

УДК 663.86.054.2+ 66-965.6

Исследование технологических особенностей процесса резания пищевых продуктов лезвийным инструментом

Кравцова Е.В. jenuska89@mail.ru,

Проф., д-р техн. наук **Алексеев Г.В.** gva2003@rambler.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье рассматривается процесс рубящего резания плодов, близких к сферической форме, посредством профилирования формы режущей кромки лезвийного инструмента, описаны разработанный аппарат для измельчения плодов и овощей с помощью рубящего резания и подобранная конструкция лезвийного инструмента. Рассмотрены физико-механические и структурные свойства плодов лимона, влияющие на ход процесса измельчения, рассмотрена физическая модель плода лимона как упругопластического тела. Найдена оптимальная форма лезвийного инструмента, позволяющая снизить возникающие усилия резания. Описана экспериментальная часть работы. Представлен процесс моделирования резки плодов лимона лезвийным инструментом на основе экспериментальных данных полученных в процессе измельчения, посредством которого были определены оптимальные параметры измельчения, позволяющие снизить влияние конструктивных и технологических параметров на характеристики процесса измельчения и выявить наиболее значимые из них.

Ключевые слова: плоды лимона; резка плодов и овощей на части; рубящее резание; лимон; форма ножа; микрогеометрия лезвия ножа; усилие резания.

Study of the technological features of the process of cutting food blade tool. Development of the device for cutting fruit and vegetables

Kravcova E.V. jenuska89@mail.ru,

Prof. D.Sc. **Alexeev G.V.** gva2003@rambler.ru

University ITMO

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

The article considers the process of slashing cut fruit to special spherical shape by shaping forms the cutting edge of the blade tool, described apparatus designed for chopping fruits and vegetables with the help of the slash cut of knife body and developed design blade body. The physical-mechanical and structural properties of foods, influencing the course of the grinding process, the physical model is considered as the fruit of lemon elastic body. The optimal shape of the cutting blade, allows to reduce the cutting forces arising. Describes the experimental part of the work. Presents the simulation of cutting fruits on the basis of

experimental data, allowing determining the effect of design and process parameters on the characteristics of the grinding process and identifying the most important of them.

Keywords: lemon fruit; cutting fruit and vegetables on the side; slash cut; shape of the knife; micro-geometry of the knife blade; cutting force.

Анализ известных конструкций измельчителей для резки на части плодов и овощей, близкой к сферической форме, показал, что они не удовлетворяют современным требованиям и имеют ряд недостатков: большой процент потерь сока, в отношении со скользящим резанием, сравнительно большие габариты и энергоёмкости проведения процесса. [1,7,8]

Основными параметрами, характеризующими процесс резания, являются: его скорость и усилия резания, возникающие при этом, характер упругих деформаций разрезаемого материала, а также вид и геометрия режущего инструмента. На процесс резания большое влияние оказывают влажность разрезаемого материала и его физико-механические свойства. Используя геометрические параметры режущей кромки инструмента, оптимальные параметры микрогеометрии лезвия ножа позволит улучшить качество среза, снизить деформационно-силовое воздействие на материал, уменьшить усилие резания и увеличить его производительность. Одним из важных аспектов исследования процесса механического резания является силовое взаимодействие лезвия и материала, возникающее при наличии противорежущего подпора со стороны последнего, а основными параметрами, характеризующими это взаимодействие - усилие и работа резания и, как следствие, возникающее под режущей кромкой разрушающее напряжение (σ_p) [2].

Основной целью работы является разработка инновационного устройства для резки плодов и овощей на части, совмещающего в одном рабочем объеме несколько технологических операций. Особое внимание уделено закономерности упругого деформирования исследуемого материала. Вследствие научного поиска и рассмотрения, известных измельчителей различных продуктов, было предложено устройство для измельчителя, на конструкцию этого устройства получен патент на полезную модель РФ [3].

Разработанное устройство относится к области технических средств, предназначенных для измельчения различных плодов и овощей для использования в пищевой и консервной промышленности, а также в сфере обслуживания, например, для приготовления газированных напитков с мякотью.

Устройство содержит опорные поверхности и сопряженный с ними ножевой блок. Резка на части плодов и овощей осуществляется за счет воздействия на них двух опорных поверхностей, выполненных в виде полусфер вращающихся с некоторым зазором, в котором неподвижно установлен ножевой блок. К числу недостатков указанного технического решения относится материалоемкость и сложность исполнения

исполнительных органов. Так, например, вращение опорных поверхностей должно быть строго согласованным для исключения смятия плода при резке. Технической задачей устройства является повышение производительности и уровня автоматизации технологического процесса.

