

УДК 66-2+664.8.022.6

Повышение эффективности резки на части плодоовощного сырья близкого к сферической форме

Е.В. Кравцова, kev90@bk.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

д-р. техн. наук **В.В. Пеленко**, pelenko1@rambler.ru

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18*

Исследовали возможность повышения эффективности резки на части плодоовощного сырья близкого к сферической форме; снижения энергоемкости процесса резания и потерь плодоовощного сырья при переработке посредством профилирования режущей кромки лезвия ножа. Объектом исследования было выбрано плодоовощное и фруктовое сырье наиболее близкое по внешнему виду к сферической форме, представляющее собой смесь плодов с различным содержанием клеточного сока, например, цитрусовые, томаты. Определяли эффективность работы установки, вид среза плода при различных конструкциях режущего инструмента, количество сока плодоовощного сырья, потерянного в зависимости от скорости резания и времени хранения плодов. Взаимодействие лезвия с материалом рассматривалось на наиболее простом случае контактного взаимодействия плодоовощного сырья с режущим оборудованием: изучение удельных деформаций в области контакта; разработка принципиального решения; создание рационального узла резки и рабочих органов для измельчения; проектирование технологии и изготовление опытного образца; монтаж и отладка; эксплуатация опытного образца; доводка узлов или отдельных деталей. При определении качества сырья использовали общепринятые и специальные приборы. Показано, что при измельчении плодоовощного сырья лезвийным инструментом предложенной конфигурации достигаются минимальные контактные усилия и минимальная удельная энергоемкость процесса, так как исключаются ударные нагрузки на продукт за счет согласования первых производных профиля лезвия и профиля упругой линии деформируемого плода. Устройство с использованием экспериментального ножа оказалось более эффективным как с точки зрения минимизации потери клеточного сока, так и более экономически выгодным с точки зрения изготовления и обслуживания.

Ключевые слова: детали машин и аппаратов; предварительная обработка пищевых продуктов; резка на части; плодоовощное сырье; лезвийный инструмент; энергоемкость.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-11-1-35-42

Increase the efficiency of cutting on the part of fruit and vegetable raw materials close to the spherical form

Evgenia V. Kravtsova, kev90@bk.ru

ITMO University

9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia

D.Sc. **Valery V. Pelenko**, pelenko1@rambler.ru

*St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
18, Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg, 191186, Russia*

The article concerns increasing the cutting efficiency for the fruit and vegetable raw material close to the spherical form, and reducing energy consumption for the cutting process and losses of fruit and vegetable raw materials during processing by profiling the cutting edge of the knife blade. The object of the study was fruit and vegetable fruit and raw materials closest in appearance to spherical form, being a mixture of fruits with different contents of cell sap, for example, citrus fruits and tomatoes. The efficiency of the plant, the type of cut with various designs of the cutting tool, the amount of fruit and vegetable juice being lost depending on the cutting speed and the storage time were determined. The interaction of the blade with the material was analyzed in its simplest case of contact interaction of fruit and vegetable raw materials with cutting equipment. The following aspects were investigated: specific deformations in the contact area; development of a principal solution; the creation of a rational cutting unit and working tools for grinding; the design of technology and the manufacturing of a prototype; installation and debugging; operation of the prototype; fine-tuning of knots or individual parts.

In determining the quality of raw materials conventional and special devices were used. It is shown that, when grinding fruit and vegetable raw material with the blade tool of the proposed configuration, minimal contact forces and a minimum specific energy intensity of the process are achieved since shock loads on the product are eliminated by matching the first derivatives of the blade profile and the profile of the elastic line of the deformed fruits. The device with the experimental knife proved to be more effective both in terms of minimizing the loss of cell juice and in terms of economic advantages of manufacturing and maintenance.

Keywords: details of machines and apparatus; pretreatment of food products; cutting into parts; fruit and vegetable raw materials; blade tool; energy intensity.

Введение

На перерабатывающих предприятиях малой и средней тоннажности является актуальным оснащение поточно-технологических линий оборудованием различной производительности, в том числе применение в сфере общественного питания ломтикового измельчителя плодоовощного сырья, так как использование слайсеров не позволяет автоматизировать эту фазу технологического процесса [1].

