

доцільність проведення досліджень з розроблення технології харчоконцентратів на основі їстівних грибів.

При вивченні впливу процесу обсмажування на білкові речовини грибних продуктів встановлено незначне зменшення білка в чіпсах (на 4,4 %) та снеках (на 4,6 %) порівняно з напівфабрикатом. Обсмажування призводить до перерозподілу білкових фракцій, а саме до збільшення кількості альбумінів та глобулінів. Знижується вміст азотистих речовин в основ-

ному за рахунок істотних втрат амінного азоту в грибних чіпсах (на 32,1 %) та снеках (на 32,6 %), що зумовлено кількісним зменшенням амінокислот.

На основі системного аналізу та узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень вперше розроблено технології харчоконцентратів (чіпсів, снеків) підвищеної харчової і біологічної цінності на основі їстівних грибів.

Поступила 03.2012

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Малота, С. Гриби – їжа майбутнього [Електронний ресурс] / С. Малота // Дзеркало тижня. – 2002. – № 34 (409). – Режим доступу: <http://www.dt.ua/3000/3100/36008/>.
2. Пивоваров, П.П. Теоретична технологія продукції громадського харчування [Текст]: Навч. посібник. Частина I. Білки в технології продукції громадського харчування / П.П. Пивоваров. Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. – Харків, 2000. – 116 с.
3. Химия пищи: Книга 1: Белки: структура, функции, роль в питании [Текст] / И.А. Рогов, Л.В. Антипова, Н.И. Дунченко, Н.А. Жеребцов. – М.: Колос, 2000. – 384 с.
4. Дэвени, Т. Аминокислоты, пептиды и белки [Текст] / Т. Дэвени, Я. Гергей. Пер. с англ. А. Н. Маца. Под ред. и с предисл. Р.З. Незлина. – М.: Мир, 1976. – 364 с.
5. Пищевая химия [Текст] / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др. // под ред. А. П. Нечаева. Издание 4-е, испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.

УДК 664.696

**МАХИНЬКО Л.В., канд. техн. наук, доцент, МАХИНЬКО В.М., канд. техн. наук, доцент, ДОРОШЕНКО Є.В., магістр**

Національний університет харчових технологій, м. Київ

## **ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОЗИЦІЙ ФРУКТОВО-ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ (МЮСЛІВ) З ВИКОРИСТАННЯМ СИМПЛЕКС-МЕТОДУ**

Стаття присвячена проблемі удосконалення складу фруктово-зернових сумішей швидкого приготування (мюслів). Відомо, що сушені фрукти підвищують харчову і біологічну цінність сумішей швидкого приготування на основі зернових, збагачують їх біологічно активними речовинами. Однак підбір компонентів для таких сумішей проводять переважно за органолептичними показниками. Методами лінійного програмування (симплекс метод) оптимізовано склад фруктово-зернових сумішей за показниками вартості та калорійності. Запропоновано зернові композиції з сировини, наявної на ринку, а також з додаванням різних видів сушених фруктів.

**Ключові слова:** мюслі, зернові пластівці, сушені фрукти, оптимізація, симплекс-метод.

The article is devoted to the problem of improvement of the structure of fruit and cereal mixtures of fast preparation (muesli). It is known that dried fruits improve fruit and biological value of fast preparation mixtures on the basis of grain crops, enrich them with biologically active substances. However, the selection of components for such mixtures spends mainly on organoleptic indicators. With the help of linear programming methods (simplex method) it is optimized fruit and cereal mixtures' structure on indicators of the value and caloric content. It is offered grain composition from the raw materials, available in the market, and also with the addition of different kinds of dried fruits.

**Keywords:** muesli, cereals, dried fruits, optimization, simplex method.

Під впливом прискорення динаміки життя у значної частини населення змінюються стереотипи харчування. З року в рік росте популярність продуктів підвищеного ступеня готовності, тобто харчових концентратів, до числа яких належать і сухі зернові сніданки із суміші зернових культур. Ці продукти мають ряд переваг перед звичайними монопродуктами: відносно невелика густина і маса при високому вмісті висококалорійних нутрієнтів, легкість у модифікуванні рецептур цих продуктів, простота виготовлення і використання, низька вологість і подовжений термін зберігання. Нутриціологія вказує ще на одну важливу властивість комбінованих продуктів харчування – зростає ефективність використання таких продуктів за рахунок підсилення обмінних процесів в організмі через підвищення ймовірності задоволення індивідуальних потреб людини [1].

