

Y .B. Medvedkov¹, M. E. Kizatova¹, A. A. Shevtsov², A. V. Drannikov², S. L. Maslennikov³

¹Almaty technological university, Kazakhstan,

²Voronezh state university of engineering technologies, Russia,

³State university named after Shakarim, Semey, Kazakhstan.

E-mail: evg_bm@mail.ru, marzhany87@mail.ru, shevalol@rambler.ru, drannikov@list.ru, serzh.maslennikov.52@mail.ru

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL OF THE CRUSHING PROCESS IN THE MELON PULPING PLANT

Abstract. Melon production is the essential economy industry in many countries of the world. Melon is one of the most consumed food products; it ranks the fourth in the world in fruit consumption after oranges, bananas and grapes.

In initial melon processing, melon pulping and crushing is a big issue. We developed a plant for melon crushing and pulping in order to improve performance of process technologies and reduce power consumption in pulping and crushing.

The article justifies a physical and mathematical model to describe the process occurring in the plant. Product cutting and separating are the main processes. The cutting process is considered from two points of view in operation – as a solid body and as a viscoplastic body. That enabled us to apply the Newton's equation and Hooke's equation in order to examine the cutting process with regard to rheological properties of the product. An equation for calculation of theoretical capacity of the cutting (crushing) process upon continuous product feed was established. In addition, an equation for determining power required to perform the process was suggested.

Based on the established equation, cutting mass capacity and power required to perform crushing process were determined.

Key words: melon, grinding, model, work, power.

УДК 663/664

Е. Б. Медведков¹, М. Е. Кизатова¹, А. А. Шевцов², А. В. Дранников², С. Л. Масленников³

¹Алматинский технологический университет, Казахстан,

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия

³Государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ МЯКОТИ ПЛОДОВ ДЫНИ ОТ КОРКИ

Аннотация. Производство дыни является важнейшей отраслью экономики многих стран мира. Дыня является одним из наиболее употребляемых продуктов, занимая четвертое место среди плодов потребляемых во всем мире, после апельсинов, бананов и винограда.

При первичной переработке дыни большой проблемой является отделение корки дыни и измельчение мякоти. Нами было создана установка для измельчения (протирки) мякоти и отделения корки от дыни с целью повышения производительности технологических процессов и сокращения энергозатрат при отделении корки и измельчении мякоти.

В статье обоснована физико-математическая модель для описания процесса протекающего в установке. Основным процессом является процессы резания и разделение продукта. В работе процесс резания рассматривается с двух позиции: как твердое тело и вязкопластичное тело. Это позволило применить уравнение

Ньютона и Гука для исследования процесса резания с учетом реологических свойств продукта. Выведено уравнение для расчета теоретической производительности процесса резания (измельчения), при непрерывной подаче продукта. Кроме того, предложено уравнение для определения мощности необходимой для выполнения этого процесса.

На основании выведенных уравнений была определена массовая производительность резания и необходимая мощность для осуществления процесса измельчения.

Ключевые слова: дыня, измельчение, модель, работа, мощность.

Введение. Бахчевые культуры имеют большое пищевое, кормовое и техническое значение. Продукция этих культур может употребляться как в натуральном виде, так и в виде продуктов переработки.

Выращенная в республике дыня может перерабатываться на продукты длительного хранения, также из семян дыни можно получать масло для парфюмерной промышленности, отходы семян при производстве масла являются ценным кормом для скота, а из корки дыни извлекают пектин. Однако дыня в основном реализуется в свежем виде, большая часть урожая не реализуется и в лучшем случае используется в виде корма для сельскохозяйственных животных. В связи с этим переработка плодов дыни является актуальной задачей.

Перед переработкой требуется разделить плод на составляющие части. Уровень механизации этого процесса составляет около 15% [1]. В настоящее время все процессы связанные с первичной обработкой сырья, в частности, с очисткой дыни от кожуры, ее резкой и измельчением ведутся в основном вручную, а существующие конструктивно - технологические решения машин по очистке плодов от корки, не обеспечивают при переработке бахчевых эффективной и качественной работы [2, 3]. Механизация процесса переработки позволит поднять его производительность и снизить себестоимость продукции. Поэтому особую актуальность приобретает создание новой универсальной установки по очистке плодов дыни от корки и семян, измельчения мякоти, имеющей высокую производительность и малые энергозатраты, о которой написано в работе [4].

Методы исследования. Поскольку обрабатываемый продукт имеет сложную реологическую характеристику, теоретическое исследование процесса измельчения и разделения по фракциям по нашему мнению необходимо рассмотреть с двух позиций. Рассматривать данный продукт как твердое тело с применением уравнений Ньютона и Гука, дополняя уравнение реологическими коэффициентами. Эти коэффициенты устанавливались экспериментально с помощью устройства для определения реологических параметров продукта. Также часть показателей уточнялась экспериментально на специальной лабораторной установке для измельчения (протирки) мякоти и отделения корки. В этой связи использованную методику можно отнести физико-математическому моделированию.

