

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАЛЫВАНИЯ
КОЖУРЫ ДЫНИ**

**ҚАУЫН ҚАБЫҒЫН ТҮЙРЕУ ҮДЕРІСІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
MATHEMATICAL MODELING OF THE PRICKING PROCESS OF MELON RIND**

Е.Б. МЕДВЕДКОВ, И.Г. АНДРЕЕВ
E.B. MEDVEDKOV, I.G. ANDREYEV

(Алматинский технологический университет)
(Алматы технологиялық университеті)
(Almaty Technological University)
E-mail: evg_bm@mail.ru

Статья посвящена изучению процесса прокалывания кожуры дыни с целью расчета конструкции и создания установки для очистки дыни от кожуры и ее нарезки на куски заданного размера, отличающейся простотой изготовления, малой энерго- и материалоемкостью и, следовательно, низкой себестоимостью. Методом ортогонального композиционного планирования эксперимента была построена математическая модель процесса прокалывания кожуры дыни и получено уравнение регрессии, адекватно описывающее эксперимент. Результаты проведенных исследований процесса прокалывания кожуры дыни легли в основу расчета конструкции устройства для очистки дыни от кожуры и ее резки на куски заданного размера. Опытный образец машины был изготовлен и апробирован в условиях ТОО «Фруктоконсервный завод «Южный»».

Мақала қарапайым қондырғылардан ерекшеленетін, энергия және затсығымдылығы аз және сондай-ақ өзіндік құны төмен болатындай қауынды қабығынан тазалау қондырғысын жасау, құрылымын есептеу және оны берілген өлшеммен кесу мақсатында қауын қабығын тесу үрдісін зерттеуге арналған. Тәжірибені ортогональді композициялық жоспарлау әдісімен қауын қабығын тесу үрдісінің математикалық үлгісі тұрғызылды және тәжірибені сәйкесінше сипаттайтын регрессия теңдеуі алынды. Қауын қабығын тесу үрдісін зерттеу арқылы жүргізілген нәтижелер қауынды қабығынан тазалау және оны берілген өлшемдегі бөліктерге кесуге арналған қондырғы құрылымын есептеуге негізделген. Машинаның тәжірибелік үлгісі ЖШС «Фруктоконсервный завод «Южный»» дайындалды және сыналды.

The article studies the process of pricking of melon rind in order to calculate creation of device for melon peeling from the rind and cut it into pieces of a given size. The main features of the device: easy to manufacture, has low energy and material consumption and therefore low cost. A mathematical model of the process of pricking of melon rind and regression equations adequately describing the experiment was made by the method of orthogonal composite experimental design. The results of the research process of pricking of melon rind formed the basis for the calculation of the device for the treatment of melon rind and cut it into pieces of a given size. The prototype of machine was manufactured and tested in terms of "Canning plant" Yuzhnyi "LLP.

Ключевые слова: процесс, математическая модель, устройство, дыня, сила прокалывания.

Негізгі сөздер: үрдіс, математикалық үлгі, құрылғы, қауын, тесу күші.

Key words: process, the mathematical model, device, the melon, the power of pricking.

Введение

В настоящее время одним из важных направлений развития перерабатывающей промышленности Республики Казахстан

является максимальное удовлетворение потребностей населения в качественных и безопасных продуктах с высокими пищевыми достоинствами на основе использования

различных пищевых добавок растительного происхождения, а также нетрадиционных видов сырья и продуктов их переработки, в том числе с использованием бахчевых культур.

Бахчевые культуры, в частности дыня, являются богатым источником многих жизненно важных для организма человека пищевых веществ, прежде всего витаминов, углеводов и минеральных веществ.

Однако, как показывает анализ внутреннего рынка потребления плодоовощных консервов в республике, на прилавках магазинов практически отсутствует продукция переработки бахчевых культур отечественного производства. Одной из основных причин этого является то, что предприятия не заинтересованы перерабатывать бахчевые культуры, в частности, дыню, в связи с большой трудоемкостью процесса, обусловленной низкой его механизацией (отсутствием универсальных машин для очитки кожуры и резки).