Відсутність власного виробництва зробила укра-

їнський ринок мюслів об'єктом уваги практично всіх провідних виробників цього продукту. За український ринок споживача борються швейцарська Nestle, німецька H & J Brüggen, Dr.Oetker, Hahne, данська АХА, польські, чеські і багато інших фірм. Асортимент мюслів цих фірм широкий і різноманітний. Кожна з них представляє по сім-вісім видів. Ціна на них змінюється в залежності від складу, маси фасування та підприємства-виробника. Більшість з них випускає як власне зернові суміші, так і суміші, що мають у своєму складі фруктово-ягідну сировину. Однак, як свідчать проведені нами попередні дослідження, більшість виробників, складаючи композиції мюслів, орієнтується в першу чергу на органолептичні показники чи ціну, не враховуючи при цьому їх харчової цінності. Тому було поставлено завдання оптимізувати склад зернових та фруктово-зернових сумішей з залученням інструментів математичного моделювання.

Існує багато методів вирішення задач оптимізації рецептур. Для вирішення задач, в яких цільова функція задана у вигляді системи лінійних рівнянь, доцільно використовувати методи лінійного програмування. Найпоширенішим методом, що використовується для вирішення задач такого типу, є симплекс-метод, який дає змогу, відштовхуючись від вихідного варіанта вирішення задач, за певну кількість кроків отримати оптимальний варіант. В основі симплекс-методу лежать розрахунки значень цільової функції у вершинах опуклого багатогранника розв'язків і впорядкований перехід від однієї вершини опорного плану до іншої, в якій значення цільової функції зростає. Виходячи з будь-якого початкового плану, за скінченне число кроків (ітерацій) симплекс-метод приводить до оптимального розв'язку або встановлює відсутність такого розв'язку [2]. Оскільки поставлена нами задача (оптимізація складу зернових сумішей за вартістю і калорійністю) є задачею лінійного програмування, то для її вирішення доцільно використовувати саме симплекс-метод. Процес реалізації симплекс-

Таблиця 1

Вихідні дані для проведення оптимізації складу суміші з 9-ти видів зернової сировини за ціною

| Складова       | Вміст одиниць складової в 1 г сировини |                     |                    |                         |                      |                         |                            |                                |                           | Мінімальний вміст складової |
|----------------|--|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                | Вівсяні (плющення)                     | Пшеничні (плющення) | Ячмінні (плющення) | Кукурудзяні (екструзія) | Пшеничні (екструзія) | Пшеничні (площ. +обсм.) | Кукурудзяні (площ. +обсм.) | Кукурудзяні кульки (екструзія) | Рисові кульки (екструзія) |                             |
| Білки          | 0,13                                   | 0,13                | 0,10               | 0,085                   | 0,12                 | 0,12                    | 0,09                       | 0,08                           | 0,075                     | 2,3                         |
| Жири           | 0,075                                  | 0,02                | 0,03               | 0,02                    | 0,023                | 0,024                   | 0,02                       | 0,02                           | 0,016                     | 5,3                         |
| Вуглеводи      | 0,66                                   | 0,63                | 0,63               | 0,73                    | 0,64                 | 0,62                    | 0,75                       | 0,74                           | 0,77                      | 30,4                        |
| Ціна 1 г, коп. | 2,59                                   | 2,60                | 2,54               | 3,65                    | 3,19                 | 2,98                    | 3,02                       | 4,12                           | 4,23                      | -                           |

методу включає велику кількість однотипних громіздких і стомливих розрахунків. Це робить комп'ютер незамінним інструментом для вирішення задач лінійного програмування, оскільки розрахунковий алгоритм симплекс-методу дає змогу порівняно легко автоматизувати розрахунки. З цією метою використовували комп'ютерну програму SimplexWin.