До сих пор нет полного обоснования как конструктивных параметров, так и наиболее эффективных режимов работы измельчителей нового предлагаемого типа, не учитывается разнообразие физико-механических характеристик плодоовощных материалов [2].

Значительное место в механической обработке пищевых продуктов при кулинарной обработке занимает процесс резания на отдельные части [3]. В консервных и овощесушильных отраслях промышленности часто возникает необходимость резки на части плодов и овощей, имеющих достаточно нежную и неоднородную структуру (оболочку и мякоть). Наличие многослойного строения, например, у плода лимона характеризуется различной степенью распределения концентраций напряжений в каждой точке режущей кромки и является одним из факторов, определяющим выбор формы ножа и режима процесса резания. Математическое обоснование этих параметров до настоящего времени отсутствует, поэтому выполнение данной работы представляется актуальным и обладает высокой практической значимостью.

Общим недостатком существующих измельчителей (слайсеров и другого типа) является разрушение структуры обрабатываемого продукта, а вследствие этого значительное соковыделение, что влечет за собой снижение концентрации витаминов и полезных веществ в готовой продукции и повышение энергозатрат. Частично эта проблема решается при уменьшении степени смятия плодов и овощей за счет более эффективного контакта режущей кромки ножа с поверхностью разделяемого продукта, но принципиально задачу создания ножа для щадящей резки сокодержательных плодов этот подход не решает.

Таким образом, целью данного исследования является теоретическое обоснование формы лезвийной кромки ножа, обеспечивающей безударный процесс щадящего резания достаточно нежных плодов фруктов и овощей.

В работе рассмотрен процесс квазистатического внедрения тонкого (пластинчатого) ножа с двусторонней заточкой в виде клина в различный по физическим свойствам материал. Принципиально новой задачей является создание такого точечного механического воздействия, которое при проецировании на поверхность разрезаемого материала дает пятно малого сечения, условно – точку. Такой инструмент позволяет уменьшить величину упругих деформаций на поверхности материала, т.к. отпадает необходимость разрезания сокодержательных плодов и овощей скользящим резанием, а возвратно-поступательное перемещение происходит с постоянной скоростью. Вторым физическим основанием, исключающим динамические, повышенные усилия в плодах, является равенство первых производных к профилю лезвийной кромки и профилю упругой линии прогиба поверхности плода в точке контакта.

Проведем анализ физической картины процесса квазистатического внедрения тонкого (пластинчатого) ножа с двусторонней заточкой в виде клина в различный по физическим свойствам материал и дадим математическое описание требуемой формы лезвийной кромки.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования было выбрано плодоовощное сырье, являющееся по внешнему виду наиболее близким к сферической форме. Выбранное для разрезания сырье представляет собой смесь плодов с различным содержанием клеточного сока, например, лимон, киви, томаты диаметром от 40 до 60 мм. Физико-механические свойства данных плодов отличаются по свойствам и структуре. После подготовки образцы плодов длиной 60–90 мм разрезались на специально разработанном и созданном (на кафедре «Технологических машин и оборудования» Смоленского энергетического института) приборе. Размерно-массовые показатели включают такие признаки плодов как их масса, размеры и коэффициент формы, представляющий наибольший интерес при переработке плодов. Опыты проводились в период полной спелости плодов. Для этого путем визуализации отбирали 100–150 плодов каждого вида, которые и служили исходным материалом для снятия числовых значений интересующих нас характеристик [4].

Выделены наиболее значительные физико-механические свойства плодоовощного сырья: строение, прочностные показатели, влажность материала, объемная плотность, значение коэффициента трения при контакте с режущим инструментом. Необходимо отметить, что влажность и плотность наиболее существенные факторы, влияющие на свойства плодоовощного сырья. Влажность исследуемого сырья соразмерна числу жидкого заполнителя, объемная плотность зависит от влажности, подвида фрукта или овоща и их геометрических размеров. Прочностные свойства включают удельные показатели работы резания, а также скорости распределения упругих деформаций, как следствие потеря сока, разрушающее напряжение. Удельная работа, необходимая для разрезания плода, характеризует энергоемкость разделения на части исходного материала.

Индивидуальная масса плодов определялась путем взвешивания каждого плода при помощи весов, после чего полученные данные сводились в таблицу и обрабатывались. Определение размеров велось с помощью штангенциркуля. Статистической обработке подверглось более 600 плодов. При этом и масса плодов, и их размеры подчинены нормальному распределению Гаусса с соответствующими характеристиками математических ожиданий и дисперсий.

