

УДК 637.142.2

*Н. В. РЯБОКОНЬ*, аспирант, НУПТ, Киев;

*Т. Г. ОСЬМАК*, канд. техн. наук, ассистент, НУПТ, Киев;

*О. В. КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО*, канд. техн. наук, доц., НУПТ, Киев

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ СГУЩЕННЫХ МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВОВ С ПЛОДОВО-ЯГОДНЫМИ СИРОПАМИ

Соответственно основным принципам оптимизации составлено параметрическую схему технологического процесса охлаждения сгущенных молочных консервов с сахаром и плодово-ягодными наполнителями, определены входящие и выходящие факторы, установлен и обоснован критерий оптимизации. В статье установлена зависимость коэффициента динамической вязкости от массовой доли сухих веществ сгущенной молочно-сахарной основы и плодово-ягодных сиропов.

**Ключевые слова:** сгущенные молочные консервы с сахаром и плодово-ягодными сиропами; критерий оптимизации, охлаждение, массовая доля сухих веществ, температура, динамическая вязкость, оптимальный состав.

**Введение.** Оптимизация - целенаправленная деятельность, заключающаяся в получении наилучших результатов при соответствующих условиях.

Основными принципами оптимизации предусмотрено сочетание последовательности технологических операций, их физических и биохимических закономерностей, технологических режимов, конструктивных параметров машин и аппаратов, основных законов управления и экономики, конъюнктуры рынка, направленных на снижение затрат на производство и получения наибольшей прибыли [3].

При производстве сгущенных молочных консервов на предприятиях повседневно решаются задачи оптимизации, направленные на увеличение выхода продукции, улучшение ее качества, уменьшение производственных потерь, выпуска продукции сбалансированного химического состава и повышения ее биологической ценности.

Согласно условиям системного подхода при создании рациональных технологий, на кафедре технологии молока и молочных продуктов Национального университета пищевых технологий разработана технология сгущенных молочных консервов с сахаром и плодово-ягодными сиропами (СМК с сахаром и ПЯС). Производство СМК с сахаром и ПЯС большая система, которую можно разделить на следующие подсистемы: нормализация смеси, термическая обработка нормализованной смеси (пастеризация, сгущение), охлаждение подсгущенной смеси, внесение плодово-ягодных сиропов (ПЯС), перемешивание, хранения.

Технологический процесс производства СМК с сахаром и ПЯС предусматривает внесения ПЯС в подсгущенную смесь на этапе охлаждения, от параметров, проведения которого во многом зависит качество готового продукта.

Стабильность сохранения качества сгущенного продукта, что обеспечивается неизменными в процессе хранения органолептическим и физико-химическим показателям, возможна только при соблюдении технологических параметров охлаждения сгущенной молочно-сахарной смеси.

Разработанная технология предусматривает смешивание охлажденной до  $(20 \pm 5)^\circ$  сгущенной основы с плодово-ягодным сиропом в вакуум-кристаллизаторе непосредственно перед фасовкой, что гарантирует получение качественного продукта, в котором не происходит дополнительных изменений составляющих компонентов. В этом случае внесенные плодово-ягодные сиропы не теряют своей биологической ценности и вкусовой гаммы, поскольку не подвергаются дополнительному воздействию тепловой обработки.

**Цель работы.** Целью работы является исследование по установлению рациональных параметров процесса охлаждения сгущенной сахарно-молочной смеси с ПЯС.

**Обсуждение результатов.** При системном анализе подсистемы охлаждения, на первом этапе была составлена параметрическая схема технологического процесса, определены входные управляющие и выходные управляемые факторы, выбраны и обоснованы критерий оптимизации. На втором этапе проводились исследования подсистемы охлаждения молочно-сахарной смеси с ПЯС с целью определения

влияния  
рецептурных  
компонентов на  
качество СМК.  
Параметрическая  
схема подсистемы  
охлаждения  
сгущенного  
молочно-сахарной  
смеси с ПЯС  
представлена на  
рис. 1.



Рис. 1 - Параметрическая схема подсистемы охлаждения молочно-сахарной смеси с ПЯС

Анализ технологической системы, показал, что главными управляющими параметрами данной подсистемы являются: массовая доля сухих веществ сгущенной молочно-сахарной смеси, массовая доля сухих веществ плодово-ягодных сиропов, температура охлаждения. Исходным управляемым показателем, что наиболее существенно характеризует данную технологическую операцию и влияет на формирование качественных показателей, есть коэффициент динамической вязкости.

