

# ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

---

МРНТИ 65.53.33

*М.Е. Кизатова<sup>1</sup>, А.О. Байкенов<sup>1</sup>, К.А. Байгөжинов<sup>1</sup>,  
Ж.А. Есимова<sup>1</sup>, К.А. Елеукенова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, Астанинский филиал, г. Нур-Султан, Казахстан

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ ДЫНИ ОТ КОЖУРЫ

---

---

**Аннотация.** Данная работа преследовала цель адаптации машины для очистки дынь марки «ВОЭ.201» за счет модернизации непосредственно режущего инструмента. Необходимо сделать толщину резания корки более регулируемой, этого можно добиться за счет установления идеального зазора ролика, который будет вращаться горизонтально вместе с ножом, и отдельно устанавливая толщину снятия корки, а также изменения угла заточки режущего ножа. Тогда отделение корки дыни станет более эффективным вне зависимости от зрелости и сорта дыни, с наименьшими потерями самого продукта. За основу исследования в качестве сырья были взяты сорт дыни «Радужная», для которой конструировалась машина и сорт дыни «Мырзачульская», для которой производилась модернизация. На основе проведенных экспериментов построена модель процесса очистки от кожуры. Оптимизированы основные влияющие факторы, для ограничения отходов при очистке от кожуры. Были использованы входные и выходные переменные, которые могли быть промышленно применимы.

**Ключевые слова:** математическая модель, модернизации, дыня, очистка кожуры, трехмерная модель.

• • •

**Түйіндеме.** Бұл жұмыс кескіш құралдың өзін жаңарту арқылы «VOE.201» маркалы қауынды тазартуға арналған машинаны бейімдеу мақсатын көздеді. Жер қыртысының кесу қалыңдығын неғұрлым реттелетін етіп жасау керек. Бұған мінсіз білікшелі саңылауды орнату арқылы қол жеткізуге болады. Ол пышақпен көлденең айналады және қабықты кетіру қалыңдығын бөлек орнатады. Сонымен қатар, кесетін пышақтың қайрау бұрышын өзгертеді. Сонда қауынның қабығын бөлу қауынның пісуіне және алуан түріне қарамастан тиімді болады, өнімнің өзі аз шығынға ұшырайды.

Зерттеуде шикізат ретінде «Радужная» қауын сорты пайдаланылып, ол үшін жетілдірілген машина мен «Мырзачульская» қауын сорты ұсынылды. Зерттеудің негізі машина өзирлеген шикізат ретінде «Радужная» қауын сортына және жетілдірілген «Мырзачульская» қауын сортына негізделген. Жүргізілген тәжірибелер негізінде пиллинг процесінің моделі құрылды. Пиллинг қалдық-

тарын шектеуге әсер ететін оңтайландырылған факторлар. Өнеркәсіпте қолдануға ыңғайлы кіріс және шығыс айнымалылары пайдаланылды.

**Түйінді сөздер:** математикалық модель, модернизация, қауын, қабықты тазалау, үш өлшемді модель.

• • •

**Abstract.** This work pursued the goal of adapting the machine for peeling melons of the «VOE.201» brand, through the modernization of the cutting tool itself. It is necessary to make the cutting thickness of the peel more adjustable, this can be achieved by setting the optimal clearance of the roller, which will rotate horizontally with the knife, and separately setting the thickness of removing the peel, as well as changing the angle of the cutting knife sharpening. Then the separation of the melon rind will become more efficient regardless of the ripeness and variety of the melon, with the least loss of the product itself. The research was based on the «Raduzhnaya» melon variety as a raw material for which the machine was designed and the «Myrzachulskaya» melon variety for which the modernization was carried out. Based on the experiments, a model of the peeling process was constructed. Key influencing factors were optimized to limit peeling waste. Input and output variables were used that can applied in industrial settings.