Результаты и их обсуждение

В рамках теоретических исследований были выделены три основных фактора, влияющих на минимизацию затрат энергии процесса резания: скорость резания, угол скольжения, форма лезвийного инструмента.

В результате анализа теоретических и экспериментальных данных было предложено новое конструктивное решение для измельчителя плодоовощного сырья на части – блок ножей, выполненный в виде пластины с опорными полочками, расположенными в вертикальной канавке (рисунок 1). Общая длина блока ножа, ширина режущей части лезвия ножевого блока, длина и ширина каждой полочки выполнены с геометрическими размерами, связанными с радиусом плода. Описанная конструкция для резки фруктов и овощей позволяет совершенствовать процесс нарезания плодоовощного сырья путем объединения в одном устройстве непрерывной и одновременной подачи и разрезания материала [5].

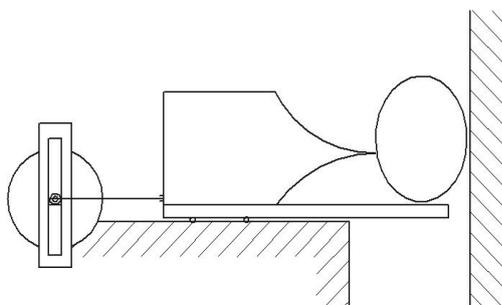


Рисунок 1 – Блок ножей, выполненный в виде пластины с опорными полочками

Повышение эффективности резки на части плодоовощного сырья близкого к сферической форме достигается исключением вращающихся элементов, тем самым значительно упрощая конструкцию [6]. Центрование плодов существенно упрощается при помощи опорной поверхности в виде цилиндра. Точную настройку относительно центра разрезаемого продукта обеспечивает сквозной крестообразный

вырез, в вертикальный паз которого размещается ножевой блок. Для разделения плода на заданные части устройство содержит несколько пар опорных плоскостей, размещенных последовательно вдоль одной вертикальной оси, причем каждая последующая плоскость режущего лезвия смещена относительно предыдущего на угол α [7].

В аппарате для резки на части плодоовощного сырья в качестве рабочего инструмента предложен пластинчатый нож с формой в виде двухстороннег вогнутого клина с заостренной заточкой. Для сравнительного эксперимента использована модель прямого двустороннего и одностороннего клина. Оптимизация формы клина с прямыми спусками базируется на правомерном допущении по результатам статистической обработки экспериментальных данных и формы упругой линии деформируемой поверхности плода, получена некая кривая (рисунок 2).

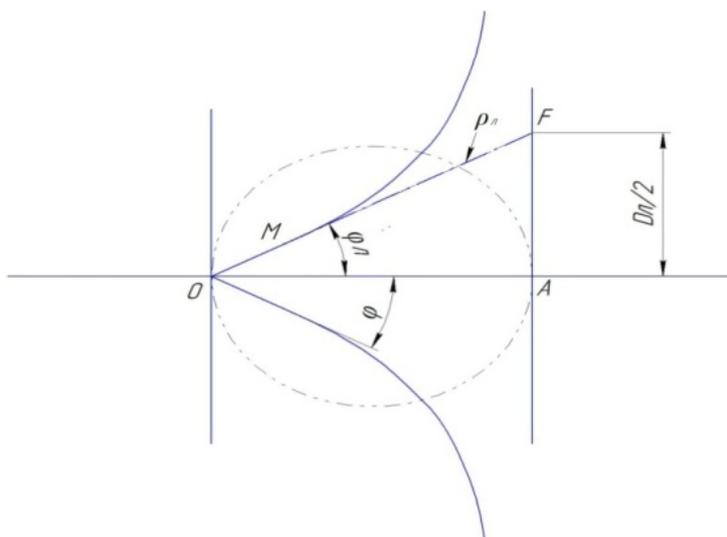


Рисунок 2 – Форма упругой линии деформируемой поверхности плода

Наиболее близко данная форма кривой может быть аппроксимирована эквидистантной кривой циссоидой Диокла. Возможность исключения концентраций напряжений в разных точках режущей кромки для обеспечения квазистатичности процесса [8] может быть обеспечена одинаковыми производными в точке резания для упругой линии изогнутой поверхности лимона и линии, представленной выражением

$$\rho_l = \frac{2L_l^2}{D_l} \left[1 + \left(\frac{D_l}{2L_l} \right)^2 \right] \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi}.$$

Данное выражение представляет собой реальное уравнение перемещения кривой в полярны координатах для определения рациональной формы лезвийного инструмента в граничных условиях $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ при действии сосредоточенной нагрузки.