Результаты исследования. Нами была разработана и изготовлена экспериментальная для измельчения (протирки) мякоти и отделения корки дыни, которая запатентована [5].

Экспериментальная установка содержит корпус 1, нож для отделения мякоти 2, валок с шипами 3, терка цилиндрическая 4, вал терки 5, скребок 6, желоб для протертой мякоти 7, кожух 8, желоб для корки 9. Долька дыни коркой вниз подается в зазор между валком и неподвижным ножом 2. При этом корка накалывается на шипы вращающегося валка 3, а затем перемещается им в сторону ножа 2 и терки 4. При этом на терке происходит измельчение мякоти и отделение от нее корки. Срезанная корка удаляется через желоб для сбора корки 9. Измельченная мякоть дыни с помощью скребка 6 снимается с терки и направляется через желоб в сборник для протертой мякоти 7.

Теоретической основой для расчета процесса измельчения и разделения служит предложенная авторами физико-механическая модель измельчения мякоти и срезания корки с долек дыни, которая приводится ниже.

Элементарную энергию (работа) dA (Дж), необходимую для процесса резания, можно описать уравнением [6]:

$$dA = dA_1 + dA_2 + dA_3, \quad (1)$$

где dA_1 – элементарная энергия (работа), расходуемая на объемное пластическое деформирование, Дж; dA_2 – элементарная энергия (работа), расходуемая на образование элемента новой поверхности (на пределе молекулярных сил или поверхностной энергии), Дж; dA_3 – элементарная энергия, расходуемая на компенсацию потерь, связанных с процессом трения и выделением при этом тепла, Дж.

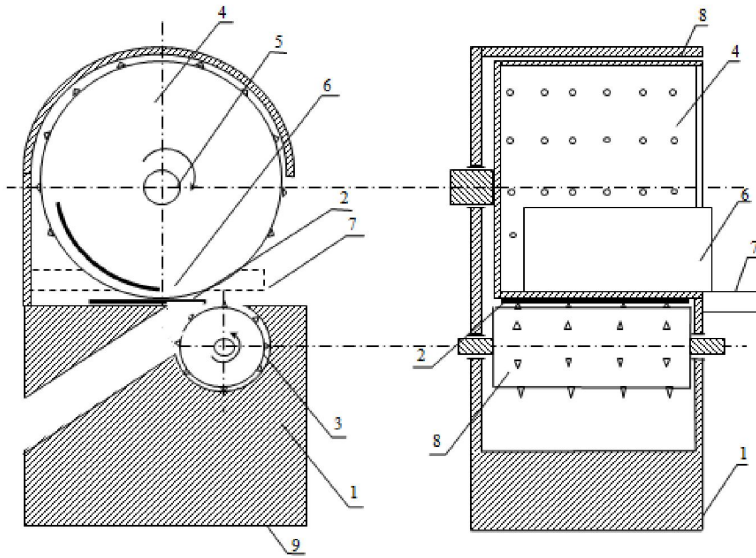


Рисунок 1 – Схема установки для измельчения (протирки) мякоти и отделения корки плодов, преимущественно дынь.

Элементарная энергия (работа), расходуемая на объемное пластическое деформирование, Дж.
 Элементарная энергия (работа), Дж.

$$dA_1 = \frac{\sigma^2 \cdot dV}{2E}, \quad (2)$$

где σ – напряжение разрушения (резания), Па; dV – элементарное приращение объема при деформации, м^3 ; E – модуль упругости второго рода, характеризующий прочностные свойства данного материала (продукта), Па [3].

При исследовании физико-математической модели выбора модуля упругости нами учитывались реологические свойства дыни.

Полная энергия (работа), расходуемая на объемную деформацию:

$$A_1 = \frac{\sigma^2}{2E} \int dV, \quad (3)$$

Элементарная энергия (работа), расходуемая на образование элемента новой поверхности (на пределе молекулярных сил или поверхностной энергии), Дж; определяется из выражения:

$$dA_2 = H_F \cdot dF, \quad (4)$$

где H_F – постоянная для данного материала, характеризующая его поверхностно-активные свойства или иначе удельная работа (энергия), расходуемая на образование единицы площади разрезаемого материала, Дж/м²; H_F – можно определить через удельную силу резания, которая определена для дыни и описана в работе [3]; dF – элементарное приращение поверхности при деформации резания, м².

Полная энергия (работа), расходуемая на образование новой поверхности определяется выражением:

$$dA_2 = H_F \int dF. \quad (5)$$

Элементарная энергия, расходуемая на компенсацию потерь, связанную с процессом трения и выделением соответственно тепла, Дж. Определялось из выражения

$$dA_3 = f \cdot G \cdot \cos \alpha \cdot dl, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения скольжения материала о поверхность режущего органа; f – коэффициент трения описано в работе [7]; G – вес материала, Н; α – угол между направлениями силы и перемещением продукта; dl – путь перемещения разрезаемого материала, м.