Поэтому проблема механизации операций первичной переработки дыни является на сегодняшний день актуальной задачей.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования выбраны плоды дыни, знание механических свойств которых необходимо для разработки конструкции машины для снятия кожуры и нарезки на куски плодов дыни, обладающей малой энерго- и материалоемкостью, простотой конструкции и эксплуатации.

С целью создания методики расчета машины нами экспериментально был изучен процесс прокалывания кожуры дыни, так как этот процесс является малоизученным в отличие от процесса резки дыни [1,2] и лежит в основе конструкционных расчетов создаваемой машины.

Результаты и их обсуждение

Для установления влияния различных факторов на процесс прокалывания кожуры дыни использовали метод математического моделирования. При этом использовали ортогональное композиционное планирование эксперимента. Данный метод применяется с учетом результатов полного факторного эксперимента с последующим проведением опы-

тов в дополнительных точках, соответствующих ортогональному плану (ортогональное планирование) [3].

В результате предварительных экспериментов установлено, что основными факторами, влияющими на процесс прокалывания, являются угол заточки рабочего инструмента (шипа) и диаметр шипа. Остальные факторы оказывают несущественное влияние на процесс прокалывания.

При исследовании влияния факторов были выбраны следующие пределы факторов: угол заточки рабочего инструмента (шипа) – 15 - 45°, диаметр шипа – 2 - 4 мм.

Для составления матрицы ортогонального планирования определены факторы в натуральном масштабе:

- для угла заточки рабочего органа:

$$z_1^0 = \frac{15+45}{2} = 30; \Delta z_1 = \frac{45-15}{2} = 15;$$

- для диаметра шипа:

$$z_2^0 = \frac{4+2}{2} = 3; \Delta z_2 = \frac{4-2}{2} = 1;$$

Для двухфакторного эксперимента уравнение регрессии имеет вид [4]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, (1)$$

где: b_0 – свободный член,

b_1, b_2 – линейные коэффициенты;

b_{12} – коэффициенты парного взаимодействия;

b_{11}, b_{22} – квадратичные коэффициенты;

x_1, x_2 – измеряемые и управляемые параметры.

Число опытов в данном случае рассчитывается по формуле:

$$N = N_0 + 2k + n_0, (2)$$

где: N_0 – число опытов полного факторного эксперимента $2k$;

k – число факторов;

n_0 – количество опытов в центре плана.

$N = 9$

Матрица ортогонального планирования представлена в таблице 1, матрица расчета коэффициентов регрессии – в таблице 2.

Таблица 1 – Матрица ортогонального планирования эксперимента для различных угла заточки и диаметра шипа

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе координат		
	z_1	z_2	x_1	x_2	x_0
1	2	15	-1	-1	1
2	4	15	1	-1	1

3	2	45	-1	1	1
4	4	45	1	1	1
5	3	30	0	0	1
6	4	30	1	0	1
7	2	30	-1	0	1
8	3	45	0	1	1
9	3	15	0	-1	1
сумма			6	6	9

Таблица 2 - Матрица расчета коэффициентов регрессии (расширенная матрица ортогонального планирования)

№ опыта	x ₀	x ₁	x ₂	(x ₁) ²	(x ₂) ²	x ₁ x ₂	y
1	1	-1	-1	0,33	0,33	1	6,25
2	1	1	-1	0,33	0,33	-1	9,72
3	1	-1	1	0,33	0,33	-1	15,65
4	1	1	1	0,33	0,33	1	33,78
5	1	0	0	-0,67	-0,67	0	16,44
6	1	1	0	0,33	-0,67	0	21,67
7	1	-1	0	0,33	-0,67	0	10,58
8	1	0	1	-0,67	0,33	0	25,12
9	1	0	-1	-0,67	0,33	0	8,25
сумма	9	6	6	2	2	4	147,46

