

## Многокритериальная оптимизация процесса отделения корки от мякоти дыни методами экспериментально-статистического анализа

Евгений Б. Медведков, <sup>1</sup>	<a href="mailto:evg_bm@mail.ru">evg_bm@mail.ru</a>
Маржан Е. Кизатова, <sup>1</sup>	<a href="mailto:marzhany87@mail.ru">marzhany87@mail.ru</a>
Александр А. Шевцов, <sup>2</sup>	<a href="mailto:shevalol@rambler.ru">shevalol@rambler.ru</a>
Александр С. Муравьев <sup>2</sup>	<a href="mailto:hnrtrun@mail.ru">hnrtrun@mail.ru</a>

<sup>1</sup> кафедра механизации и автоматизации технологических процессов, Алматинский техн. ун-т, ул. Толе би, 100, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия

**Реферат.** Научная и инновационная деятельность по созданию энергоэффективных процессов при переработке дыни, является актуальной задачей. Одной из трудоёмких операций в данной технологии является отделение корки от мякоти с их последующим целевым применением в создании новых продуктов питания. Недостаточная научно-экспериментальная база этой операции сдерживает разработку высокоэффективных машин для её реализации. В связи с этим предлагается методика проведения эксперимента по отделению корки от дыни на опытной установке и поиск оптимальных режимов её работы методами статистического моделирования. В качестве объектов исследования были взяты дыни позднеспелых сортов: Калайсан, Торлами, Гуляби-сары. Для исследования взаимодействия факторов, влияющих на процесс отделения корки от мякоти дыни, применяли центральное композиционное ротативное униформпланирование и дробный факторный эксперимент. Использование метода планирования эксперимента с обработкой матрицы планирования в программном модуле Design Expert v.10, позволило получить уравнения регрессии, адекватно описывающие реальный процесс. Установлены рациональные интервалы значений отношения частоты вращения стирающего барабана к частоте вращения подающего барабана; величины зазора между подающим барабаном и срезающим ножом; угла заточки срезающего ножа; количества шипов подающего барабана; диаметра отверстий стирающего барабана. Среднеквадратичная ошибка не превышала 12,4%. Графическая интерпретация уравнений регрессии представлена кривыми равных значений и инженерными номограммами, которые позволяют прогнозировать выбор рациональных значений входных факторов по трём критериям: минимальным значениям удельных энергозатрат на процесс срезания, максимальным значениям удельной производительности по мякоти и коэффициенту извлечения мякоти. Полученные данные могут быть использованы при оперативном управлении технологическими параметрами процесса с учётом геометрических размеров дыни, и её неоднородного состава.

**Ключевые слова:** дыня, оптимизация, мякоть дыни, многофакторный анализ

## Multi-criteria optimization of the flesh melons skin separation process by experimental and statistical analysis methods

Yevgenij B. Medvedkov, <sup>1</sup>	<a href="mailto:evg_bm@mail.ru">evg_bm@mail.ru</a>
Marjane E. Kizatova, <sup>1</sup>	<a href="mailto:marzhany87@mail.ru">marzhany87@mail.ru</a>
Aleksandr A. Shevtsov, <sup>2</sup>	<a href="mailto:shevalol@rambler.ru">shevalol@rambler.ru</a>
Aleksandr S. Muravev <sup>2</sup>	<a href="mailto:hnrtrun@mail.ru">hnrtrun@mail.ru</a>

<sup>1</sup> Department of mechanization and automation of manufacturing processes, Almaty technological university, Tole bi, 100, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Department of bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia

**Summary.** Research and innovation activity to create energy-efficient processes in the melon processing, is a significant task. Separation skin from the melon flesh with their subsequent destination application in the creation of new food products is one of the time-consuming operations in this technology. Lack of scientific and experimental base of this operation holding back the development of high-performance machines for its implementation. In this connection, the technique of the experiment on the separation of the skins of melons in the pilot plant and the search for optimal regimes of its work methods by statistical modeling is offered. The late-ripening species of melon: Kalaysan, Thorlami, Gulab-sary are objects of study. Interaction of factors influencing on separating the melon skins process is carried out. A central composite rotatable design and fractional factorial experiment was used. Using the method of experimental design with treatment planning template in Design Expert v.10 software yielded a regression equations that adequately describe the actual process. Rational intervals input factors values are established: the ratio of the rotational speed of the drum to the abrasive supply roll rotational frequency; the gap between the supply drum and the shearing knife; shearing blade sharpening angle; the number of feed drum spikes; abrading drum orifices diameter. The mean square error does not exceed 12.4%. Regression equations graphic interpretation is presented by scatter plots and engineering nomograms that can be predictive of a choice of rational values of the input factors for three optimization criteria: minimal specific energy consumption in the process of cutting values, maximal specific performance by the pulp and pulp extraction ratio values. Obtained data can be used for the operational management of the process technological parameters, taking into account the geometrical dimensions of the melon and its inhomogeneous structure.