**Keywords:** mathematical model, modernization, melon, peeling, peel, three-dimensional model.

**Введение.** Используя переработку дынь, можно получить высококачественную продукцию длительного хранения. На сегодняшний день дыню успешно перерабатывают на дынный мед, пастилу, джемы, варенья и овощные сладкие консервы. Вся получаемая продукция пользуются высоким спросом, что обуславливает необходимость расширения их ассортимента. Однако, как показывает анализ внутреннего рынка потребления плодоовощных продуктов, на прилавках магазинов практически отсутствует продукция переработки бахчевых культур отечественного производства. Это обусловлено рядом причин. Предприятия не заинтересованы перерабатывать бахчевые культуры, в частности, дыню, в связи с большой трудоемкостью процесса, обусловленной низкой его механизацией (отсутствием универсальных машин для очистки кожуры и резки).

Внедрение передовых технологий на базе комплексной механизации процесса переработки позволит не только облегчить труд бахчеводов, но и поднять производительность, а также снизить себестоимость продукции. В большинстве случаев можно заметить существенные сбои в работе системы. Однако, если установка не проходила модернизацию на протяжении длительного времени, она может и вовсе выйти из строя. Проект модернизации оборудования является основой

начала работ по улучшению работоспособности той или иной машины. Нормализация работы создается на основе заранее спланированного графика по процессу модернизации. Модернизация оборудования является важнейшим аспектом в развитии технологий. В случае ее отсутствия техника, как правило, дает сбой в работе или становится неработоспособной. В результате установку следует непременно подвергнуть ремонтным работам. Любое мероприятие, целью которого является усовершенствование оборудования, должно проходить согласно основным правилам эксплуатации каждой отдельной машины.

Для изменения данной ситуации требовалось создание современной производственно-технологической базы пищевой и перерабатывающей промышленности на новой основе. Чтобы обеспечить высокую конкурентоспособность продукции национальных производителей, необходимо разработать инновационные технологии, применить ресурсосберегающие виды технологического оборудования. Машины и оборудование, составляющие около 43% общей стоимости основных производственных фондов, срок службы которых различен в зависимости от их вида, требуют постоянного обновления в условиях ускоренной амортизации, как это делается в индустриально развитых странах. Ускоренная амортизация активной части основных производственных фондов обеспечивает высокий уровень конкурентоспособности компаний, выпускающих пищевую продукцию, и позволяет им за счет диверсификации производства занимать новые рынки сбыта своей продукцией в различных странах мира. Модернизация технико-технологической базы предприятий пищевой промышленности на основе применения современных видов оборудования позволит увеличить глубину переработки сельскохозяйственного сырья и тем самым снизить их негативное воздействие на окружающую среду, значительно повысить рентабельность производства [1].

Устойчивое развитие отрасли машиностроения для пищевой и перерабатывающей промышленности обеспечивает возможность расширения ассортимента вырабатываемой продукции с меньшими издержками, расширяет круг отечественных компаний (особенно в части малого и среднего бизнеса), формирует стабильный спрос на научно-исследовательские и конструкторские разработки, поддерживая и стимулируя рост уровня технологического развития экономики. Однако до настоящего времени нет четко сформулированной и установившейся классификации машин и устройств, для снятия корки и разрезания плодов дыни на части. Отсутствие четкости в классификации и выборе

типа данных машин создает определенные трудности для теоретического и расчетного обоснования их при обработке дыни.

Учитывая принципиальные различия в технологиях производства этих изделий, общим для них является процесс очистки дыни, который реализуется на перерабатывающих предприятиях преимущественно с помощью ручного труда или же с помощью достаточно примитивных средств механизации очистки данной культуры. Поскольку выпуск продукции приходится в основном на период созревания дыни, необходимой и актуальной становится задача механизация процесса ее очистки, с целью достижения ряда целей. Такими целями являются: снижение уровня ручного труда, минимизация затрат на производство продукции, уменьшение уровня потерь ценной части мякоти при очистке, снижение уровня потерь сырья при хранении за счет ускорения переработки и отсутствия необходимости накопления в хранилищах, повышение производительности линий.