Наиболее полно исследовать как степень влияния каждого из показателей, так и их взаимодействие позволяет проведение ортогонального композиционного планирования второго порядка (ОКП) [1, 5].

Планирование эксперимента предусматривало проведение процедуры выбора числа и условий протекания исследований, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с заданной точностью. Исходными данными для проведения ОКП являются:

$X_{01}$  - массовая доля сухих веществ сгущенной молочно-сахарной смеси 76%, интервал варьирования 2%;

$X_{02}$  - температура охлажденной смеси  $20^\circ\text{C}$ , интервал варьирования  $3^\circ\text{C}$ ;

$X_{03}$  - массовая доля сухих веществ плодово-ягодных сиропов 67%, интервал варьирования 3%.

Количество опытов для ОКП рассчитывается по (1):

$$N = N^0 + 2k + n_0 \quad (1)$$

где  $N$  – количество опытов,  $n_0$  – количество опытов в центре планирования,  $k$  – число факторов,  $N_0$  – число опытов полного факторного эксперимента  $2^k$ .

То есть,  $N = 8 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$ .

Натуральные значения факторов перевели в кодированные переменные по (2):

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

где  $C_i, C_{i0}$  – значение фактора в натуральных величинах, соответственно на верхнем, нижнем и нулевом уровнях;  $\alpha_i$  – интервал варьирования фактора;  $i$  – номер фактора.

Матрица планирования эксперимента в кодированных переменных представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента в кодированных переменных

Номер эксперимента	X1	X2	X3
1.	-1	-1	-1
2.	1	-1	-1
3.	-1	1	-1
4.	1	1	-1
5.	-1	-1	1
6.	1	-1	1
7.	-1	1	1
8.	1	1	1
9.	-1,215	0	0
10.	1,215	0	0
11.	0	-1,215	0
12.	0	1,215	0
13.	0	0	-1,215
14.	0	0	1,215
15.	0	0	0

Проверку однородности полученных данных проведена по (3):

$$S_{xy}^2 = \frac{\sum_{l=1}^m (y_{jl} - \bar{y}_j)^2}{m - 1} \quad (3)$$

Для проверки гипотезы об однородности оценок дисперсий пользовались критерием Корхена, который определяли по (4):

$$Gp = \frac{S_{y \max}^2}{\sum_{j=1}^N S_{xy}^2}, \quad (4)$$

После реализации эксперимента осуществлено статистическую обработку результатов, которая заключалась в получении коэффициентов регрессии математической модели и оценке ее адекватности исследуемого процесса. Известно, что один из факторов больше влияет на изменение состояния системы, чем другой [4]. Поэтому, на основе результатов исследований была поставлена цель - определить коэффициенты регрессии, провести оценку их значимости и проверить адекватность полученной модели.

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитывали по (5) и (6).

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{N} \quad (5)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{N} \quad (6)$$

где  $x_{iu}$  – значение переменной в соответствующем столбце плана эксперимента ( $x_{iu} = \pm 1$ );  $y_u$  – результаты  $u$ -го эксперимента;  $i$  – номер фактора;  $j$  – номер фактора, отличный от  $i$ ;  $u$  – номер варианта эксперимента;  $N$  – общее число опытов.

Коэффициенты уравнения регрессии считаются значимыми, если выполняется следующее неравенство:

$$t_{ip} > t_{табл.}$$

где  $t_{ip}$  – расчетный критерий Стьюдента;  $t_{табл.}$  – табличное значение критерия Стьюдента.

Расчет критерия Стьюдента провели для каждого из коэффициентов регрессии по (7):

$$t_{ip} = \frac{b_i}{S_{bi}} \quad (7)$$

Дисперсию адекватности рассчитывали по формуле:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_u)^2}{f} \quad (8)$$

Адекватность уравнения проверяем по критерию Фишера ( $F_p$ ), который рассчитывали по (9):

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S^2} \quad (9)$$

Результаты эксперимента представлены на рис 2.