Полная энергия (работа), трения и выделения тепла:

$$A_3 = f \cdot G \cdot \cos \alpha \int d\ell . \quad (7)$$

Каждая составляющая зависит от состояния продукта: при обработке пластичных материалов основная часть энергии затрачивается на пластическую деформацию, при этом возрастает роль поверхностной энергии.

Резание как частный вид измельчения, характеризуется общим для класса механических процессов кинетическим уравнением вида:

$$u_p = \frac{dP}{F \cdot dt} , \quad (8)$$

где u_p – скорость разрушения (резания); dP – элементарная сила резания (измельчения); F – площадь измельчения (резания); dt – элементарное время измельчения (резания).

Для установившегося (стационарного-равномерного по времени и геометрическим параметрам) процесса резания уравнение (8) примет вид:

$$u_p = \frac{P}{F \cdot \tau} . \quad (9)$$

Анализируя размерность величины u_p в (8), получим:

$$\left[\frac{P}{F \cdot \tau} \right] = \left[\frac{H}{M^2 \cdot c} = \frac{K\mathcal{E} \cdot M}{c^2 \cdot M^2 \cdot c} = \frac{K\mathcal{E}}{c \cdot M \cdot c^2} \right] -$$

представляет собой среднюю массовую скорость на единицу длины линейного направления резания (м), которая либо ускоренно увеличивается, либо ускоренно снижается в общем случае (c^2).

Таким образом, можно сделать заключение, что $u_p = u_m$ – это массовая линейная скорость резания.

С другой стороны, согласно второму закону Ньютона сила разрушения (резания) P :

$$P = m \cdot \frac{du}{dt} , \quad (10)$$

где du – элементарная скорость движения режущего органа при разрушении (резании); m – масса объекта, воспринимающего силу резания (измельчения); dt – элементарное время резания.

Аналогично рассуждая, для установившегося (стационарного-равномерного по времени и геометрическим параметрам) процесса резания уравнение (10) примет вид:

$$P = m \cdot \frac{u}{\tau} . \quad (11)$$

Тогда имеем:

$$P \cdot \tau = m \cdot u , \quad (12)$$

где $P \cdot \tau$ – импульс силы резания; $m \cdot u$ – инерционное количество движения, как сопротивление резанию.

Откуда средняя скорость резания u :

$$u = \frac{P \cdot \tau}{m} . \quad (13)$$

Анализируя размерность величины u в (13), получим:

$$\left[\frac{P \cdot \tau}{m} \right] = \left[\frac{H \cdot c}{K\mathcal{E}} = \frac{K\mathcal{E} \cdot M \cdot c}{c^2 \cdot K\mathcal{E}} = \frac{M}{c} \right] -$$

представляет собой среднюю скорость линейного направления резания.

Таким образом, $u = u_n$ – это линейная скорость резания.

Сравниваем уравнения (9) и (13).

$$u_m = \frac{P}{F \cdot \tau} \quad (14)$$

и

$$u_n = \frac{P \cdot \tau}{m} \quad (15)$$

Выразим P через u_n (15):

$$P = \frac{u_n \cdot m}{\tau}$$

Выразим u_m через u_n (15):

$$u_m = \frac{P}{F \cdot \tau} = \frac{\frac{u_n \cdot m}{\tau}}{F \cdot \tau} = \frac{u_n \cdot m}{F \cdot \tau^2} = u_n \cdot \frac{m}{F \cdot \tau^2} \quad (16)$$

Теоретическую производительность резания при непрерывной подаче материала можно определить через массовую скорость M_T (кг/с) [5]:

$$M_T = \rho \cdot u_n \cdot b \cdot h, \quad (17)$$

где ρ – средняя плотность материала, кг/м³; b – средняя ширина пласта подаваемого материала; h – средняя высота пласта подаваемого материала.

Фактическая массовая производительность резания M_Φ (кг/с):

$$M_\Phi = \frac{\varphi \cdot \Phi}{F_p \cdot (1 + \alpha)}, \quad (18)$$

где φ – коэффициент использования режущей способности ножа; Φ – режущая способность ножа, м²/с; F_p – поверхность раздела или половина вновь образованной поверхности раздела при разрезании 1 кг продукта, м²/кг; α – отношение длительности подсобных операций к длительности непосредственно резания (в среднем $\alpha = 0,2, \dots, 0,3$).

Мощность необходимая для осуществления процесса измельчения N (кВт):

$$N = \frac{F_p \cdot M_\Phi}{1000 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (19)$$

где η_1 – КПД процесса резания данным ножом заданного материала; η_2 – КПД привода подачи заданного материала.