В данный момент технология удаления наружного покрова с плодов бахчевых культур основана на применении ручного труда, а существующие конструктивно-технологические решения машин по очистке плодов от корки, не обеспечивают эффективной и качественной работы при переработке бахчевых культур [2-3]. Основными вопросами, которые возникают при очистке бахчевых культур, в частности дыни, является обеспечение отделения кожуры (слоя эпидермиса) от мякоти (основной паренхимы), а также удаление внутреннего содержимого (плаценты с семенами) из семенной полости. Также следует отметить, что кроме очистки важной задачей является уменьшение временного промежутка от очистки до нарезания очищенных заготовок, то есть уменьшения времени окисления и потерь сока при переработке. Очистка дыни от кожуры как предварительный и основной этап обработки в настоящее время проводится механическими, химическими и термическими методами. Хотя каждый метод имеет одновременно как преимущества и свои недостатки, то есть недоработки, в большинстве случаев предпочтение отдается механическим методам, поскольку они позволяют сохранять съедобные части продуктов свежими и без повреждений. Основными недостатками механических методов являются довольно низкая гибкость и высокие потери ценной части плодов. Многие исследователи пытались повысить эффективность методов механического пилинга. Несмотря на эти попытки, все еще существуют некоторые ограничения, которые требуют дополнительных исследований [4].

При механической очистке фруктов и овощей наиболее распространенными методами являются абразивные или режущие инструменты. Машины и аппараты, на которых применяются режущие инструменты для снятия кожуры бывают периодического и непрерывного типов. Удаление корки происходит во время вращения валика или цилиндра. Режущие инструменты, то есть ножи широко используются для очистки яблок, моркови и картофеля. Несмотря на высокую производительность, основным ограничением является чувствительность к загрузке и большое количество отходов съедобных частей из-за низкой гибкости [5-6]. Для улучшения способа очистки и определения эксплуатационных и конструктивных параметров машины для очистки дыни необходимо провести модернизацию оборудования, широко используемого повсеместно, а также провести ряд исследований по изучению структурно-механических свойств дынь сорта «Радужная» и «Мырзачульская», и исследование формы и геометрических особенностей.

**Методы исследования.** Объектом модернизации стала машина по очистке дыни от кожуры марки «ВОЭ.201», собранная на базе ООО «Воплощение» (г. Москва, Российская Федерация). Машина изготовлена в климатическом исполнении УХЛ, категории 4 по ГОСТ 15150-69 (Рисунок 1). Модернизация машины проводилась для очистки сорта дыни «Мырзачульская», выращиваемой в южных регионах Республики Казахстан. На первоначальном этапе машина создавалась для очистки дынь, возделываемых в Краснодарском крае (Россия), в частности для дыни сорта «Радужная». Оба сорта дынь являются производными одного генотипа «Торпедо», однако из-за разности климата, почвы и многих других факторов, сорта имеют различную морфологию.

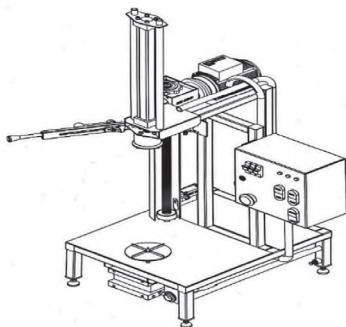


Рисунок 1 – Машина для очистки дыни марки «ВОЭ.201»

**Таблица 1 – Кодирование интервалов и уровней варьирования входных факторов**

№	Кодированные значения			Натуральные значения		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	A, град	D, мм	E, Н/м
1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	35	6	2369,5
2	-	-	+	35	6	2380,5
3	-	+	-	35	12	2369,5
4	-	+	+	35	12	2380,5
5	+	-	-	45	6	2369,5
6	+	-	+	45	6	2380,5
7	+	+	-	45	12	2369,5
8	+	+	+	45	12	2380,5
9	-1,68	0	0	30	9	2375
10	+1,68	0	0	50	9	2375
11	0	-1,68	0	40	3	2375
12	0	+1,68	0	40	15	2375
13	0	0	-1,68	40	9	2364
14	0	0	+1,68	40	9	2386
15	0	0	0	40	9	2375
16	0	0	0	40	9	2375
17	0	0	0	40	9	2375
18	0	0	0	40	9	2375
19	0	0	0	40	9	2375
20	0	0	0	40	9	2375

Процент потерь кожуры у дыни рассчитывали с использованием веса продукта до и после очистки, как указано ниже [7].

$$y1 = \frac{W1-W2}{W1*t} * 100 \quad (1)$$

где W2 должно быть равно нулю или W1. Все полученные образцы взвешивали до (W1) и сразу после снятия кожуры (W2) на весах с точностью  $\pm 1$  г. Далее провели кодировку интервалов и уровней варьирования параметров, которые представлены в таблице 1. Матрица планирования представлена в таблице 2.