Устройство для резки на части плодов и овощей, близких к сферической форме, рисунок 1, состоит из опорных поверхностей, выполненных в виде цилиндра снабженного сквозным направляющим крестообразным вырезом с вертикальным пазом 1 и горизонтальным пазом 2, и сопряженным с ними ножевого блока 3. При этом в вертикальном пазу 1 размещен ножевой блок 3, выполненный в виде пластины с установленными по обе стороны перпендикулярно ее поверхности и соосно с горизонтальным пазом крестообразного выреза опорными полочками 4.

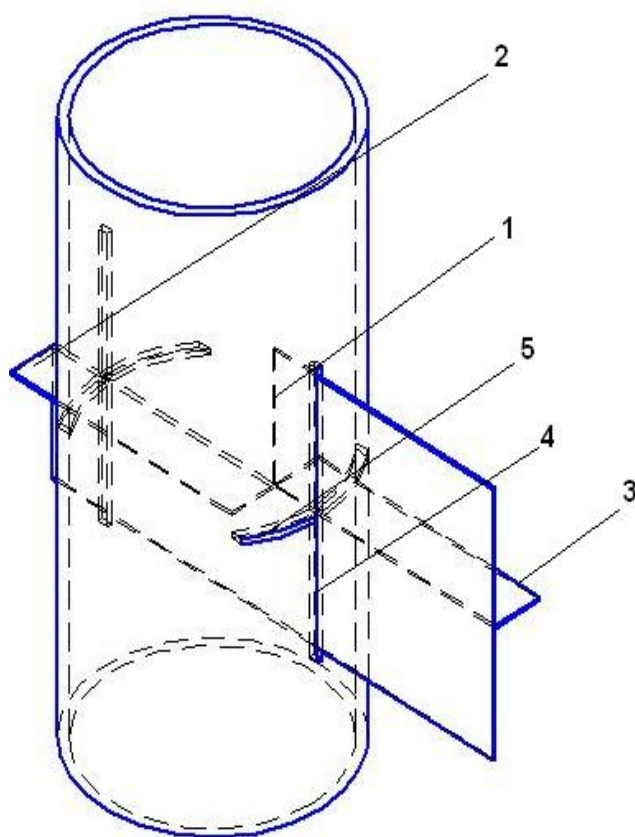
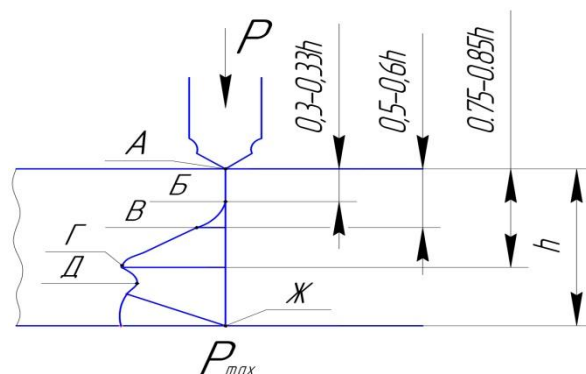


Рисунок 1 – Устройство для резки на части плодов и овощей, близких к сферической форме

Для уменьшения затрат на постановку эксперимента в качестве имитирующих материалов использовали изготовленную модель установки для резки и плоды лимона. В качестве критерия оценки эффективности работы установки выбирали время разрезания (продолжительность времени), усилие резания упруго-деформируемого плода, работу резания, а так же потерю сока при различных видах лезвийного инструмента. Чем больше потери, тем ниже эффективность резки для данного вида материала.

Взаимодействие лезвийного инструмента с разрезаемым материалом более наглядно может быть показано с помощью диаграммы изменения усилий, соответствующих погружению ножа в материал, представленного на рисунке 2. [4]

Рисунок 2 – Взаимодействие лезвийного инструмента с плодом лимона



В начале процесса - на участке АБ начинается деформация материала под действием лезвия клина. На участке приложения силы происходит вдавливание лезвия в поверхность материала и начинается его одноосное сжатие в плоскости клина и двухосное растяжение в плоскости опоры. В результате поверхность материала (его верхний слой флавело и альбеда) слегка прогибается, образуя под лезвием впадину. При дальнейшем внедрении лезвия резака в материал (участок БВ) общая объемная деформация материала и усилие P увеличиваются. Следствием этого является разрыв вакуолей лимона, выделение сока и уплотнение материала. На следующем участке диаграммы (ВГ) интенсивность роста усилия P увеличивается, достигая в точке Г максимума (критического значения $P_{кр}$). При дальнейшем погружении лезвия клина в материал (участок ГД) отмечается падение силы P . Важно отметить, что на этом участке процесс резания однородного материала значительно отличается от резки неоднородного плода.