Анализ результатов таких исследований локализации и концентрации напряжений в моделях лезвия и материала посредством графической программы SolidWorks позволил оптимизировать форму и параметры режущих инструментов, в том числе профиль лезвийного инструмента [9].

Для резки плодоовощного сырья и уменьшения затрат на постановку эксперимента изготовили испытательный стенд, а также комплекты сменных плоских ножей из стали 65x13. Сменные плоские ножи размещались по одному в специально подготовленный паз на пластине ножевого блока. Такая конструкция позволяла свободно перемещать ножи между пластинами при выборе их расположения в ножевой стенке, жестко фиксировать их на каждом варианте резания и полностью визуально контролировать изучаемый процесс. В качестве критерия оценки эффективности работы установки выбрали вид среза плода при различных конструкциях режущего инструмента (рисунок 3), также количество сока плодоовощного сырья, потерянного в зависимости от скорости резания и времени хранения плодов. Чем больше потери, тем больше деформация плода, а значит ниже эффективность резки для данного вида материала [10].

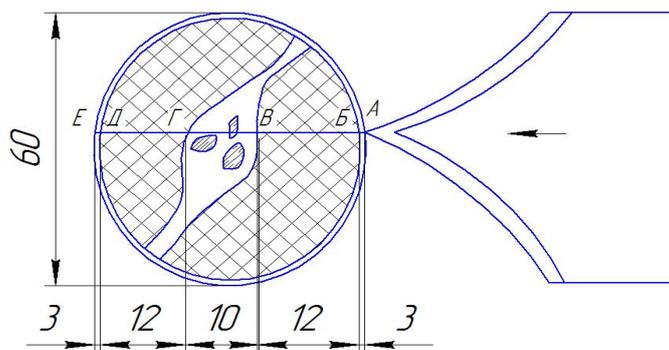


Рисунок 3 – Схема разрезаемого плода лимона

Проанализируем схематичный разрез плода лимона, близкий к сферической форме (рисунок 3), соответствующий углублению ножа в плод по ширине плода (поперечно) [11].

В данной схеме видны пять рассмотренных ранее областей, а их линейные размеры в мм с точностью определяются и представлены в процентных соотношениях от общего диаметра разрезаемого плода (плоды лимона брались диаметром от 60 до 80 мм): АБ – 0,3%; БВ – 17–27%; ВГ – 4,5–12,4%; ГД – 11,2–19,6%; ДЕ – 44,3–54,3%.

Началу процесса углубления ножа в материал соответствует точка А [11, 12]. На этом участке АБ, который соответствует кожуре лимона, происходит уплотнение слоев и концентрация напряжений (деформация) под кромкой лезвийного инструмента. Под сосредоточенной нагрузкой происходит вдавливание рабочего лезвия в поверхность лимона и происходит одноосное сжатие в плоскости ножа. Верхняя часть плода немного прогибается и образуется впадина под лезвием ножа. Как было сказано ранее, область распространения деформационных изменений зависит как от свойств и структуры самого материала, так и, к примеру, от режима резания и геометрических свойств рабочего инструмента. Время хранения имеет также влияние на деформацию плода, так как происходит сморщивание кожуры плода и дальнейшее изменение консистенции мякоти («вялости») в пользу повышения пластичных свойств, так и от параметров процесса [13].

Средние слои плода уплотняются сильнее. Рост усилия P практически не наблюдается из-за незначительного сопротивления структуры плода. Деформация слоев материала так же мала. В среднем размер области АБ сравнительно общего размера плода составляет 6 мм или 0,3% от общего диаметра (зависит от сорта) лимона. Дальнейшее внедрение лезвия ножа в плод лимона (участок БВ) – напряженность увеличивается, наблюдается рост усилия P , в точке В достигается первый максимум (критическое значение силы, $P_{кр}$). Относительная и общая деформация сжатия минимальна. Сильнее уплотняются верхние слои структуры материала. В какой-то момент показатели смятия, сжатия и растяжения достигают своих максимальных величин и верхние слои плода начинают разрушаться, а лезвие ножа дальше проходить в структуру. В этот момент происходит процесс резания плода.