Для оптимізації складу зернових сумішей за критерій оптимізації обирали вартість або калорійність 1 г суміші, які повинні бути мінімальними, і в той же час максимально забезпечувати потребу споживача в основних харчових речовинах. В загальному вигляді цільова функція матиме такий вигляд:

$$F = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 \rightarrow \min$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$  – значення ціни чи калорійності відповідного компонента суміші;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9$  – кількість відповідного компонента суміші.

Оскільки існують суттєві відмінності у споживанні основних харчових речовин різними групами населення залежно від віку, статі та рівня фізичної активності, розглянемо вирішення задачі оптимізації композиції на прикладі лише однієї з груп. За обмеження приймаємо задоволення 10 % потреб організму в білках, жирах, вуглеводах для жінок віком 30-34 роки, які належать до I-ї групи фізичної активності (науковці, студенти, оператори електронно-обчислювальних машин, контролери, педагоги, диспетчери тощо), відповідно до «Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» [3]

На першому етапі проведемо оптимізацію складу суміші, що складається з дев'яти зернових продуктів, які найчастіше є сировиною для мюслів: пластівці вівсяні (отримані способом плющення), пластівці пшеничні (плющення), пластівці ячмінні (плющення), пластівці кукурудзяні (отримані методом екструзії), пластівці пшеничні (екструзія), пластівці пшеничні (отримані поєднанням технологій плющення та обсмажування), пластівці кукурудзяні (плющення з обсмажування), кульки кукурудзяні (екструзія), кульки рисові (екструзія). Для оптимізації складу нашої суміші за ціною заносимо дані про вміст білків, жирів і вуглеводів у сировині до таблиці 1. Також вказуємо ціну за 1 г сировини. У стовпчику «Мінімальний вміст складової» записуємо обмеження по вмісту основних харчових речовин згідно нормам фізіологічних потреб.

На основі табличних даних записуємо задачу оп-

тимізації в аналітичному вигляді:

$$F_1 = 2,59x_1 + 2,60x_2 + 2,54x_3 + 3,65x_4 + 3,19x_5 + 2,98x_6 + 3,02x_7 + 4,12x_8 + 4,23x_9 \rightarrow \min$$

де  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9$  – кількість відповідно пластівців вівсяних (плющення), пластівців пшеничних (плющення), пластівців ячмінних (плющення), пластівців кукурудзяних (екструзія), пластівців пшеничних (екструзія), пластівців пшеничних (плющення з обсмажування), пластівців кукурудзяних (плющення з обсмажування), кульок кукурудзяних (екструзія), кульок рисових (екструзія).

Для оптимізації зернових сумішей за вартістю обмеження матимуть наступний вигляд:

$$\begin{cases} 0,13x_1 + 0,13x_2 + 0,10x_3 + 0,085x_4 + 0,12x_5 + 0,12x_6 + 0,09x_7 + 0,08x_8 + 0,075x_9 \geq 2,3 \\ 0,075x_1 + 0,02x_2 + 0,03x_3 + 0,02x_4 + 0,023x_5 + 0,024x_6 + 0,02x_7 + 0,02x_8 + 0,016x_9 \geq 5,3 \\ 0,66x_1 + 0,63x_2 + 0,63x_3 + 0,73x_4 + 0,64x_5 + 0,62x_6 + 0,75x_7 + 0,74x_8 + 0,77x_9 \geq 30,4 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 = 100 \end{cases}$$

З метою попередження створення композицій лише з найдешевших (вівсяних і ячмінних) пластівців, введемо додаткові обмеження їх вмісту (першого на рівні 54 %, а другого – 30 %), а також введемо обмеження для представлення у суміші всіх видів сировини на рівні хоча б 1-2 %:

$$\begin{cases} x_1 \leq 54,1 \\ x_2 \geq 2 \\ x_3 \leq 30 \\ x_4 \geq 2 \\ x_5 \geq 2 \\ x_6 \geq 2 \\ x_7 \geq 2 \\ x_8 \geq 1 \\ x_9 \geq 1 \end{cases}$$

В результаті вирішення задачі отримали таку (табл. 2) оптимальну композицію суміші з мінімальною ціною. Як і прогнозувалося, сировинні компоненти розташувалися в порядку зростання ціни, при цьому готова суміш матиме вартість 26,7 грн. за кілограм.