На участке ДЕ происходит окончательное разделение верхней группы слоев плода и начинается внедрение лезвия клина в последующие нижние слои кожуры. Участок ЕЖ характеризуется полным разделением слоев плода (окончанием процесса резания).

Работу предварительного сжатия слоя материала можно выразить зависимостью:

$$A_{сж} = \mathcal{E} \cdot \frac{h_{сж}}{h} \tag{1}$$

где \mathcal{E} - модуль сжатия материала лезвием, имеющий размерность работы; $h_{сж}$ - толщина уплотненного лезвием слоя материала в момент начала резания. [5]

В связи с этим для практических расчетов представляет интерес рассмотрение обобщенного профиля лезвия резака и получение аналитических зависимостей для определения силовых параметров его взаимодействия с материалом для большинства используемых профилей, описывая их как частные случаи. Такой профиль показан на рисунке 3, на котором также представлена принятая нами расчетная схема применительно к этому профилю.

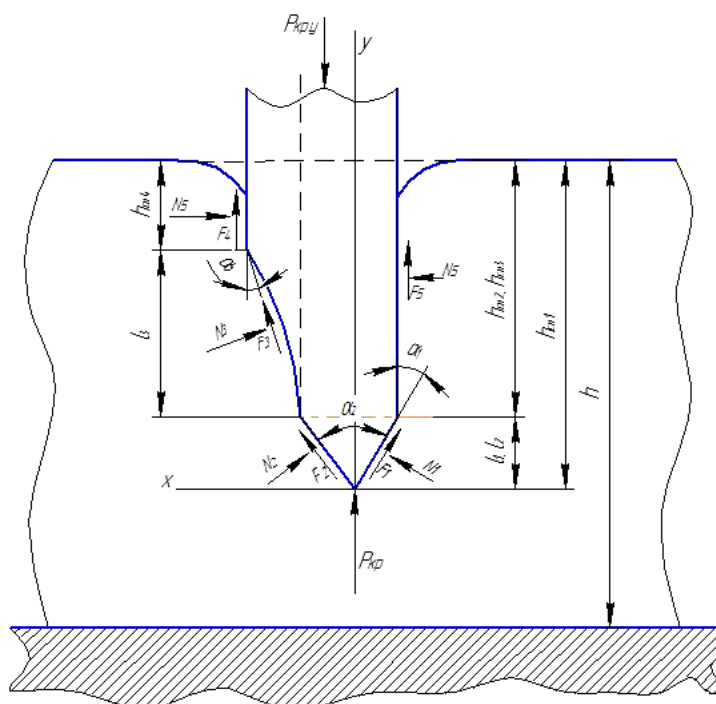


Рисунок 3 - Силовое взаимодействие лезвия ножа с материалом

Вогнутый спуск лезвийного инструмента, благодаря параллельным боковым поверхностям оказывает минимальное сопротивление при резке, но только пока не углубится в разрезаемый материал сколько-нибудь заметно. Более того, будет оно минимально возможным для данного материала, потому что при соответствующей ширине клинка угол его спуска можно вывести довольно острый. Боковые поверхности клинка стабилизируют его движение в разрезаемом материале и помогают удерживать постоянное направление и точную плоскость реза [6].

Положение кожуры на выходе лезвия ножа с плода усиливает усилие резания примерно в 50 раз в отличие от случая, когда кожура плода на входе лезвия или совсем отсутствует. Работа, затраченная на разрезание кожуры в конкретном случае мала, но

если кожура располагается при выходе лезвия, она формирует сопротивление деформированию плода при введении лезвия. Большое давление возникает на боковой поверхности лезвия ножа, значительно возрастает сила трения. Экспериментальные данные подтверждают, что максимальное сопротивление скорости резания возникает при приближении лезвия к кожуре. При резании плода лимона, такое расстояние составляет 0,5— 1 мм. Такое поведение разъясняет дифференциальное уравнение мгновенного усилия резания по времени:

$$F_r + (C + k_1 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + m \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + B e^{-bt} = 0 \quad (2)$$

Среднее значение усилия на разрезание плода лимона лезвийным инструментом при рубящем резании равно 8,8 Н. Удельное сопротивление плода лимона разрезанию – 265 Н/м. В качестве основного показателя в лабораторных исследованиях был принят фактор, учитывающий энергетические затраты – усилие резания, Н. В результате расчетов получены некоторые уравнения регрессии в кодированном виде, формула 3:

$$P = 127,8 + 10,1x_1 - 6,3x_2 + 0,1x_3 + 0,2x_1x_2 + 0,4x_1x_3 + m + 0,6x_2x_3 + 5,3x_1^2 + 3,3x_2^2 + 10x_3^2. \quad (3)$$

Анализ показал, что для того, чтобы энергоемкость процесса была минимальной, необходимо использовать следующие значения показателей эксперимента: сдвиг ножа по горизонтали относительно центра материала $x_1 = 1,8 \dots 2,0$ мм, скорость разрезания $x_2 = 0,019$ м/с. При этом усилие разрезания будет равно 1070 Н/м.