**Keywords:** melon, optimization, melon pulp, response surface analysis

Для цитирования

Медведков Е. Б., Кизатова М. Е., Шевцов А. А., Муравьев А. С. Многокритериальная оптимизация процесса отделения корки от мякоти дыни методами экспериментально-статистического анализа // Вестник ВГУИИ. 2016. № 2. С. 28–36. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-28-36

For citation

Medvedkov Y. B., Kizatova M. E., Shevtsov A. A., Muravev A. S. Multi-criteria optimization of the flesh melons skin separation process by experimental and statistical analysis methods. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no 2 pp.28–36. (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-2-28-36

## Введение

Структурная перестройка экономики и активизация инновационной и инвестиционной деятельности являются стратегическими факторами роста и играют фундаментальную роль в разработке прорывных технологий и оборудования в перерабатывающих отраслях промышленности. Реализация программ по переводу пищевой промышленности на наукоёмкий тип технико-технологического развития опирается на новые научные достижения и их практическую реализацию. Научная и инновационная деятельность по созданию энергоэффективных процессов при переработке бахчевых культур, в том числе дыни, является актуальной задачей [1–2]. Одной из трудоёмких операций в разветвлённой технологии обработки дынь является отделение корки от мякоти с их последующим целевым применением в создании новых продуктов питания. Недостаточная научно-экспериментальная база этой технологической операции сдерживает разработку высокоэффективных машин для её реализации. В связи с этим предлагается методика проведения эксперимента по отделению корки от дыни на опытной установке и поиск оптимальных режимов её работы методами статистического моделирования.

## 1.1 Материалы и методы

Экспериментальная установка для отделения корки от дыни (рисунок 1) содержит: истирающий барабан, подающий барабан с шипами, срезающий нож приёмный жёлоб, жёлоб для отвода мякоти, приводы истирающего и подающего барабанов, станину.

Предварительно подготовленные дольки дыни подаются через приёмный жёлоб в рабочую зону, где посредством шипов подающего барабана, втягиваются в зазор между барабанами. Шипы прокалывают корку без повреждения, выполняя функцию её перемещения. При этом мякоть дыни через отверстия истирающего барабана попадает в жёлоб для мякоти и выводится из установки, а срезающий нож срезает оставшуюся часть мякоти с внутренней поверхности истирающего барабана в жёлоб для отвода мякоти. Освободившаяся от мякоти корка выводится в качестве побочного продукта.

В качестве объектов исследования были взяты дыни следующих позднеспелых сортов: Калайсан, Торлами, Гуляби-сары, так как именно позднеспелые сорта дыни используются для переработки и выработки из них различных продуктов длительного хранения согласно классификации сортов дыни, предложенной А. М. Адмаевой [3–4].



Рисунок 1. Экспериментальная установка для отделения корки от дыни

Figure 1. Experimental installation to separate the skin from melon

Кроме того, эти сорта дыни имеют высокую степень лёжкости, по сравнению с раннеспелыми и позднеспелыми сортами, что позволяет продлить сроки переработки сырья, а следовательно, повысить эффективность производительности линии по переработке дыни. Именно такие сорта имеют овально-удлинённую форму, позволяющую в максимальной степени механизировать процесс очистки дыни с одновременной её резкой на куски заданного размера.

## 1.2 Оптимизация процесса отделения мякоти дыни от корки

Осуществили поиск режимов для исследования взаимодействия различных факторов, влияющих на процесс срезания корки дыни, для этого применили математические методы планирования эксперимента. Математическое описание этого процесса может быть получено эмпирически. При этом его математическая модель имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов.

Математическая модель изучаемого процесса представляется в виде полинома второй степени:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^n b_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

где  $b_0$  – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на средних, «нулевых» уровнях;  $X$  – масштабированные значения факторов, которые определяют функцию отклика и поддаются варьированию;  $b_{ij}$  – коэффициенты двухфакторных взаимодействий,

показывающие, насколько изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого;  $b_{ij}$  – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов;  $i, j$  – индексы факторов;  $n$  – число факторов в матрице планирования.

1.2.1 Обоснование выбора пределов изменения входных факторов

В качестве основных факторов, влияющих на процесс срезания корки дыни, были выбраны:

$X_1$  – отношение частоты вращения истирающего барабана к частоте вращения подающего барабана,  $c^{-1}/c^{-1}$ ;

$X_2$  – величина рабочего зазора между подающим барабаном и срезающим ножом, мм;

$X_3$  – угол заточки срезающего ножа, град;

$X_4$  – количество шипов подающего барабана в зоне захвата, шт.;

$X_5$  – диаметр отверстий истирающего барабана, мм.

Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Пределы изменения входных факторов

Table 1.