Зважаючи на те, що споживачами ставляться досить жорсткі вимоги до калорійності зернових сумішей, проводили також оптимізації складу мюслів за показником калорійності. З цією метою складали допоміжну таблицю 3.

Для цієї задачі цільова функція і система обмежень наступні:

Таблиця 2

Оптимальне (за ціною) співвідношення компонентів зернової суміші з 9 видів сировини

|                         | Вид пластівців     |                     |                    |                         |                      |                        |                           |                                |                           | Ціна за 100 г, грн. |
|-------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
|                         | Вівсяні (плющення) | Пшеничні (плющення) | Ячмінні (плющення) | Кукурудзяні (екструзія) | Пшеничні (екструзія) | Пшеничні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні кульки (екструзія) | Рисові кульки (екструзія) |                     |
| Кількість пластівців, г | 54,1               | 2,3                 | 30                 | 2                       | 2                    | 5,6                    | 2                         | 1                              | 1                         | 2,67                |

Таблиця 3

Вихідні дані для проведення оптимізації складу суміші з 9-ти видів зернової сировини калорійністю

| Складова               | Вміст одиниць складової в 1 г сировини |                     |                    |                         |                      |                        |                           |                                |                           | Мінімальний вміст |
|------------------------|--|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                        | Вівсяні (плющення)                     | Пшеничні (плющення) | Ячмінні (плющення) | Кукурудзяні (екструзія) | Пшеничні (екструзія) | Пшеничні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні кульки (екструзія) | Рисові кульки (екструзія) |                   |
| Білки                  | 0,13                                   | 0,13                | 0,10               | 0,085                   | 0,12                 | 0,12                   | 0,09                      | 0,08                           | 0,075                     | 2,3               |
| Жири                   | 0,075                                  | 0,02                | 0,03               | 0,02                    | 0,023                | 0,024                  | 0,02                      | 0,02                           | 0,016                     | 5,3               |
| Вуглеводи              | 0,66                                   | 0,63                | 0,63               | 0,73                    | 0,64                 | 0,62                   | 0,75                      | 0,74                           | 0,77                      | 30,4              |
| Калорійність 1 г, ккал | 3,90                                   | 3,26                | 3,45               | 3,25                    | 3,12                 | 3,21                   | 3,16                      | 3,18                           | 3,23                      | -                 |

$$F_1 = 3,90x_1 + 3,26x_2 + 3,45x_3 + 3,25x_4 + 3,12x_5 + 3,21x_6 + 3,16x_7 + 3,18x_8 + 3,23x_9 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} 0,13x_1 + 0,13x_2 + 0,10x_3 + 0,085x_4 + 0,12x_5 + 0,12x_6 + 0,09x_7 + 0,08x_8 + 0,075x_9 \geq 2,3 \\ 0,075x_1 + 0,02x_2 + 0,03x_3 + 0,02x_4 + 0,023x_5 + 0,024x_6 + 0,02x_7 + 0,02x_8 + 0,016x_9 \geq 5,3 \\ 0,66x_1 + 0,63x_2 + 0,63x_3 + 0,73x_4 + 0,64x_5 + 0,62x_6 + 0,75x_7 + 0,74x_8 + 0,77x_9 \geq 30,4 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 = 100 \\ x_1 \leq 55 \\ x_2 \geq 2 \\ x_3 \leq 24 \\ x_4 \geq 2 \\ x_5 \geq 2 \\ x_6 \geq 2 \\ x_7 \geq 2 \\ x_8 \geq 1 \\ x_9 \geq 1 \end{cases}$$

В результаті розв'язання задачі встановлено (табл. 4) оптимальну кількість кожного виду сировини в суміші, а також визначено мінімальну ціну цієї композиції (2,71 грн.).

Оскільки композиції, які пропонуються матимуть до-

дом наведені у таблиці 5.

Як бачимо (табл. 6), композиція з мінімальною ціною (27 грн. за кг) міститиме переважно вівсяні та ячмінні пластівці, отримані методом плющення (сумарний вміст 78 %), а також інші зернові компоненти в кількості 6-9 %.