				Ycp	(Ycp-Y) <sup>2</sup>	Yp	(Yp-Ycp) <sup>2</sup>			
1	4	4	4	4	0	5.585041	2.512357			
2	2	2	2	2	0	2.001708	2.918073			
3	4	4	4	4	0	5.585041	2.512357			
4	2	2	2	2	0	2.001708	2.918073			
5	4	4	4	4	0	5.406425	1.978034			
6	8	9	9	8.666666	0.666666	8.989759	0.104388			
7	4	5	4	4.333333	0.666666	5.406425	1.151528			
8	10	10	10	10	0	8.989759	1.020586			
9	9	9	9	9	0	8.128274	0.759904			
10	9	9	9	9	0	8.128274	0.759904			
11	6	6	6	6	0	8.128274	4.529553			
12	8	8	8	8	0	8.128274	1.645442			
13	3	3	3	3	0	2.173685	0.682795			
14	6	6	6	6	0	6.310417	9.635924			
15	8	5	9	7.333333	8.666666	8.128274	0.631932			
сумма						10	16.75616			
					S <sub>cp</sub> = .6666667		S <sub>ад</sub> = 1.523287			

$b_0$	8.12827480443	Расчетный Стьюдент	
$b_1$	0.57825722403		2.343809639
$b_2$	0.37404112017		1.516074761
$b_3$	1.70235883295		6.900052221
$b_{12}$	0.125		0.433012701
$b_{13}$	1.79166666666		6.206515393
$b_{23}$	0.20833333333		0.721687836
$b_{11}$	0.41373204457		1.058224721
$b_{22}$	-0.9401671165		2.404716042
$b_{33}$	-2.6325410680		6.733391997

Расчитать коэф.	Показать план	Расчетный Фишер	2.2849305648201
		Табличный Стьюдент	4.3

Рис. 2 - Результаты планирования эксперимента

Как видно, для коэффициентов  $b_2, b_{12}, b_{23}, b_{11}, b_{22}$  условие  $t_{ip} > t_{табл.}$  не выполняется, то есть коэффициенты необходимо считать несущественными [2,5].

Уравнение регрессии в кодированной форме приобрело вид:

$$y = 8,1 + 0,58 \cdot x_1 + 0,37 \cdot x_2 + 1,7 \cdot x_3 + 0,13 \cdot x_1 x_2 + 1,79 \cdot x_1 x_3 + 0,21 \cdot x_2 x_3 + 0,41 \cdot x_1^2 - 0,94 \cdot x_2^2 - 2,63 \cdot x_3^2$$

На рис. 3 - 5 отображены полученные поверхности в соответствии с уравнением регрессии.

Для установки оптимальных параметров охлаждения была составлена программа крутого восхождения по методу Бокса-Уилсона [2, 4] (табл. 2).

Согласно полученным данным, благодаря программе крутого восхождения, проведены дополнительные исследования, в результате которых получены оптимальные значения процесса охлаждения (табл. 3).

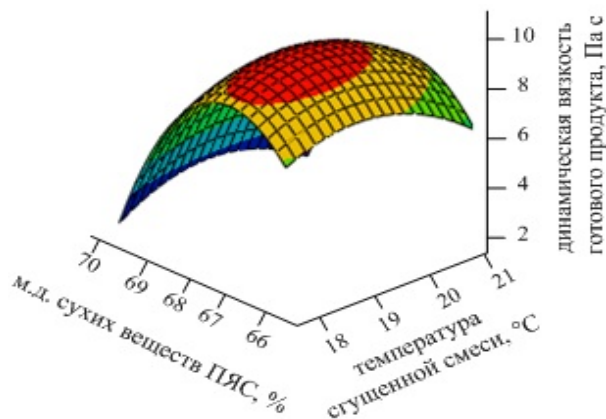


Рис. 3 - График поверхности влияния температуры сгущенной смеси и массовой доли сухих веществ ПЯС на показатель динамической вязкости готового продукта

Таблица 2 – Программа крутого восхождения

Интервал варьирования и уровень фактора	Значение фактора в натуральных сменных	
	$X_1, \%$	$X_3, \%$
Нулевой уровень, $x_{0i}$	76	67
Интервал варьирования, $\Delta x_i$	2	3
Верхний уровень фактора, $x^+$	78	70
Нижний уровень фактора, $x^-$	76	64
Коэффициент уравнения регрессии, $\beta_i$	0,58	1,7
Натуральный масштаб интервалов варьирования, $ b_i  \Delta x_i$	1,16	5,1
Коэффициент пропорциональности, $k_i = \frac{( b_i  \Delta x_i)}{( b_i  \Delta x_i)}$	0,23	1
Шаг изменения значения фактора	0,5	1

Таблица 3 – Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Факторы оптимизации		Критерий оптимизации, $\eta$ , Пас
	$X_1, \%$	$X_3, \%$	
1	76	67	6,7
2	76,5	68	7,3
3	77	69	8,5
4	77,5	70	11,2