Range of input factors variation

Условия планирования Planning conditions	Кодированное значение Coded value	Пределы изменения факторов Range of input factors variation				
		X1, $c^{-1}/c^{-1}$ $s^{-1}/s^{-1}$	X2, мм mm	X3, град deg	X4, шт. psc	X5, мм mm
Основной уровень Center point	0	10,0	5	40	6	4
Верхний уровень Low level	+1	12,5	7	55	7	5
Нижний уровень High level	-1	7,5	3	25	5	3
Верхняя «звёздная точка» Top axial point	+2	15,0	9	70	8	6
Нижняя «звёздная точка» Bottom axial point	-2	5,0	1	10	4	2

Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями процесса отделения корки от дыни [5], а также технико-экономическими показателями.

Критериями оценки влияния различных факторов на процесс срезания были выбраны:

$Y_1$  – удельные энергозатраты на процесс срезания, Вт/кг;

$Y_2$  – удельная производительность по мякоти, г/с;

$Y_3$  – коэффициент извлечения мякоти (отношение количества извлекаемой мякоти к общей массе дольки), %.

Программа исследования была заложена в матрицу планирования эксперимента (таблица 2).

Для исследования применили центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование и дробный факторный эксперимент ДФЭ  $2^{5-1}$ . Число опытов в матрице планирования пяти входных параметров равно 32.

1.2.2 Уравнения регрессии и их анализ

После обработки матрицы планирования в программном модуле Design Expert v.10 [5] были получены следующие уравнения регрессии:

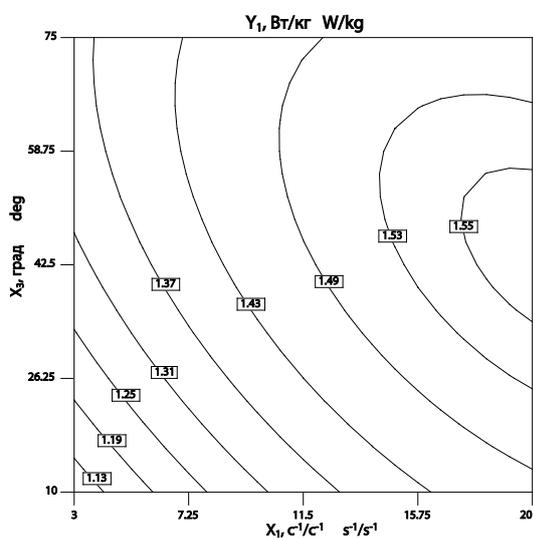
$$Y_1 = 1,45 + 0,046X_1 - 0,041X_2 + 0,043X_3 + 0,035X_4 - 0,09X_5 - 5,00E-03 \cdot X_1^2 - 0,113X_2^2 - 0,150X_3^2 - 0,125X_4^2 - 0,127X_5^2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 69,67 + 5,54X_1 - 2,21X_2 - 2,29X_3 + 2,04X_4 + 1,96X_5 - 0,69X_2X_3 + 0,56X_2X_4 - 1,06X_3X_5 - 0,81X_4X_5 + 0,08X_1^2 + 0,20X_2^2 + 0,20X_3^2 - 0,80X_4^2 + 0,58X_5^2 \quad (3)$$

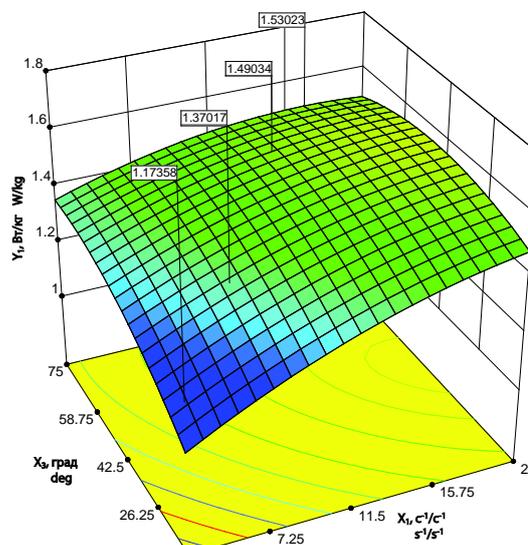
$$Y_3 = 89,86 + 1,25X_1 - 2,67X_2 - 1,33X_3 + 1,17X_4 - 1,58X_5 - 0,25X_1X_2 - 1,25X_1X_3 - 1,00X_1X_5 + 1,25X_2X_3 - 0,62X_2X_4 + 0,75X_2X_5 - 0,87X_3X_4 - 0,24X_2^2 - 0,25X_3^2 - 0,86X_5^2 \quad (4)$$

Графическая интерпретация уравнений (2)–(4) в виде кривых равных значений и поверхности отклика приведена на рисунках 2–4. Установлено влияние входных факторов  $X_i, i = (1,5)$

на выходные  $Y_j, j = (1,3)$  (рисунки 5–7). Номограммы, представляющие практический интерес, представлены на рисунках 8–9.