З метою мінімізації вартості фруктових зернових мюслів оберемо (для прикладу розрахунку) добавки з мінімальною ціною: родзинки, сушені яблука та сушені банани. Проведена оптимізація за допомогою симплекс методу дала можливість отримати композицію (табл. 7), що матиме ціну 36,2 грн. за кілограм і калорійність 339 ккал.

Органолептичні показники сумішей, які пропонуються наведено в таблиці 8, а результати розрахунку харчової цінності розробленої композиції за показниками інтегрального скору представлено в таблиці 9.

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що запропонована композиція має не лише високі органолептичні показники, але й досить збалансований хімічний склад. Вживання 100 г таких мюслів покриває добову потре-

Таблиця 4

Оптимальний вміст сировинних компонентів у суміші з мінімальною калорійністю

|                         | Вид пластівців     |                     |                    |                         |                      |                        |                           |                                |                           | Калорійність 100 г, ккал |
|-------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                         | Вівсяні (плющення) | Пшеничні (плющення) | Ячмінні (плющення) | Кукурудзяні (екструзія) | Пшеничні (екструзія) | Пшеничні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні (плющ.+обсм.) | Кукурудзяні кульки (екструзія) | Рисові кульки (екструзія) |                          |
| Кількість пластівців, г | 55                 | 2                   | 23,7               | 2                       | 11,3                 | 2                      | 2                         | 1                              | 1                         | 364                      |

суть високу вартість, для ширшого доступу до сумішей, що розробляються населення з низьким рівнем прибутку поставили за мету створити оптимальну за ціною суміш з 5-ти найдешевших видів пластівців, а вже потім на її основі створювати композиції з додаванням сушених фруктів. Вихідні дані для проведення оптимізації симплекс мето-

бу дорослого населення I групи інтенсивності праці віком 30-39 років (жінки) у білках на 16,4 %, жирах – 6,9 %, вуглеводах – 22,4 %, а також є джерелом фосфору, магнію, заліза, цинку та вітамінів B<sub>1</sub> і B<sub>2</sub>.

Таблиця 5

Вихідні дані для проведення оптимізації складу суміші з 5-ти найдешевших видів сировини за ціною

| Складова       | Вміст одиниць складової в 1 г сировини |                  |                 |                           |                              | Мінімальний вміст складової |
|----------------|--|------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                | Вівсяні (площ.)                        | Пшеничні (площ.) | Ячмінні (площ.) | Кукурудзяні (площ.+обсм.) | Кукурудз. кульки (екструзія) |                             |
| Білки          | 0,13                                   | 0,13             | 0,10            | 0,09                      | 0,08                         | 2,3                         |
| Жири           | 0,075                                  | 0,02             | 0,03            | 0,02                      | 0,02                         | 5,3                         |
| Вуглеводи      | 0,66                                   | 0,63             | 0,63            | 0,75                      | 0,74                         | 30,4                        |
| Ціна 1 г, коп. | 2.59                                   | 2.60             | 2.54            | 3.02                      | 4.12                         | -                           |

Таблиця 6

Оптимальний вміст зернових компонентів у суміші з мінімальною ціною

|                         | Вид пластівців  |                  |                 |                           |                              | Ціна за 100 г, грн. |
|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------|
|                         | Вівсяні (площ.) | Пшеничні (площ.) | Ячмінні (площ.) | Кукурудзяні (площ.+обсм.) | Кукурудз. кульки (екструзія) |                     |
| Кількість пластівців, г | 56              | 9                | 22              | 7                         | 6                            | 2,70                |

Таблиця 7

Оптимальний вміст зернових компонентів та сушених фруктів суміші з мінімальною ціною

|                         | Вид пластівців     |                     |                    |                           |                                |          |               |               | Ціна за 100 г, грн. |
|-------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------------|
|                         | Вівсяні (площення) | Пшеничні (площення) | Ячмінні (площення) | Кукурудзяні (площ.+обсм.) | Кукурудзяні кульки (екструзія) | Родзинки | Яблука сушені | Банани сушені |                     |
| Кількість пластівців, г | 30                 | 5                   | 26                 | 5                         | 5                              | 6        | 5             | 18            | 3,62                |