При этом значения коэффициентов (x₁)² и (x₂)² рассчитываем по формуле [5]:

$$(x_1)^2 = x_1^2 - \frac{\sum x_1}{N}, (x_2)^2 = x_2^2 - \frac{\sum x_2}{N}, (3)$$

$$b_1 = \frac{\sum(x_1 y)}{6}, b_2 = \frac{\sum(x_2 y)}{6}, b_{11} = \frac{\sum(x_1^2 y)}{6}, b_{22} = \frac{\sum(x_2^2 y)}{6}, b_{12} = \frac{\sum(x_1 x_2 y)}{4}, b_0 = \frac{\sum(x_0 y)}{6} = 0,67 b_{11} - 0,67 b_{22} (4)$$

Подставляя данные в выражение (4), получим:

$$b_1 = 6,02, b_2 = 8,39, b_{11} = -0,57, b_{22} = -0,01, b_{12} = 3,67, b_0 = 16,38.$$

По результатам расчета получили уравнение регрессии зависимости силы прокалы-

Рассчитаем линейные коэффициенты, квадратичные коэффициенты и коэффициенты парного взаимодействия [3].

вания от угла заточки и диаметра шипа:

$$P = 16,38 + 6,02(d-3) + 8,39(\alpha - 30)/15 + 3,67(d-3)(\alpha - 30)/15 - 0,57[(d-3)^2 - 0,67] - 0,01\{[(\alpha - 30)/15]^2 - 0,67\},$$

где: P – сила прокалывания кожуры дыни, Н;

α – угол заточки шипа, град.;

d – диаметр шипа, мм.

На рисунке 1 изображена полученная поверхность, построенная на основе уравнения регрессии, на рисунках 2,3 – зависимости силы прокалывания кожуры дыни от угла заточки шипа и диаметра шипа, построенные по расчетным данным.

Сила прокалывания кожуры дыни определялась с помощью прибора Структурометр 1 [6]. Условия проведения опытов взяты в соответствии с таблицей 1. Результаты приведены в таблице 3.

Сравнительный анализ данных (табл.3), полученных расчетным и экспериментальным путем, показывает, что расхождение составляет не более 5%, что приемлемо для инженерных расчетов.

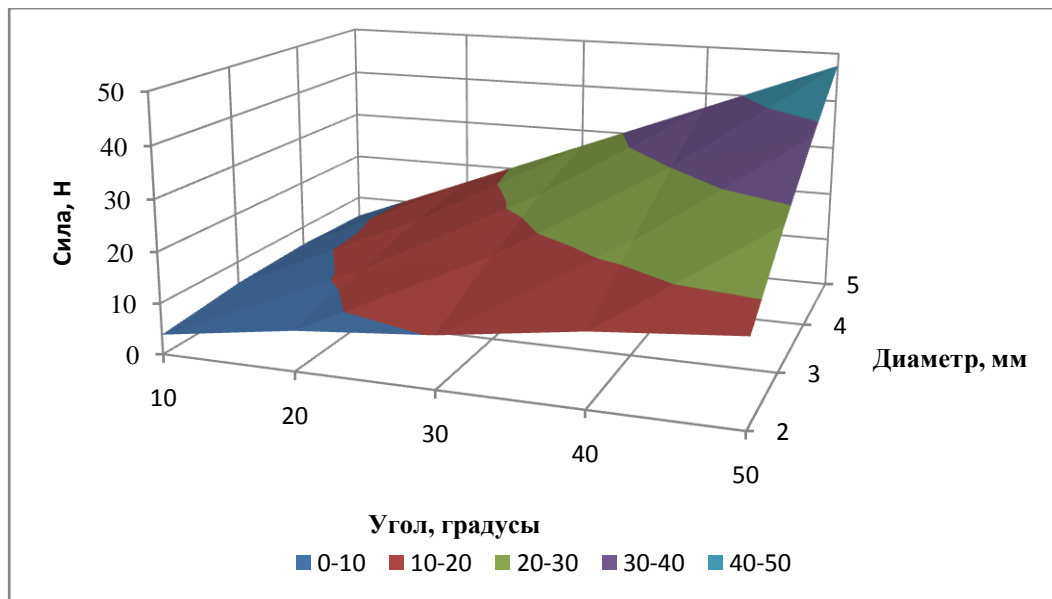


Рисунок 1 – Поверхность отклика зависимости силы прокалывания кожуры дыни от угла заточки и диаметра шипа.