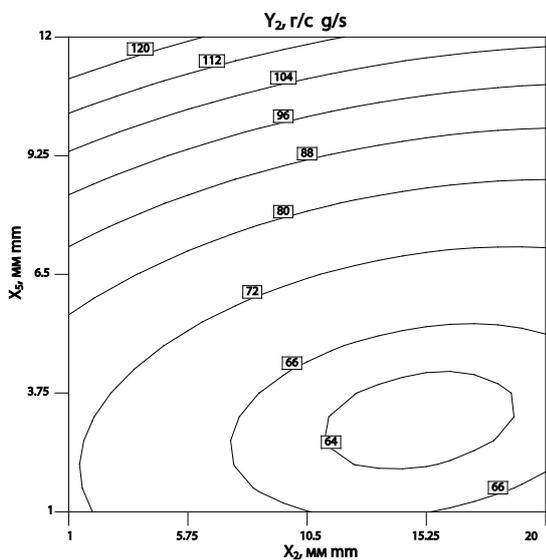
(a)



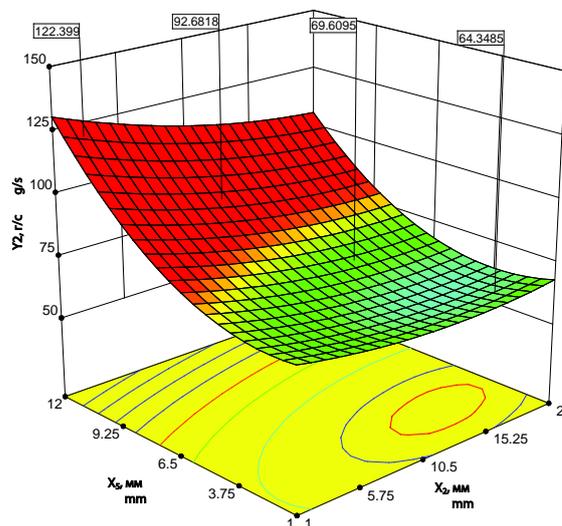
(b)

Рисунок 2. Кривые равных значений (a) и поверхность отклика (b) зависимости удельных энергозатрат на процесс срезания  $Y_1$ , Вт/кг от: отношения частоты вращения истирающего барабана к частоте вращения подающего барабана  $X_1$ ,  $c^{-1}/c^{-1}$  и угла заточки срезающего ножа  $X_3$ , град

Figure 2. Contour plot (a) and surface response (b) depending on the specific energy consumption in the process of cutting  $Y_1$ , W/kg by: relationships abrasive drum speed to speed the delivery drum  $X_1$ ,  $s^{-1}/s^{-1}$  and the sharpening angle of the shearing knife  $X_3$ , deg



(a)



(b)

Рисунок 3. Кривые равных значений (a) и поверхность отклика (b) зависимости удельной производительности по мякоти  $Y_2$ , кг/с от: величины рабочего зазора между подающим барабаном и срезающим ножом  $X_2$ , мм и диаметром отверстий истирающего барабана  $X_5$ , мм

Figure 3. Contour plot (a) and the response surface (b) depending on the specific performance of the pulp  $Y_2$ , kg/s of: working gap between the supply drum and the shearing knife  $X_2$ , mm and abrading drum orifices diameter  $X_5$ , mm

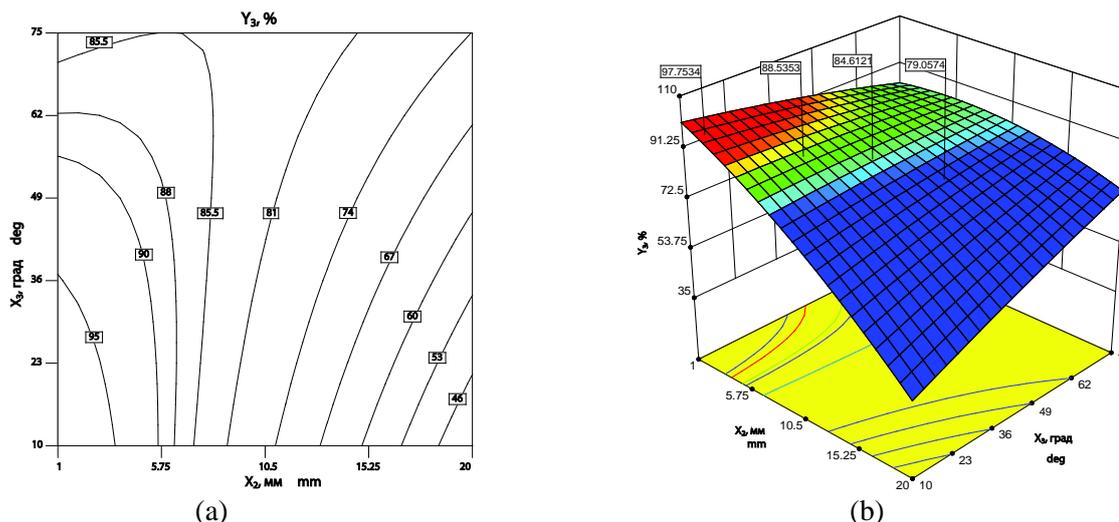


Рисунок 4. Кривые равных значений (а) и поверхность отклика (б) зависимости коэффициента извлечения мякоти  $Y_3$ , % от: величины рабочего зазора между подающим барабаном и срезающим ножом  $X_2$ , мм и угла заточки срезающего ножа  $X_3$ , град