Таблиця 8

Органолептичні показники готової композиції

| Показники        | Суміш 5-ти видів зернових компонентів з добавками      |                     |                                     |
|------------------|--|---------------------|-------------------------------------|
|                  | Родзинки (6 %)   | Яблука сушені (5 %) | Банани сушені (18 %)                |
| Смак             | приємний, відповідний, виражений достатньо             |                     | приємний, але недостатньо виражений |
| Запах            | приємний, відповідний кожній добавці                   |                     |                                     |
| Розжовуваність   | добра  | добра               | відчуються тверді частинки          |
| Консистенція     | однорідна кашоподібна з відчутними вклученнями фруктів |                     |                                     |
| Зовнішній вигляд | привабливий, з жовтими та коричневими вкрапленнями     |                     |                                     |

Таблиця 9

Інтегральний скор суміші 5-ти видів зернових компонентів з додаванням сушених фруктів

| Харчова речовина, енергетична цінність | Добова потреба | Вміст у 100 г суміші | Інтегральний скор 100 г суміші, % |
|--|----------------|----------------------|-----------------------------------|
| Білки, г                               | 52             | 8,51                 | 16,37                             |
| Жири, г                                | 53             | 3,67                 | 6,92                              |
| Вуглеводи, г                           | 304            | 67,93                | 22,35                             |
| Мінеральні речовини, мг                |                |                      |                                   |
| кальцій                                | 1100           | 13,89                | 1,26                              |
| фосфор                                 | 1200           | 372,53               | 31,04                             |
| магній                                 | 350            | 111,19               | 31,77                             |
| залізо                                 | 17             | 6,56                 | 38,59                             |
| цинк                                   | 12             | 4,43                 | 36,92                             |
| Вітаміни, мг                           |                |                      |                                   |
| В <sub>1</sub>                         | 1,3            | 0,34                 | 34,15                             |
| В <sub>2</sub>                         | 1,6            | 0,42                 | 26,25                             |
| β-каротин                              | 1,8            | 0,09                 | 5,0                               |
| РР                                     | 16             | 2,84                 | 17,75                             |
| С                                      | 70             | 4,92                 | 7,03                              |
| Енергетична цінність, ккал.            | 1900,00        | 338,79               | 17,83                             |



Добова потреба в енергії покривається на 17,83 %. Як бачимо, використання методів лінійного програмування (зокрема, симплекс методу) дає можливість розробляти фруктовозернові композиції з високими органолептичними показниками, низькою вартістю та калорійністю. При цьому досягається легкість варіювання складу компонентів суміші та швидкість розрахунку необхідного їх співвідношення.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Харчування людини [Текст] / Т.М. Димань, М.М. Барановський, М.С. Ківа та ін. // за ред. Т.М. Димань. – Біла Церква: РВІКВ БДАУ, 2005. – 302 с.
  2. Бодров, В.И. Математические методы принятия решений [Текст] / В.И. Бодров, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемыанов // Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – 124 с.
  3. Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0834-99>
- УДК 664.012.3:005.584.1

**БУРДО О.Г., доктор техн. наук, професор,  
МОРДЫНСКИЙ В.П., канд. техн. наук, ассистент, ХАРЕНКО Д.А., аспирант**  
Одесская национальная академия пищевых технологий

## КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ САХАРНЫХ РАСТВОРОВ В АППАРАТАХ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ

В работе рассмотрены проблемы моделирования сопряженных процессов гидродинамики и теплопереноса в аппаратах блочного вымораживания. Учитываются волновые процессы перемешивания при работе акустических высокочастотных генераторов. Результаты экспериментальных исследований обобщены на основе новых чисел подобия – волновых чисел Рейнольдса, Эйлера и Стантона. Дана схема минимизации энергетических затрат в установке блочного вымораживания.