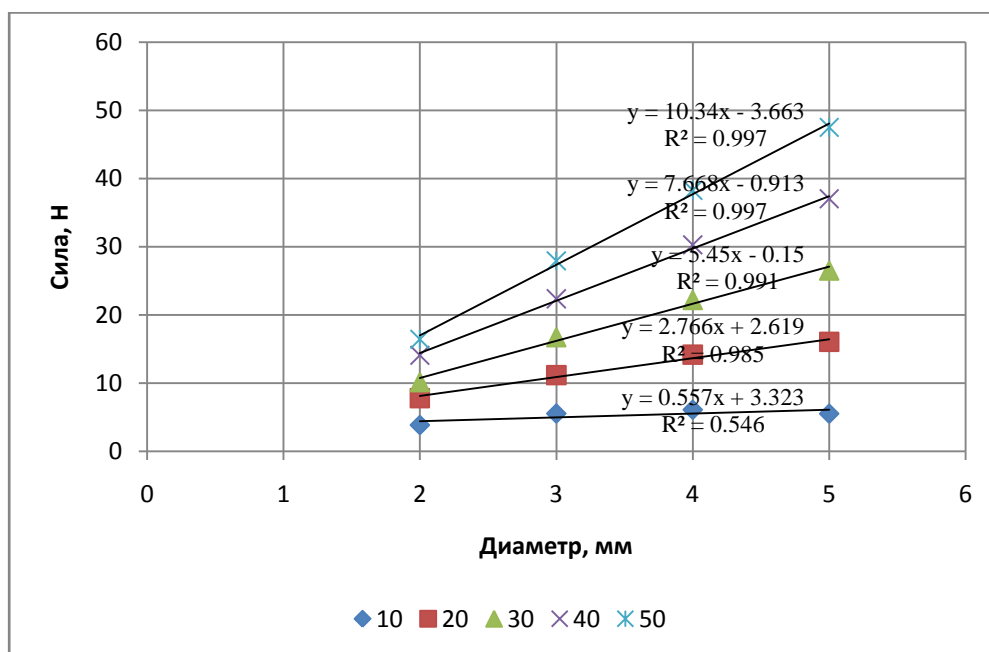


Рисунок 2 – Графики зависимости силы прокалывания кожуры дыни от диаметра шипа (расчетные данные) при различных углах заточки, град: 10,20,30,40,50.