В результате работы получены аналитические решения уравнений упругой деформации с участием твердой фазы, описывающих поведение кожуры лимона в процессе измельчения. Получение экспериментальной зависимости усилия резания при поступательном движении ножей, контактирующих с плодом, подбор оптимальной формы лезвийного инструмента, учитывающий физические и механические свойства измельчаемого продукта, позволяющие улучшить параметры процесса резания.

Внедрение в производство устройства для резки на части плодов и овощей, с выбранной конструкцией лезвийного инструмента позволяет снизить потери и повысить выход готового продукта, за счет уменьшения энергопотребления и снижения трудозатрат в момент разрезания плода, за счет выбора оптимальной формы ножа. Разработку и изготовление опытного образца устройства для резки на части плодов и овощей, близкой к сферической форме.

Список литературы

1. Г.В. Алексеев, Е.В. Кравцова, Особенности влияния взаимодействия сырья и рабочих органов в аппарате на тонкое измельчение фруктов и овощей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №1.

2. Е.И. Верболоз, А.В. Кондратов, Е.В. Кравцова, Возможные пути совершенствования измельчителя для фруктов и овощей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №2.

3. Патент на полезную модель №138201 Российская Федерация, МПК В02С13/00. Устройство для резки на части плодов и овощей / Алексеев Г.В., Башева Е.П., Кравцова Е.В., Минаева Л.В., Минаева Т.В.; заявитель и патентообладатель СПб НИУ ИТМО - №2013112542/13; заявл. 20.03.2014; опубл. 10.03.2014 – 3 с.: ил..

4. Алексеев Г.В. Основы теории решения изобретательских задач учеб. пособие / Г. В. Алексеев, Н. Б. Жарикова ; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищевых технологий. СПб., 2004.

5. Кравцова Е.В., Повышение эффективности процесса измельчения путем подбора оптимальных геометрических параметров лезвийного инструмента. // Материалы 6 Международной научно-практической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в 21 веке" -2013. - № ISBN 978-5-255556-80-2. - С. 103;

6. Н.Е Резник, Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов. - М.: Машиностроение, 1975, - 311с.;

7. Алексеев Г.В., Даниленко Е.А. Возможности моделирования измельчения пищевых добавок для продуктов функционального питания // Вестник Международной академии холода. 2011. № 2. С. 16-18.

8. Алексеев Г.В., Бриденко И.И. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа» Учебное пособие / – Саратов, 2013.

References

1. G.V. Alekseev, E.V. Kravtsova, Features of influence of interaction of raw materials and working bodies in the device on thin crushing of fruit and vegetables. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2013. №1.

2. E.I. Verbolo, A.V. Kondratov, E.V. Kravtsova, Possible ways of improvement of a grinder for fruit and vegetables. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2013. №2.

3. Patent for useful model No. 138201 Russian Federation, MPK V02S13/00. The device for are sharp on part of fruits and vegetables. Alekseev G.V., Basheva E.P., Kravtsova E.V., Minaeva L.V., Minaeva T.V.; заявитель и патентообладатель СПб НИУ ИТМО. №2013112542/13; заявл. 20.03.2014; опubl. 10.03.2014. 3 p.: il.

4. Alekseev G.V. Bases of the theory of the solution of inventive problems of studies. grant . G. V. Alekseev, N. B. Zharikova ; Feder. agentstvo po obrazovaniyu, Gos. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya S.-Peterb. gos. un-t nizkotemperatur. i pishchevykh tekhnologii. – SPb., 2004.

5. Kravtsova E.V., Increase of efficiency of process of crushing by selection of optimum geometrical parameters of the lezviyny tool. Materialy 6 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v 21 veke". 2013. № ISBN 978-5-255556-80-2. p. 103;

6. N.E Reznik, The theory of cutting by an edge and bases of calculation of cutting devices. M.: Mashinostroenie. 1975. 311 p.;

7. Alekseev G.V., Danilenko E.A. Possibilities of modeling of crushing of food additives for products of functional food. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2011. № 2. p. 16-18.

8. Alekseev G.V., Bridenko I.I. Virtual laboratory workshop on the course "Mechanics of Liquid and Gas" Manual. – Saratov, 2013.