Размер области БВ изменяется в пределах от 17 до 27,2% при среднем 23% относительно общего размера плода.

Из-за особенности строения плода лимона необходимо отметить область ВГ (внутренняя мякоть, семечки, семечковые камеры), которая дает добавочное сопротивление углублению ножа в структуру плода. Относительно общего размера область ВГ изменяется в пределах от 4,5 до 15,5% при среднем 9%.

Учитывая сказанное, можно выделить основные факторы, влияющие на усилие резания плода лимона: скорость резания в слое материала, сдвиг ножей относительно оси резания плода лимона, коэффициент трения материала о лезвийный инструмент. Также необходимо учитывать возможность попадания твердых косточек плода при разрезании, но так как данная величина мала, будем пренебрегать этим значением.

Сила резания как фактор, учитывающий энергетические затраты, был взят за основу лабораторных исследований [14].

Взаимодействие инструмента с разрезаемым материалом более наглядно может быть показано с помощью графика изменения относительной деформации плода лимона, киви от усилия резания при различной форме разрезаемого инструмента (рисунок 4 и 5).

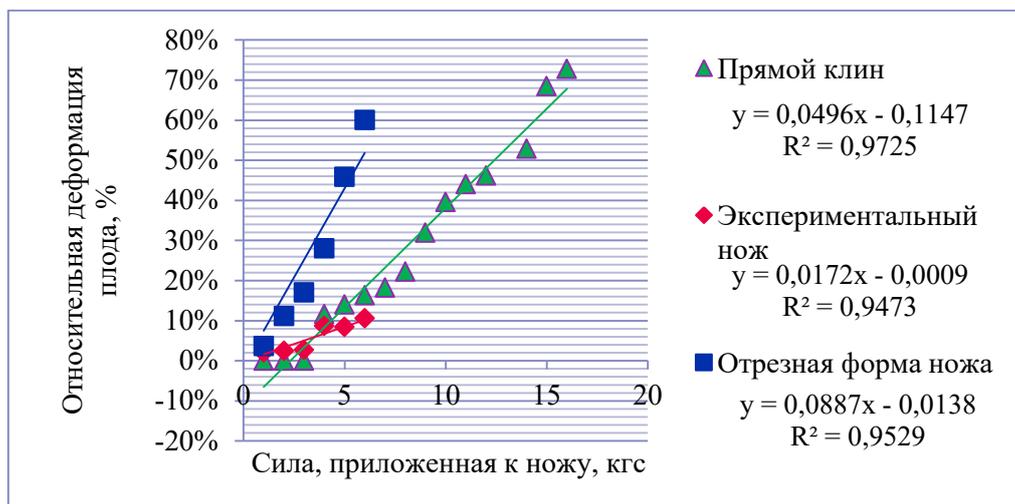


Рисунок 4 – Зависимость относительной деформации плода лимона от усилия резания при различной форме разрезаемого инструмента

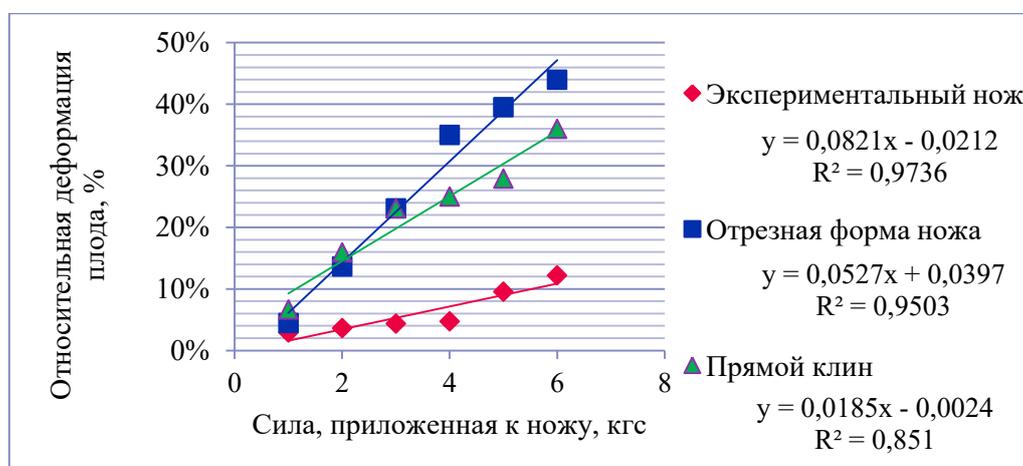


Рисунок 5 – Зависимость относительной деформации плода киви от усилия резания при различной форме разрезаемого инструмента