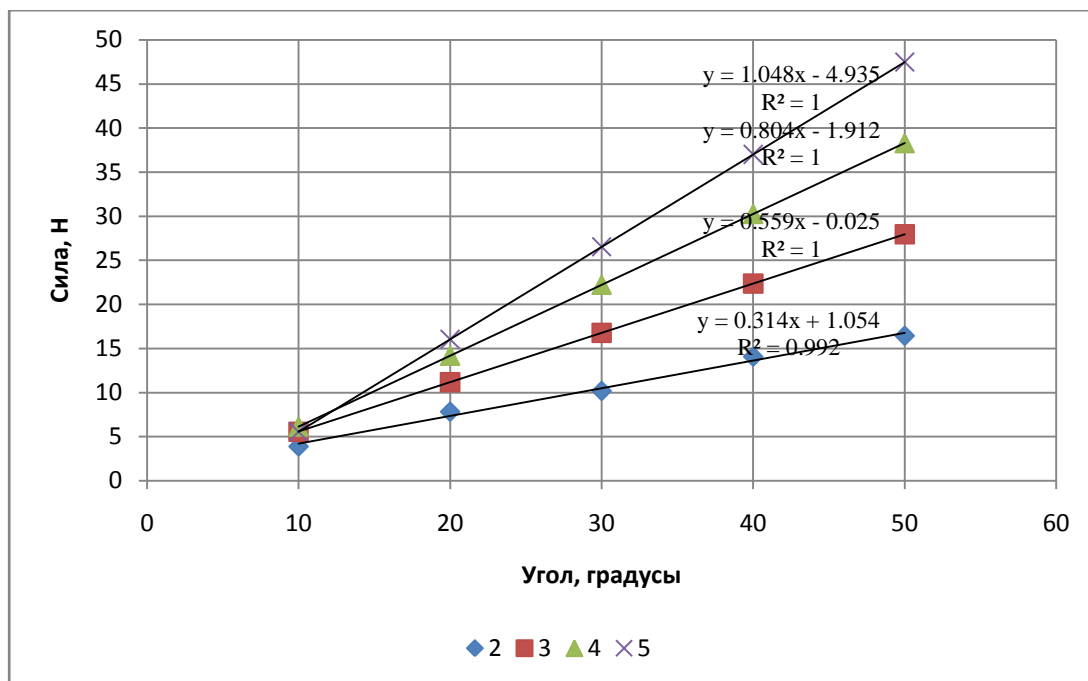


Рисунок 3 – Графики зависимости силы прокалывания кожуры дыни от угла заточки шипа (расчетные данные) при различных диаметрах, мм: 2,3,4,5.

Таблица 3 – Сравнительная оценка силы прокалывания кожуры дыни, полученной экспериментальным (y) и расчетным путем (yp)

№ опыта	Измеренное усилие прокалывания. Н	Расчетное усилие прокалывания. Н	Отклонение, %	Отклонение, %
1	6,25	5,75	0,5	8,0
2	9,72	10,15	0,43	4,4
3	15,65	14,89	0,76	4,8
4	33,78	34,27	0,49	1,4
5	16,44	16,77	0,33	2,0
6	21,67	22,22	0,55	2,5
7	10,58	10,18	0,4	3,8
8	25,12	25,15	0,03	0,1
9	8,25	8,37	0,12	1,5

Значимость полученных коэффициентов проверяется при помощи критерия Стьюдента по формуле [5]:

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}} \quad (5)$$

Полученные расчетные значения доверительного интервала оказались больше табличного значения, поэтому ни один из коэффициентов не исключается из уравнения регрессии.

Далее, используя критерий Фишера, проверили адекватность полученного уравнения регрессии по формуле [7]:

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{восп}}^2}, \quad (6)$$

где остаточная дисперсия рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ост}}^2 = \sum_1^N (y_i - y_{r_i})^2 / N - L, \quad (7)$$

где L – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Так как расчетное значение критерия Фишера оказалось меньше табличного значения, то можно сделать вывод, что полученное уравнение регрессии адекватно описывает эксперимент.

Выводы и заключение

1. Методом ортогонального композиционного планирования эксперимента была построена математическая модель процесса прокалывания кожуры дыни и получено уравнение регрессии, адекватно описывающее эксперимент.

2. Сравнительный анализ данных силы прокалывания, полученных расчетным (методом математического моделирования) и экспериментальным путем, показывает, что расхождение между ними составляет не более 5%, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Результаты проведенных исследований процесса прокалывания кожуры дыни легли в основу расчета конструкции устройства для очистки дыни от кожуры и ее резки на куски заданного размера. Опытный образец машины был изготовлен и апробирован в условиях ТОО «Фруктоконсервный завод «Южный»».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведков Е.Б., Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К. Установка для снятия кожуры с дыни и нарезки мякоти на куски. /Материалы МНТИнтернет-конференции «Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах «ЭПАХПП-2011», Воронеж, 2011 г.- С.38-41.
2. Еренова Б.Е. Интенсификация обработки дыни для производства продуктов длительного хранения: Дис. канд.техн.наук, Алматы, 1999. -126с.
3. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Использование метода композиционного планирования эксперимента для описания технологических процессов.- Волгоград: ВолгГТУ, 2008.-16с.
4. Ахназарова Л.С., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978.- 213с.
5. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976 – 280с.
6. Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Медведков Е.Б. Основы реологии пищевых продуктов. -Алматы, 2006. -298с.
7. Евстратов В.Ф., Шварц Л.Г. Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резин.- М.: Химия, 1970- 140с.