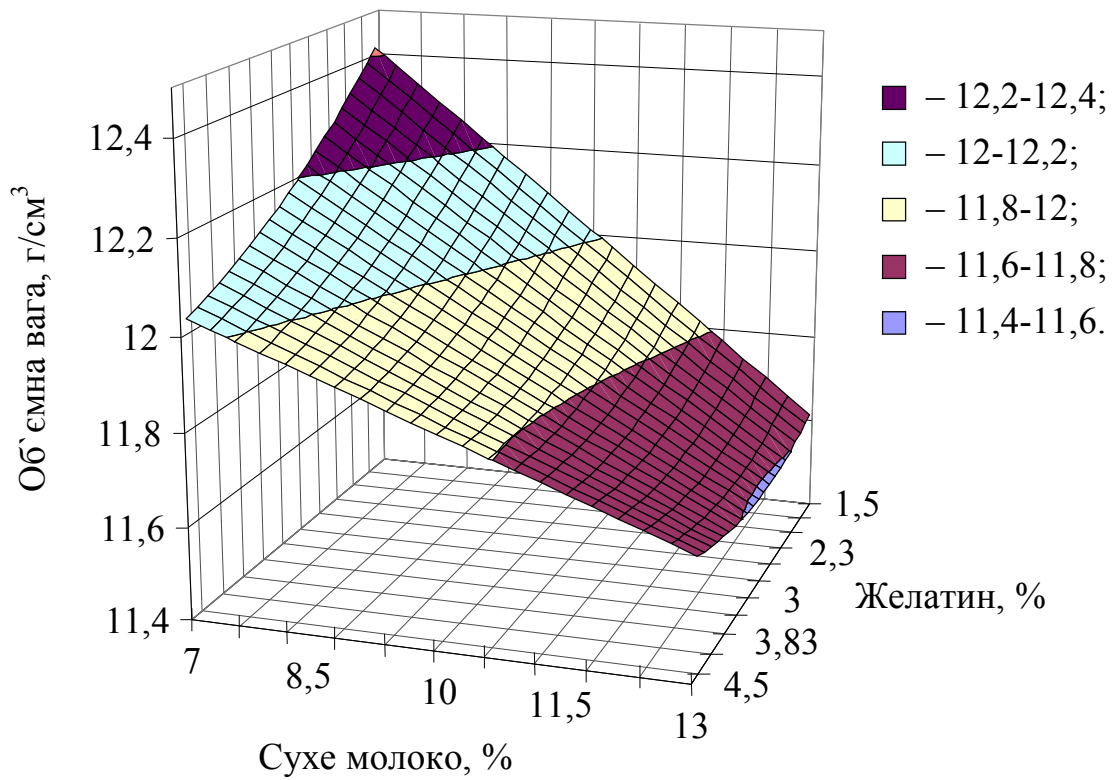


Рисунок 2 – Вплив співвідношення сухого молока і желатину на об'ємну вагу десерту