Проверка теоретической гипотезы, что при резании плодовоовощной продукции скользящим резанием происходит значительное нарушение клеточной структуры материала в зоне разрушения и обильное выделение сока, представлена на рисунке 6. При резании же с помощью ножевого блока нарушение структуры минимально, а следовательно, соковыделение практически отсутствует. Резание осуществлялось путем продавливания плода через три формы ножа, расположенных последовательно в одной горизонтальной плоскости [14]. При этом потери сока у лимона в первом случае скользящего резания составили 3,9 и 4,1% от массы исходного плода, а при резании с помощью разработанного ножевого блока – 1,4 и 1,5% соответственно.

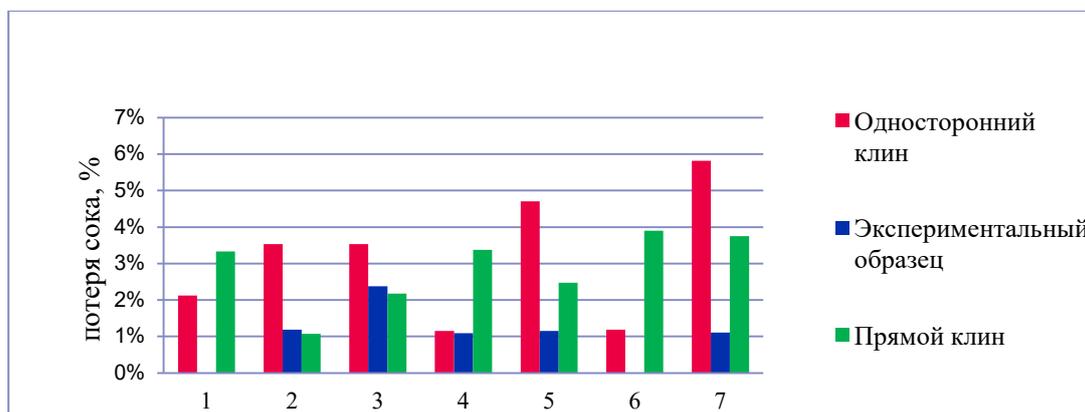


Рисунок 6 – Потеря сока плода лимона при разрезании различными формами ножа

Расчет экономической эффективности проведен путем сравнения устройств для резки на части, с использованием трех различных форм ножа.

Заключение

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что устройство с использованием экспериментального ножа оказалось эффективным как с точки зрения минимизации потери клеточного сока, так и более экономически выгодным с точки зрения изготовления и обслуживания, что еще раз подтверждает корректность подходов, основанных на работе [15].

Эффективность устройства с использованием ножа с односторонним клином, в виду наибольших затрат на материал при его изготовлении из-за формы режущей кромки, оказалась наименьшей.

Анализ теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что использование ножа с изогнутой формой в аппарате для резки на части плодоовощного сырья снижает энергоемкость процесса измельчения на 15% по сравнению с использованием ножа одностороннего клина и на 30% по сравнению с использованием ножа прямого клина.

При этом потеря сока у лимона при скользящем резании составила 3,9 и 4,1% от массы исходного плода, а при резании с помощью разработанного ножевого блока – 1,4 и 1,5% соответственно.