**Ключевые слова:** блочное вымораживание, сахарный раствор, акустические интенсификаторы процесса кристаллизации.

The problems of associated hydrodynamics and heat-and-mass transfer processes modeling in block freezing apparatuses are considered in the paper. Wave processes of mixing under acoustic high-frequency generators action are taken into account. The results of experimental researches are summarized on basis of new similarity numbers – wave Reynolds, Euler, Stanton numbers. The scheme of energy expenditure minimization in block freezing apparatus is given

**Keywords:** sectional freezing, saccharine solution, acoustic enhancers of process of crystallization.

Диффузионные способы получения сока из свеклы являются основными в технологиях сахара. Свекольный экстракт представляет собой поликомпонентную систему, которую разделяют на две группы – сахар и несахар. К несахару относят большую группу растворимых белковых и пектиновых веществ и продуктов их распада, редуцирующий сахар, аминокислоты, амиды кислот, слабые азотистые основания, соли органических и неорганических кислот. В соке содержится 1...3г/л мезги. На практике очистка диффузионного сока проводится обработкой известью (процесс дефекации) и осаждением ее избытка диоксидом углерода (процесс сатурации). Считается, что такая технология отличается простотой технологических операций, относительно низкой стоимостью реагентов. Эффективность очистки достигает 40%, а сахароза при этом практически не разрушается. После отделения сатурационного осадка фильтрованием сок сульфитируют, нагревают и сгущают в выпарных аппаратах до содержания сухих веществ 63...65%. Полученный сироп сульфитируют, фильтруют и направляют на уваривание утфеля I кристаллизации.

Частичное удаление воды из сока можно осуществлять методом вымораживания. Ожидается, что энергетические затраты в технологии снизятся, а низкотемпературные процессы обезвоживания откроют новые возможности в повышении качества продукта. Очевидно, что составом свекольного сока возможно управлять на стадии процесса экстрагирования. Такие же механизмы управления массообменом возможны и в процессе кристаллизации при криоконцен-

трировании сахарного раствора. Зважаючи на те, що використання симплекс методу не потребує глибоких математичних знань і з практичною метою може бути опанований у найкоротші строки, його використання для розв'язування технологічних задач подібного плану виглядає не лише доцільним, але й необхідним.

Поступила 03.2012

трировании сахарного раствора.

**Комбинированные процессы при концентрировании сахарных растворов вымораживанием.** Исследование кинетики льдообразования из сахарных растворов проводилось на экспериментальном стенде [1], основными элементами которого являются холодильная машина и горизонтальный кристаллизатор. Раствор находится в емкости и с помощью механического устройства подвижного стола перемещается по вертикали. Температура в объеме раствора и на поверхности испарителя измеряется с помощью термпар. Горизонтальный кристаллизатор является испарителем холодильной машины, которая состоит из герметичного компрессора и воздушного конденсатора. В опытах измерялась температура раствора и поверхности кристаллизации ( $t_0$ ), объем раствора в емкости, параметры блока льда, концентрации раствора в емкости ( $c$ ). Результаты представлялись в графической форме в виде кинетических зависимостей роста блока льда и концентрации раствора при различных сочетаниях температуры на поверхности и начальных концентраций раствора. Итоговым результатом эксперимента считалась зависимость скорости вымораживания от сочетания исходных параметров. Типичный вид такой зависимости приведен на рис.1. Подробные результаты экспериментального моделирования представлены в [1].

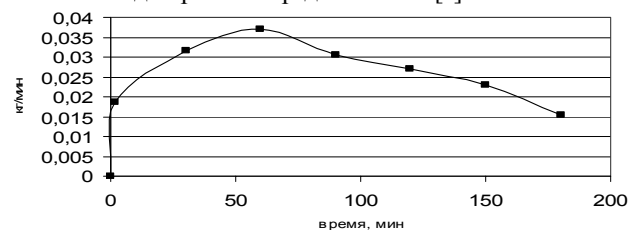


Рис.1. Изменение скорости вымораживания из сахарного раствора ( $c = 30\%$ ,  $t_0 = -20^\circ\text{C}$ )

С понижением температуры поверхности испарителя от  $-12^\circ\text{C}$  до  $-25^\circ\text{C}$  интенсивность вымораживания из 10 % раствора повышается практически вдвое. Однако при температуре  $-36^\circ\text{C}$  блок льда рос менее интенсивно [1]. Вероятно, что приближение к условиям криогидратной температуры эффективность разделения раствора при вымораживании снижалась, и эквивалентная теплопроводность блока льда уменьшалась. Такой же вывод был сделан и на основе анализа структуры блока льда.