Figure 4. Contour plot (a) and the response surface (b) depending on the pulp extraction ratio  $Y_3$ , % of: working gap between the supply drum and the shearing knife  $X_2$ , mm and shearing knife sharpening angle  $X_3$ , deg

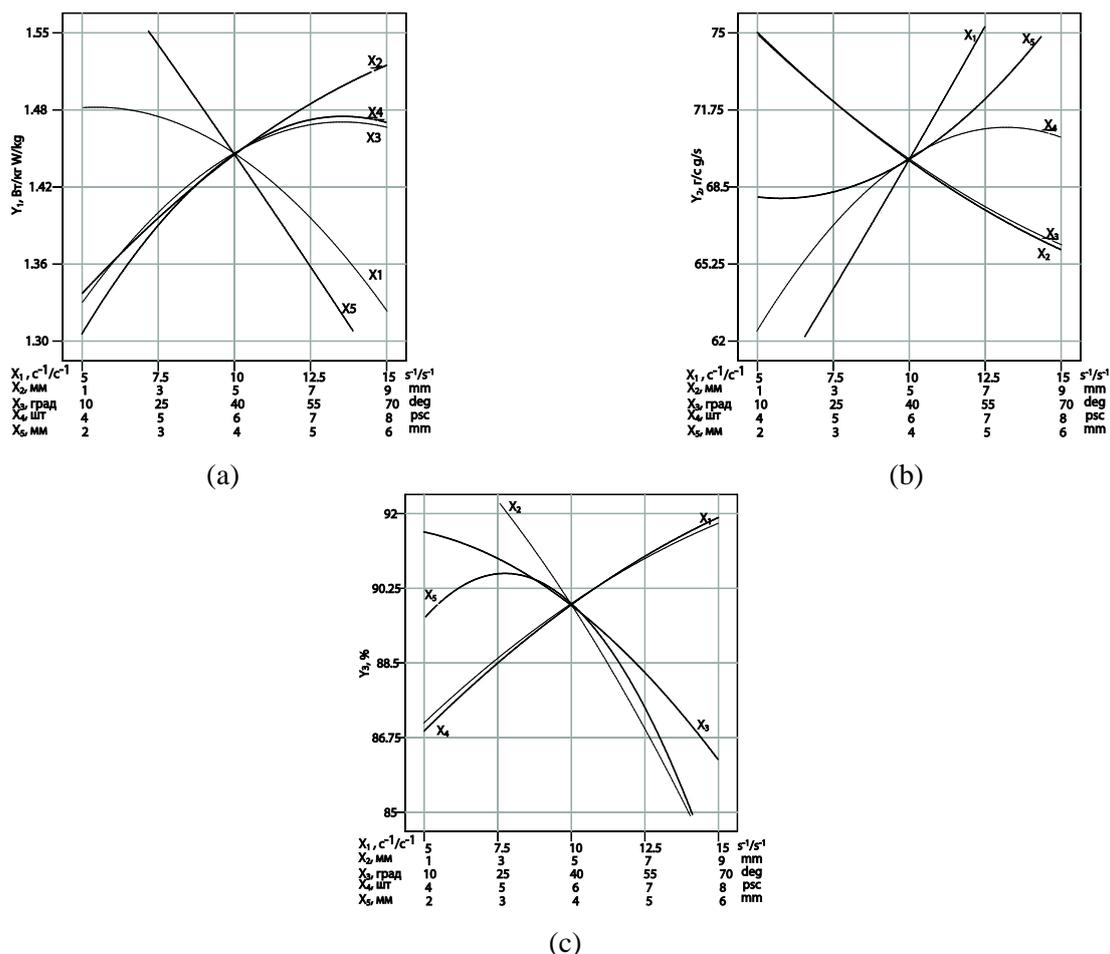


Рисунок 5. Влияние удельных энергозатрат на процесс срезания  $Y_1$ , Вт/кг (а), удельной производительности по мякоти  $Y_2$ , кг/с (б), коэффициента извлечения мякоти  $Y_3$ , % (с) от входных факторов  $X_i$

Figure 5. Impact of the input factors  $X_i$  on specific energy consumption in the process of cutting,  $Y_1$  W/kg (a), pulp density performance  $Y_2$ , kg/s (b) and pulp recovery ratio  $Y_3$  % (c)