**Таблица 2 – Матрица проведения опытов по очистке дыни**

Факторы		Уровни варьирования					Интервалы варьирования
Натуральные	Кодированные	-1,68	-1	0	+1	+1,68	
A, град	$x_1$	30	35	40	45	50	5
D, мм	$x_2$	3	6	9	12	15	3
E, Н/м	$x_3$	2364	2369,5	2375	2380,5	2386	5,5

Эксперименты проводились согласно матрице планирования (таблица 2). В качестве оценочного показателя использовались данные изучения

выходов составляющих при разделке плодов дыни, производимых расчетом по формуле 2. Для получения математической модели технологического процесса по отделению корки от дыни, представляющую собой уравнение регрессии, использовали рототабельный план второго порядка (план Бокса). За основу было взято 3 главных фактора, с проведением 20 опытов, в том числе и 6 опытов в нулевой точке. Технологические показатели процесса отделения корки дыни приняты в качестве критериев оптимальности, определяющие конкретные производственные условия. Поэтому было целесообразно корректировать систему уравнений регрессии в соответствии с этими факторами. Общий вид уравнение регрессии имеет вид:

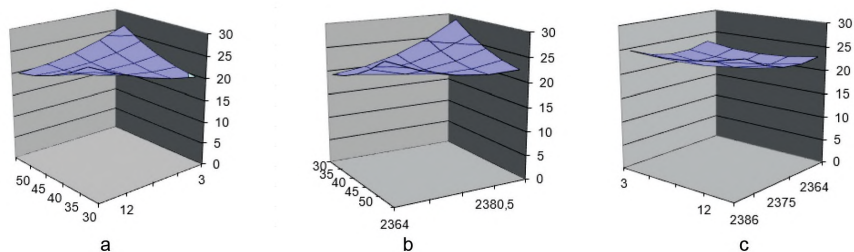
$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (2)$$

В качестве математического аппарата использовали математико-статистические методы и получили систему уравнений регрессии, которые моделирует взаимосвязи наиболее предпочтительного критерия оптимальности с остальными.

**Результаты и их обсуждение.** На основе данных проведенных экспериментов построена математическая модель (рисунок 2). Также было получено уравнение регрессии, помогающее рассчитать оптимальные параметры показателей, при изменении их значений:

$$y_1 = 21,40118752 - 0,43627x_1 - 0,4187x_2 - 0,17275x_3 - 0,125x_1x_2 - 0,625x_3 - 0,125x_2x_3 - 0,60624x_1^2 + 0,62856x_2^2 + 98136x_3^2 \quad (3)$$

Трехмерная модель дает понять, что каждый фактор равнозначно важен для выполнения технологического процесса очистки дыни.



$x_n = f(A, D, E)$  на  $y_n = f(P)$  а - влияние угла заточки ножа (А, град) и расстояние зазора между роликом и ножом (Д, мм), б - влияние угла заточки ножа (А, град) и усилия прилагаемые на резание (Е, Н/м), с – влияние расстояния зазора между роликом и ножом (Д, мм) и усилия прилагаемые на резание (Е, Н/м)