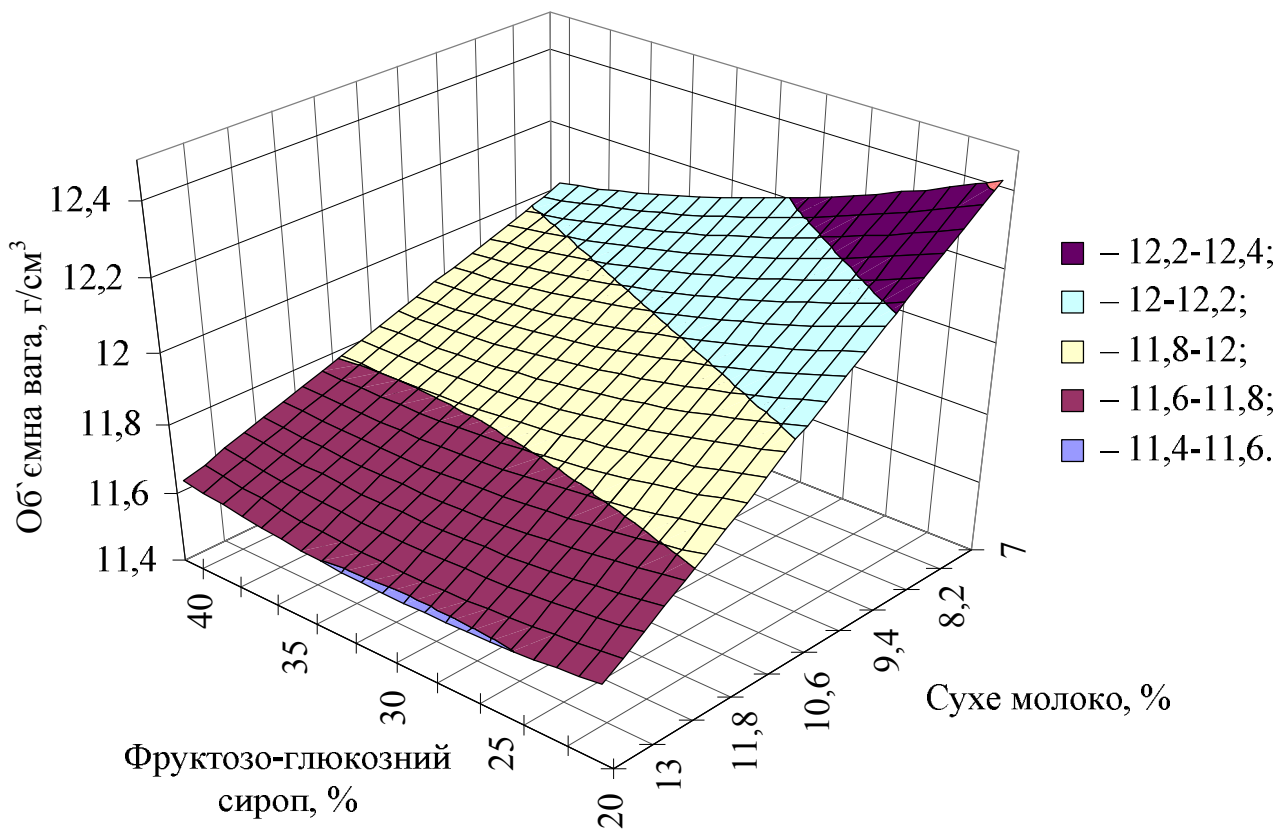


Рисунок 3 – Вплив співвідношення сухого молока і сиропу на об'ємну вагу десерту

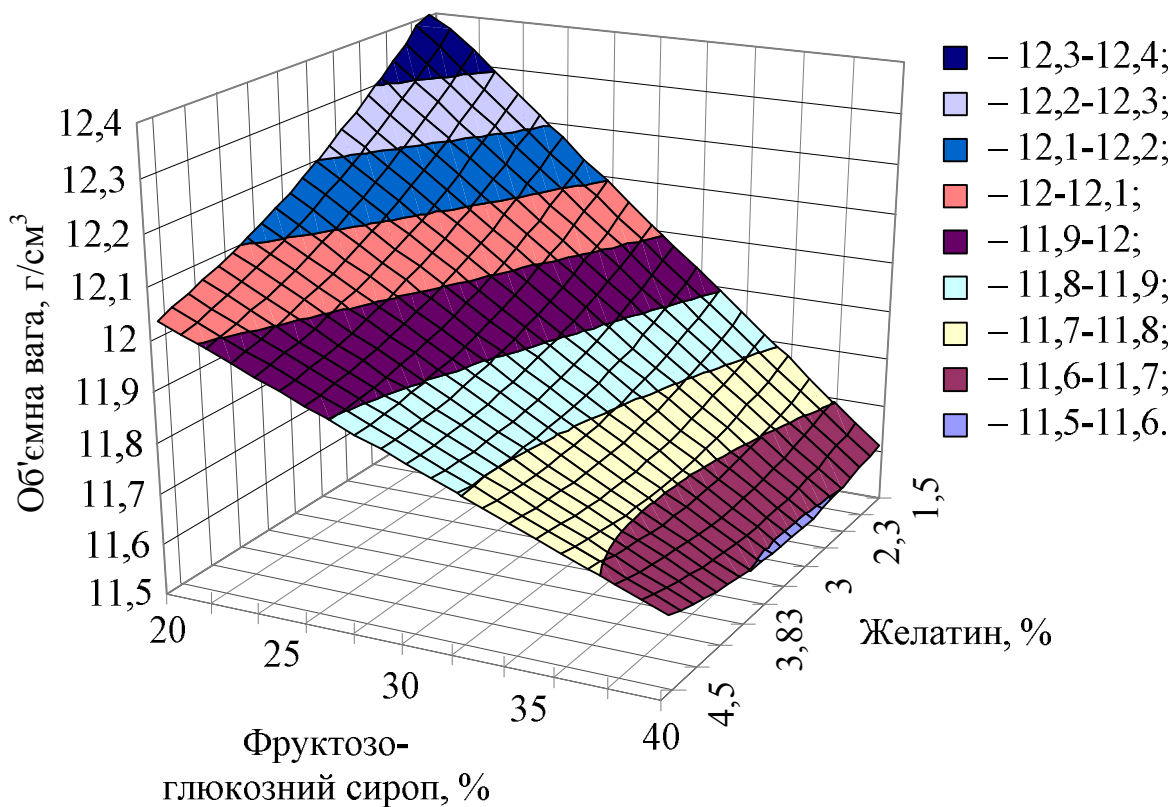


Рисунок 4 – Вплив співвідношення желатину і сиропу на об’ємну вагу десерту

Опрацювання отриманих результатів дозволило встановити оптимальне співвідношення компонентів десерту за основними посередніми результатами трьох моделей, які наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Рецепт десерту

Компоненти рецептури	%
Сир кисломолочний	41...52,84
Фруктозо-глюкозний сироп	33...38
Сухе молоко	12,7...13
Желатин	2,14...3
Цукати з топінамбуру	5

Діапазон значень масової частки фруктозо-глюкозного сиропу дозволяє варіювати склад десерту з урахуванням органолептичних показників і глікемічного індексу.

Висновки. Встановлено, що на об’ємну вагу збитого молочно-рослинного десерту найбільше впливає масова частка фруктозо-глюкозного сиропу, сухого молока та желатину. Отримана залежність адекватно описує вплив компонентного складу десерту на його об’ємну вагу.

Обрано таке співвідношення компонентів десерту, за яких його текстура має найкращу насиченість повітрям.

Список літератури

1. Про затвердження Державної цільової програми «Цукровий діабет» на 2009-2013 роки: постанова Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 р. № 877 // Урядовий кур'єр. – 2010. – № 192.
2. Тележенко Л.Н. Разработка технологии молочно-растительного десерта профилактического назначения / Л.Н. Тележенко, С.Л. Колесниченко, Е.В. Золотская // Хранительна наука, техника и технологии: науч. труд. на УХТ. – 2012. – Т. LIX. – С. 422-426.
3. Станкевич Г.М. Оптимізація рецептур соків та паст на основі ферментованого топінамбура / Г.М. Станкевич, І.Р. Біленька, Н.А. Буланша // Харчова наука і технологія. – 2011. – № 4 (17). – С. 86-90.
4. Остапчук М.В. Математическое моделирование на ЕОМ / М.В. Остапчук, Г.М. Станкевич. – О.: Друк, 2006. – 313 с.
5. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.
6. Математическое планирование процессов пищевых производств: учеб. пособие / Под ред. Н.В. Остапчука. – К.: Вища шк., 1992. – 175 с.