Литература

1. *Фатыхов Ю.А., Наумов В.А., Агеев О.В.* Моделирование процесса погружения дискового ножа в пищевой материал при резании // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 2. С. 18–28.
2. *Алексеев Г.В., Головацкий Г.А., Краснов И.В.* Некоторые направления повышения эффективности технологического оборудования для переработки пищевого сырья // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2007. № 3. С. 52.
3. *Арет В.А., Алексеев Г.В., Леу А.Г.* Особенности создания и работы инновационных пищевых производств // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 2(16). С. 87–91.
4. *Лебедь Н.И., Антонов Н.М., Искуснов Ю.В.* Результаты исследований размерно-массовых показателей плодов яблок // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1(26). С. 14–15.
5. *Минаева Л.В., Минаева Т.В., Кравцова Е.В., Алексеев Г.В.* Экспериментальное определение оптимальной формы лезвийного инструмента для измельчения фруктов и овощей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 3 (29). С. 32–38.
6. *Пеленко В.В., Кузьмин В.В.* Оптимизация формы режущей кромки лезвия ножа для волчка при измельчении охлажденного или дефростированного мясного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. № 1. С. 95–96.
7. *Лебедь Н.И., Антонов Н.М., Искуснов Ю.В.* Оптимизация режимов и параметров ломтикового измельчителя яблок // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 4(28). С. 160–164.
8. *Пеленко В.В., Зуев Н.А., Ольшевский Р.Г., Кондратов А.В., Кузьмин В.В., Хатченко Е.П., Азаев Р.А.* Оптимизация формы режущих элементов измельчительного оборудования // Межвуз. сб. науч. тр. Ч.1 «Развитие теории и практики создания оборудования для переработки пищевой продукции». 2004. С. 14–17.
9. *Ежова Л.А., Кравцова Е.В.* Сила квазистатического резания пищевых продуктов как решение краевой задачи стесненной деформации // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: сб. тр. Уфа, 2016. С. 38–40.
10. *Ежова Л.А., Кравцова Е.В.* Форма кромки ножа как упругая линия балки на упругом основании для квазистатического резания пищевых продуктов // Проблемы и перспективы развития науки в России и мире: сб. тр. Екатеринбург, 2017. Т. 3. С. 59–61.
11. *Алексеев Г.В., Кравцова Е.В., Шахов А.С.* Исследование возможности моделирования процесса резания в камере для измельчения фруктов и овощей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 3(61). С. 28–33.
12. *Арет В.А., Алексеев Г.В., Верболоз Е.И., Кондратов А.В.* Возможности управления процессом измельчения путем изменения структурно-механических свойств пищевой смеси // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2008. № 4. С. 54–58.
13. *Кравцова Е.В., Алексеев Г.В., Гончаров М.В.* Определение оценочных величин критической нагрузки для формы лезвийного инструмента // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 3(17). С. 59–65.

14. Лебедь Н.И., Антонов Н.М., Искуснов Ю.В. Ломтиковый измельчитель плодов // Сельский механизатор. 2013. №3. С. 12–14.
15. Пеленко В.В., Зувев Н.А., Ольшевский Р.Г., Азаев Р.А., Кузьмин В.В. Оптимизация формы режущей кромки рабочих органов измельчительного оборудования // Актуальные проблемы совершенствования торгово-технологического оборудования и повышение экономической эффективности торговых предприятий: сб. тр. СПб.: СПбТЭИ, 2007. С. 66–73.