Рисунок 2 – Трехмерная модель в пространстве характеризующая зависимость



В ходе оптимизации параметров, влияющих на эффективную очистку дыни от кожуры, особый интерес представляет угол заточки ножа, как характеристика, определяющая один из основных параметров. Из рисунка 2а видно, что чем острее заточен нож и больше (шире) установлен зазор между роликом и ножом, тем больше потери непосредственно самого важного, то есть мякоти. Здесь показано процентное содержание корки в дыне сорта «Мырзачульская», оно составляет 22,38%. Это значит, что весь процесс оптимизации заточен на достижение этого показателя отделения корки. Если угол заточки будет увеличен до  $50^\circ$ , тогда острота ножа снизится, что приводит к менее эффективному снятию кожуры, оставляя ее внутренние слои. Основной пик потерь пришелся при показателях наточенного ножа до  $30^\circ$  и приложенных максимальных усилий в 2386 Н/м, это обеспечило 30% снятия кожуры (рисунок 2b), а при снятии 22,38% кожуры потери необходимого сырья составили 7,62%. Рисунок 2с показывает влияние усилия и зазора ролика ножа на отделение кожи. При таком сравнении видно, что при максимально приложенных усилиях, несмотря на зазор ролика и его сопротивление, нож устремляется так глубоко в мякоть, срезая его ценную часть, в то время как при минимальных значениях срез кожуры проходит менее эффективно.

Таким образом, из модели на рисунке 2 следует, что оптимальные параметры очистки дыни от кожуры приходится на показатель отделения кожуры равный 22,5%. Оптимальным углом заточки режущего ножа будет  $40^\circ$  при ширине зазора ролика в 9 мм, а также при усредненной силе, приложенной в 1375 Н/м.

**Выводы.** В ходе выполнения работы получены математическая модель и оптимальные параметры модернизации машины по очистке дыни, для получения высокоэффективного и ровного очищения от кожуры. Отделение корки дыни при оптимальных условиях показали близкие значения эффекта теоретических (исследование составных частей дыни – 22,38% кожуры) и практических (отделение кожуры до 22,5%). Статистические расчеты оптимизированных параметров составляют угол заточки режущего ножа  $40^\circ$  при ширине зазора ролика в 9 мм, а также при усредненной силе, приложенной в 1375 Н/м. Результаты проведенных исследований показали, что способ использования нового ножа с измененным углом заточки при очистке дыни от кожуры – более эффективен, чем предыдущий, за счёт меньших потерь ценной часть продукта – мякоти.



### Список литературы

- 1 *Radhakrishnaiah Setty, G., Vijayalakshmi, M.R., Usha Devi, A., 1993.* Methods for peeling fruits and vegetables: A critical evaluation. *Journal of Food Science and Technology* 30 (3), 155-162.
- 2 *Schmilovitch Z., Alchanatis V., Ignat T. et al.* Machinery for Fresh Cut Watermelon and Melon // *Chemical engineering transactions.* – 2015. – Vol. 44. – P. 277-282.
- 3 *Oluwabamiwo F., Adegoke G., Denloye S., Akinoso R.* Proximate composition and fatty acid profile of Nigerian melon seeds // *Life Science Archives.* – 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 59-65.
- 4 *Boyce, 1961; Cailliot, 1988; Couture and Allard, 1979; Emadi et al., 2007; Gardiner, 1963; He and Tardif, 2000; Polk, 1972; Radhakrishnaiah Setty). u др., 1993.*
- 5 *Adedoyin R.A., Olatunde O.B, Ponle E.A.* Design, fabrication and performance evaluation of melon shelling machine // *International Journal of Research in Engineering and Technology.* – 2015. – Vol. 4, Issue 7. – P. 78-82.
- 6 *Davies R.M.* Engineering Properties of Three Varieties of Melon Seeds as Potentials for Development of Melon Processing Machines // *Advance Journal of Food Science and Technology.* – 2010. – №2(1). – P. 63-66.
- 7 *Willard, M.J., 1971.* A grading system of peeled potatoes. In: *Proceedings of 21<sup>st</sup> Nat. Potato Util. Conference.*

**Кизатова Маржан Ержановна** - PhD, e-mail: marzhany87@mail.ru

**Байкенов Алибек Өмірсерікұлы** - магистр техники и технологий,  
e-mail: alibek\_89\_89@mail.ru

**Байгенжинов Кадырбек Асланбекович** - магистр техники и технологий,  
e-mail: baigenzhinov@inbox.ru

**Есимова Жазира Амангельдықызы** - магистр техники и технологий,  
e-mail: z.yessimova@gpf.kz

**Елеукенова Камарсулу Агимедуллиевна** - кандидат технических наук,  
e-mail: kamarsulu70@mail.ru