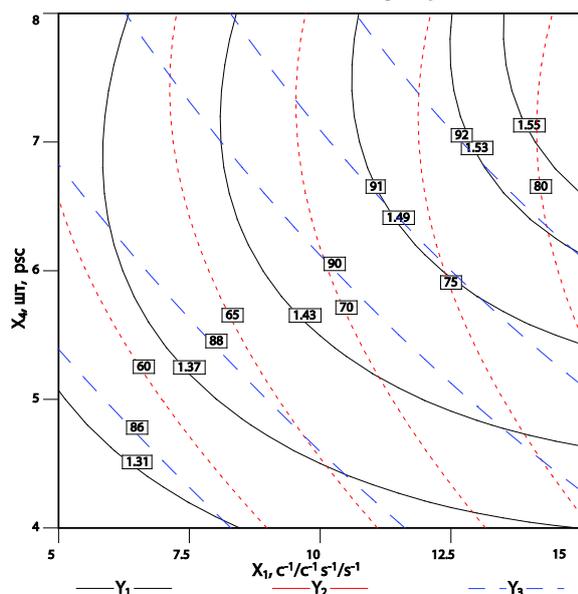


Рисунок 6. Номограмма для определения зависимости отношения частоты вращения истирающего барабана к частоте вращения подающего барабана ( $X_1$ ),  $c^{-1}/c^{-1}$  и количества шипов подающего барабана в зоне захвата ( $X_4$ ), шт. от выходных факторов  $Y_j$

Figure 6. The nomogram for the determination of the abrasive drum speed to the feed speed of the drum ratio ( $X_1$ ),  $s^{-1}/s^{-1}$  and the amount of feed drum spikes in grip zone ( $X_4$ ), psc by output factors  $Y_j$

### 1.2.3 Поиск оптимальных режимных параметров процесса

Нахождение оптимума и решения задачи оптимизации проводили с использованием функции желательности  $d$  [...], при этом каждый  $Y_i$  переводили в  $d_i \in \{0...1\}$ . Если  $Y_i$  определяет оптимум целевой функции (максимальное или минимальное значение), или же оптимальное значение является заданным, обусловленным экономической целесообразностью, то  $d_i = 1$ . В случае когда оптимальное значение не соответствует интервалу заданных значений  $Y_j \notin \{0...1\}$ , то  $d_i = 0$ . После определения  $d_i$  по каждому из  $Y_j$ , определяли максимальное значение функции желательности по формуле:

$$D = (d_1 d_2 \dots d_j)^{(1/j)}, \quad (5)$$

По сравнительной оценке множества полученных значений функции желательности  $D$  выбирали оптимальное (единственное) решение

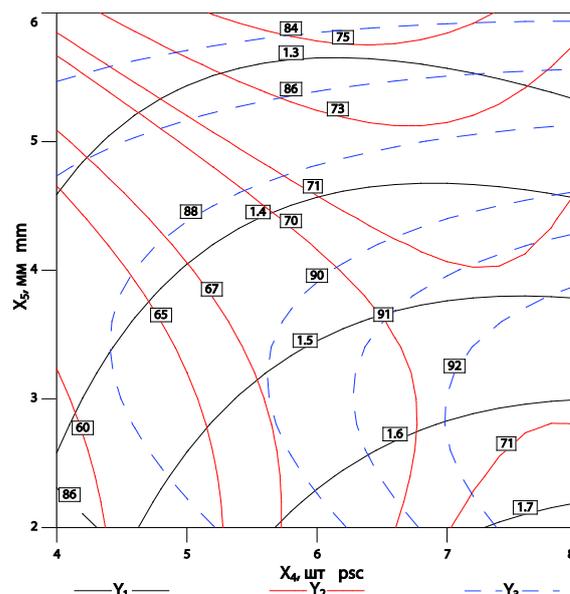


Рисунок 7. Номограмма для определения зависимости количества шипов подающего барабана в зоне захвата ( $X_4$ ), шт. и диаметр отверстий истирающего барабана ( $X_5$ ), мм от выходных факторов  $Y_j$

Figure 7. The nomogram for determining of the amount of feed drum spikes in grip zone ( $X_4$ ), psc and abrasive drum orifices diameter ( $X_5$ ), mm by output factors  $Y_j$

многокритериальной задачи оптимизации в области изменения входных факторов с точки зрения факторов выходной информации, по  $Y_j$ .

Функцию желательности  $d$  при решении задачи оптимизации делили на три частных случая:

1. Выходной фактор стремится к максимальному значению:

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \leq y \leq T \\ 1 & y > T \end{cases}, \quad (6)$$

где  $T$  – целевое значение;  $U, L$  – нижняя и верхняя границы интервала выходного фактора соответственно;  $r$  – показатель «влияния» функции желательности (весовой коэффициент), при  $r=1$  –  $d$  является линейной функцией;  $r > 1$  оказывает большее влияние на смещение  $d$  в сторону целевого значения;  $0 < r < 1$  – менее важная степень влияния.