References

1. Fatykhov Yu.A., Naumov V.A., Ageev O.V. Modelirovanie protsessa pogruzheniya diskovogo nozha v pishchevoi material pri rezanii [Simulation of an Elementary Knife Immersion Depth into a Material at Cutting of Fish]. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 2, pp. 18–28.
2. Alekseev G.V., Golovatskii G.A., Krasnov I.V. Nekotorye napravleniya povysheniya effektivnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya pererabotki pishchevogo syr'ya [Some directions of increase in efficiency of processing equipment for processing of food raw materials]. *News of St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies*. 2007, no. 3, P. 52.
3. Aret V.A., Alekseev G.V., Leu A.G. Osobennosti sozdaniya i raboty innovatsionnykh pishchevykh proizvodstv [Features of creation and work of innovative food productions]. *Technologies of food and processing industry of agrarian and industrial complex – products of healthy food*. 2017, no. 2(16), pp. 87–91.
4. Lebed' N.I., Antonov N.M., Iskusnov Yu.V. Rezul'taty issledovaniia razmerno-massovykh pokazatelei plodov yablok [Results of researches of dimensional and mass indicators of fruits of apples]. *News of the Lower Volga agrouniversity complex: Science and higher education*. 2013, no. 1(26), pp. 14–15.
5. Minaeva L.V., Minaeva T.V., Kravtsova E.V., Alekseev G.V. Eksperimental'noe opredelenie optimal'noi formy lezviinogo instrumenta dlya izmel'cheniya fruktov i ovoshchei [Optimum Form of the Blade Instrument for Pulverizing Fruits and Vegetables]. *Processes and Food Production Equipment*. 2016, no. 3(29), pp. 32–38.
6. Pelenko V.V., Kuz'min V.V. Optimizatsiya formy rezhushchei kromki lezviya nozha dlya volchka pri izmel'chenii okhlazhdennogo ili defrostirovannogo myasnogo syr'ya [Optimization of a form of the cutting knife blade edge for a top when crushing of the cooled or defrostirovanny meat raw materials]. *Food technologies*. 2009, no. 1, pp. 95–96.
7. Lebed' N.I., Antonov N.M., Iskusnov Yu.V. Optimizatsiya rezhimov i parametrov lomtikovogo izmel'chitel'ya yablok [Optimization of modes and parameters of a slice of apples]. *News of the Lower Volga agrouniversity complex: Science and higher education*. 2012, no. 4(28), pp. 160–164.
8. Pelenko V.V., Zuev N.A., Ol'shevskii R.G., Kondratov A.V., Kuz'min V.V., Khatchenko E.P., Azaev R.A. Optimizatsiya formy rezhushchikh elementov izmel'chitel'nogo oborudovaniya [Optimization of the shape of the cutting elements of the grinding equipment]. *Development of the theory and practice of creating equipment for processing food products*. Collection of works. 2004, pp. 14–17.
9. Ezhova L.A., Kravtsova E.V. Sila kvazistaticheskogo rezaniya pishchevykh produktov kak reshenie kraevoi zadachi stesnennoi deformatsii [Force of quasistatic cutting of foodstuff as the solution of a regional problem of the constrained deformation]. *Synthesis of science and society in the solution of global problems of the present*. Collection of works. Ufa, 2016, pp. 38–40.
10. Ezhova L.A., Kravtsova E.V. Forma kromki nozha kak uprugaya liniya balki na uprugom osnovanii dlya kvazistaticheskogo rezaniya pishchevykh produktov [Knife edge form as the elastic line of a beam on the elastic basis for quasistatic cutting of foodstuff]. *Problems and the prospects of development of science in Russia and the world*. Collection of works. Ekaterinburg, 2017. V. 3, pp. 59–61.
11. Alekseev G.V., Kravtsova E.V., Shakhov A.S. Issledovanie vozmozhnosti modelirovaniya protsessa rezaniya v kamere dlya izmel'cheniya fruktov i ovoshchei [Research of a possibility of modeling of process of cutting in the camera for crushing of fruit and vegetables]. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014, no. 3(61), pp. 28–33.
12. Aret V.A., Alekseev G.V., Verboloz E.I., Kondratov A.V. Vozmozhnosti upravleniya protsessom izmel'cheniya putem izmeneniya strukturno-mekhanicheskikh svoisty pishchevoi smesi [The possibilities of controlling the grinding process by changing the structural and mechanical properties of the food mixture]. *News of St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies*. 2008, no. 4, pp. 54–58.
13. Kravtsova E.V., Alekseev G.V., Goncharov M.V. Opredelenie otsenochnykh velichin kriticheskoi nagruzki dlya formy lezviinogo instrumenta [Determination of estimated values of the critical load for the shape of the blade tool]. *Technologies of food and processing industry of agrarian and industrial complex – products of healthy food*. 2017, no. 3(17), pp. 59–65.
14. Lebed' N.I., Antonov N.M., Iskusnov Yu.V. Lomtikovyi izmel'chitel' plodov [Slice fruit chopper]. *Sel'skii mekhanizator*. 2013, no. 3, pp. 12–14.
15. Pelenko V.V., Zuev N.A., Ol'shevskii R.G., Azaev R.A., Kuz'min V.V. Optimizatsiya formy rezhushchei kromki rabochikh organov izmel'chitel'nogo oborudovaniya [Optimization of the shape of the cutting edge of the working organs of grinding equipment]. *Actual problems of improving trade and technological equipment and increasing the economic efficiency of trade enterprises*. Collection of works. St. Petersburg, 2007, pp. 66–73.