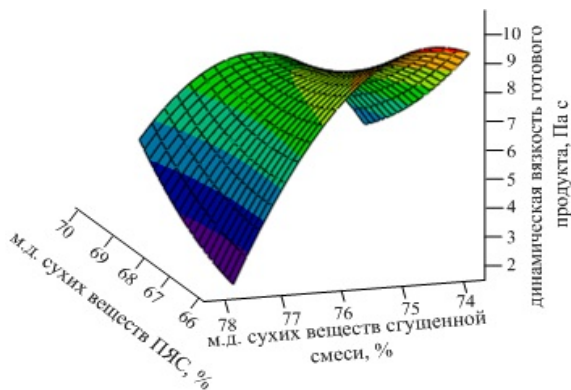


Рис. 4 - График поверхности влияния массовой доли сухих веществ ПЯС и массовой доли сухих веществ сгущенной смеси на показатель динамической вязкости готового продукта

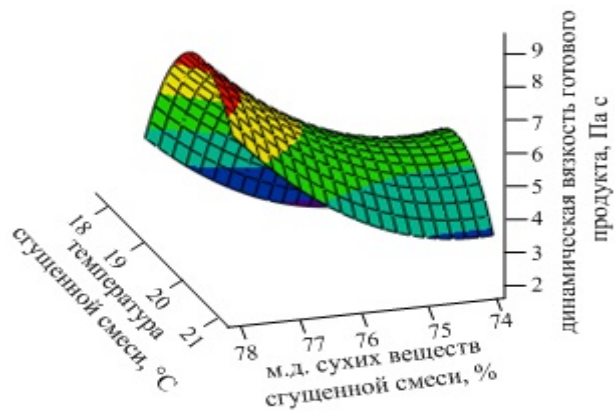


Рис. 5 - График поверхности влияния массовой доли сухих веществ сгущенной смеси и ее температуры на показатель динамической вязкости готового продукта

**Выводы.** Анализ математической модели подтвердил влияние массовой доли сухих веществ сгущенной молочно-сахарной смеси и плодово-ягодных сиропов на коэффициент динамической вязкости. Оптимальный состав смеси: массовая доля сухих веществ сгущенной молочно-сахарной смеси - 77%, плодово-ягодных сиропов - 69% при температуре охлаждения 20 °С.

**Список литературы:** 1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Марков Е. В., Грановский Ю. В. – М.: Наука, 1976. – 278 с. 2. Грачев Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Грачев Ю. П. – М.: Пищевая промышленность, 1979 – 200 с. 3. Ивашкин Ю. А. Моделирование производственных процессов мясной и молочной промышленности / Ивашкина Ю. А., И. И. Протопопов. - М.: ВО Агропромиздат, 1987 – 232 с. 4. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Остапчук Н. В. – Киев, 1981. – 194 с. 5. Федоров В. Г. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности / В. Г. Федоров, А. К. Плесконос. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.

Надійшла до редколегії 02.06.2013

УДК 637.142.2

**Оптимизация процесса охлаждения сгущенных молочных консервов с плодово-ягодными сиропами / Рябоконе Н. В., Осьмак Т. Г., Кочубей-Литвиненко О. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 38 (1011). – С.96-101. – Бібліогр.: 5 назв.**

Відповідно до основних принципів оптимізації складено параметричну схему технологічного процесу охолодження згущених молочних консервів з цукром і плодово-ягідними сиропами, визначено вхідні та вихідні фактори, обрано та обґрунтовано критерій оптимізації. У статті встановлено залежність коефіцієнта динамічної в'язкості від масової частки сухих речовин згущеної молочно-цукрової суміші і плодово-ягідних сиропів.

**Ключові слова:** згущені молочні консерви з цукром і плодово-ягідними сиропами, критерій оптимізації, охолодження, масова частка сухих речовин, температура, динамічна в'язкість, оптимальний склад.

According to the basic principles of optimization parametric scheme it was drawn scheme the process of cooling condensed canned milk with sugar and fruit - berry syrup, it was defined input and output factors, were chosen and reasonably the optimization criterion. In this paper been established the dependence of the coefficient of dynamic viscosity of the mass fraction of solids condensed milk - sugar mixture and fruit syrups.

**Keywords:** canned condensed milk with sugar and fruit-berry syrups, the criterion of optimization, cooling, mass fraction of solids, temperature, dynamic viscosity, optimum composition.