2. Выходной фактор стремится к минимальному значению:

$$d = \begin{cases} 1 & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \leq y \leq U, \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (7)$$

3. Выходной фактор стремится к заданному числовому значению:

$$d = \begin{cases} 1 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{U-L}\right)^{r_1} & L \geq y \geq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^{r_2} & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases}, \quad (8)$$

Многопараметрическая задача оптимизации была сформулирована следующим образом: найти такие значения режимных параметров процесса отделения мякоти дыни от корки, которые бы доставляли минимум энергозатрат, максимум производительности по мякоти и максимум коэффициента извлечения мякоти из дольки при ограничениях на входные параметры (таблица 1):

Так как выбранные критерии оптимизации одинаково важны и носят характер равнозначности, то показатели их «влияния» на функцию желательности принимали равными единице,  $r = 1$ .

Из массива решений  $D$  выбраны значения  $D \rightarrow 1$  (рисунок 8), по которым установлены рациональные интервалы значений входных факторов:  $X_1 = 8 \dots 10 \text{ c}^{-1}/\text{c}^{-1}$ ;  $X_2 = 1 \dots 3 \text{ мм}$ ;  $X_3 = 11 \dots 13 \text{ град}$ ;  $X_4 = 6 \dots 7 \text{ шт.}$ ;  $X_5 = 5 \dots 6 \text{ мм}$ .

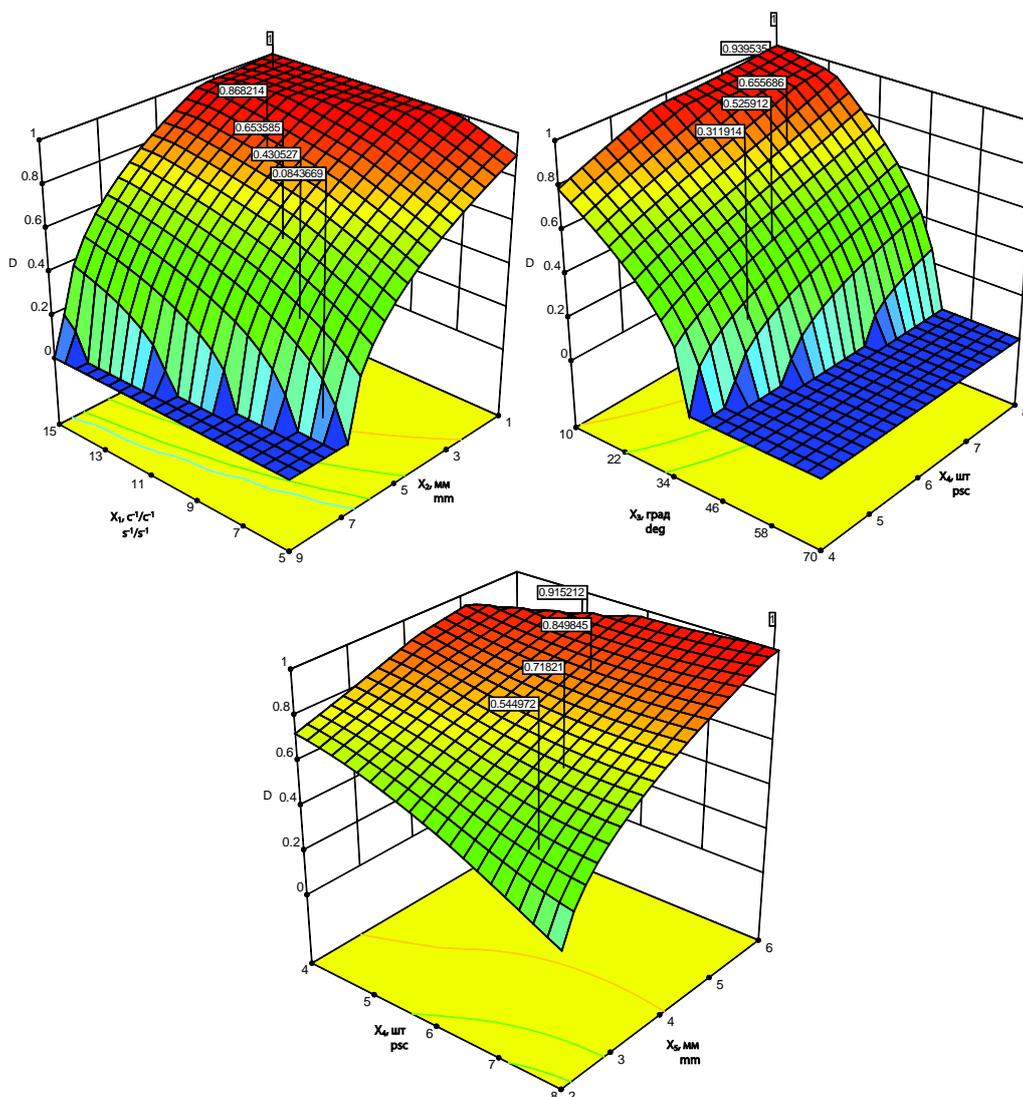


Рисунок 8. Определение функции желательности  $D$  для заданных критериев оптимизации  
 Figure 8. Determination of the desirability function  $D$  for the specified criteria optimization

Для проверки правильности полученных результатов был поставлен ряд параллельных экспериментов. Полученные результаты попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества. Среднеквадратичная ошибка не превышала 12,4%.

### **Заключение**

Использование метода планирования эксперимента с обработкой матрицы планирования в программном модуле Design Expert v.10 позволило получить уравнения регрессии, адекватно описывающие реальный процесс.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Sannikova T. A. et al. Getting candied fruits from melon crops // Technologies for the food and processing industry of AIC-healthy food. 2015. № 26 P. 45–49.
- 2 Villanueva M. J., Tenorio M. D., Esteban M. A., Mendoza M. C. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits // Food Chemistry. 2004. V. 87. № 2. P. 179-185. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.009>
- 3 Медведков Е. Б., Кизатова М. Е., Адмаева А. М., Азимова С. Т. и др. Содержание и структура пектина в плодах дыни // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. 2015. № 21. С. 103-107.
- 4 Медведков Е. Б., Кизатова М. Е., Адмаева А. М., Байболова Л. К. и др. Упруго-пластические характеристики мякоти и мезги дыни при сжатии // Достижения вузовской науки. 2015. № 19 С. 99-104.
- 5 Пеленко В. В., Зуев Н. А., Ольшевский Р. Г., Иваненко В. П. и др. Оценка зависимости производительности измельчителей мяса от их конструкции и физико-механических свойств сырья. // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 9–15.
- 6 Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Wiley (Wiley Series in Probability and Statistics), 2009. 680 p.

Их графическая интерпретация представлена кривыми равных значений и инженерными номограммами, которые позволяют прогнозировать выбор рациональных значений входных факторов по трём критериям оптимизации. Полученные данные могут быть использованы при оперативном управлении технологическими параметрами этого процесса с учётом их двухсторонних ограничений в условиях случайных возмущений со стороны как геометрических размеров дыни, так и её неоднородного состава.

### **REFERENCES**

- 1 Sannikova T. A. et al. Getting candied fruits from melon crops. Technologies for the food and processing industry of AIC-healthy food. 2015, no 26, pp.45–49.
- 2 Villanueva M. J., Tenorio M. D., Esteban M. A., Mendoza M. C. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. Food Chemistry. 2004, vol. 87, no 2, pp. 179-185. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.009>
- 3 Medvedkov E. B., Kizatova M. E., Admaeva A. M., Azimova S. T. et al. The content and structure of the pectin in the fruit melon. *Novoe slovo v nauke i praktike: gipotezy i aprobatsiya rezultatov issledovaniy*. [New word in the science and practice: testing hypotheses and research results], 2015, no 21, pp. 103-107. (in Russian).
- 4 Medvedkov E. B., Kizatova M. E., Admaeva A. M., Baibolova L. K. et al., Elasto-plastic characteristics of pulp and melon mash compressive. *Dostizheniya vuzovskoi nauki*. [Achievements university science], 2015, no 19, pp. 99-104. (in Russian).
- 5 Pelenko V. V., Zuev N. A., Olszewsky R. G., Ivanenko V. P. et al. Evaluation of meat grinder performance depending on their design and physical and mechanical properties of raw-material. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. [Proceedings of the International Academy of Refrigeration] 2015, no. 1, pp. 9–15. (in Russian).
- 6 Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Wiley (Wiley Series in Probability and Statistics), 2009, 680 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Евгений Б. Медведков** д. т. н., профессор, кафедра механизации и автоматизации технологических процессов, Алматинский техн. ун-т, ул. Толе би, 100, г. Алматы, Казахстан, evg\_bm@mail.ru

**Маржан Е. Кизатова** докторант PhD, кафедра механизации и автоматизации технологических процессов, Алматинский техн. ун-т, ул. Толе би, 100, г. Алматы, Казахстан, marzhany87@mail.ru

**Александр А. Шевцов** д. т. н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия, shevalol@rambler.ru

**Александр С. Муравьев** аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия, hntrun@mail.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Евгений Б. Медведков** предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

**Маржан Е. Кизатова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчеты

**Александр А. Шевцов** консультация в ходе исследования

**Александр С. Муравьев** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ПОСТУПИЛА 15.04.2016**

**ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.05.2016**

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Yevgeniy B. Medvedkov** D. t. sc., professor, mechanization and automation of manufacturing processes department, Almaty technological university, Tole bi, 100, Almaty, Kazakhstan, evg\_bm@mail.ru

**Marzhan E. Kizatova** Ph. D. student, mechanization and automation of manufacturing processes department, Almaty technological university, Tole bi, 100, Almaty, Kazakhstan, marzhany87@mail.ru

**Aleksandr A. Shevtsov** D. t. sc., professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, she-valol@rambler.ru

**Aleksandr S. Muravev** graduate student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, hntrun@mail.ru

#### CONTRIBUTION

**Evgenij B. Medvedkov** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

**Marjane E. Kizatova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Aleksandr A. Shevtsov** consultation during the study

**Aleksandr S. Muravev** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

**RECEIVED 4.15.2016**

**ACCEPTED 5.16.2016**