Обсуждение результатов. Предложенная нами для расчетов понятие массовой линейной скорости резания $u_p = u_m$ и использование его в уравнениях Ньютона и Гука позволили вывести уравнение для расчета теоретической производительности резания, для условий непрерывной подачи материала. По рассчитанной производительности можно определить мощность машины для измельчения и разделения продукта

Выводы. Полученные зависимости могут использоваться для описания процесса, протекающего в установке для измельчения (протирки) мякоти и отделения корки дыни, которая позволяет определить теоретическую производительность резания при непрерывной подаче материала и мощность электродвигателя резательной машины, а также в инженерных и технологических расчетах.

Источник финансирования исследования. Министерство образования и науки Республики Казахстан. Бюджетная программа 217 «Развитие науки», подпрограмма 102 «Грантовое финансирование», приоритетное направление: «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», тема №0400/ГФ4 «Разработка высокоэффективной технологии комплексной переработки дыни с получением продуктов функционального назначения» (2015–2017 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Садовников М.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров машины для резания мякоти плодов бахчевых при переработке на цукаты: дис. ... канд.техн.наук: 05.18.01. – Волгоград, 2012. С.
- [2] Семин Д.В. Совершенствование технологии и машины для удаления коры с плодов тыквы: дис. ... канд.техн.наук: – Волгоград, 2006.
- [3] Медведков Е.Б., Кизатова М.Е., Шевцов А.А., Дранников А.В. Прочностные характеристики дынных корок // Вестник Алматинского технологического университета. – 2016. -№2 (6). – С.5-10.
- [4] Медведков Е.Б., Байболова Л.К., Адмаева А.М., Шевцов А.А., Кизатова М.Е. Современные проблемы и перспективные направления совершенствования оборудования для подготовки плодов дыни к переработке//Тезисы докл. междунар. науч.-техн.конф. «Инновационные аспекты развития оборудование пищевой и гостиничной индустрии в условиях современности»: -11 сентября 2015 г. – Харьков: ХДУХТ, 2015. –С.173-174

- [5] Заключение о выдаче патента. 1400990 РК. «Устройство для отделения корки и измельчения мякоти плодов округлой формы, преимущественно дыни» / Е.Б. Медведков, М.Е. Кизатова, А.М. Адмаева, А.А. Шевцов, А.В. Дранников, Л.К. Байболова, Е.Д. Шамбулов; опубл. 05.12.2016
- [6] Горбатов, В.М. Результаты испытания машин для нарезания мясопродуктов ломтиками / В.М. Горбатов, Н.Ф. Генералов. М.: ЦНИИТЭИ мясной промышленности, 1966. – С.25.
- [7] Иманбаев А.Ж. Совершенствование процесса механической обработки дыни путем резания: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Алматы, 2008. – 123с.

REFERENCES

- [1] Sadovnikov M.A. Substantiation of constructive and technological parameters of the machine for cutting fruit pulp melons during processing for candied fruits: dis. ... candidate of technical sciences: 05.18.01. - Volgograd, 2012.
- [2] Semin D.V. Improvement of technology and machines to remove bark from pumpkin fruits: dis. kand.tech.of Sciences – Volgograd, 2006.
- [3] Medvedkov E.B., Kizatova M.E., Shevtsov A.A., Drannikov A.V. Strength characteristics of melon crusts // Bulletin of Almaty Technological University. - 2016.-№2 (6). - P.5-10.
- [4] Medvedkov E.B., Baibolova L.K., Admaeva A.M., Shevtsov A.A., Kizatova M.E. Modern problems and perspective directions of perfection of the equipment for melon fruit preparation for processing // Theses dokl. Intern. Scientific-technical con. «Innovative aspects of the development of food and hotel industry equipment in modern conditions»: September 11, 2015 - Kharkov: KhDUHT, 2015.-P.173-174
- [5] Conclusion on granting of a patent. 1400990 RK. «Device for separating the peel and grinding the pulp of the fruit is rounded, mainly melon» / E.B. Medvedkov, M.E. Kizatova, A.M. Admaeva, A.A. Shevtsov, A.V. Drannikov., L.K. Baibolova, E.D. Shambulov; publ. 05.12.2016
- [6] Gorbatov V.M. Results of testing machines for slicing meat products with slices / V.M. Gorbatov, N.F. The generals. M.: TsNIIITEI of the meat industry, 1966. - P.25.
- [7] Imanbayev A. Zh. Improving the process of mechanical processing of the melon by cutting: dis. kand.tech. of sciences: 05.18.01. Almaty, 2008. – 123p.

Е. Б. Медведков¹, М. Е. Кизатова¹, А. А. Шевцов², А. В. Дранников², С. Л. Масленников³

¹Алматы технологиялық университеті, Қазақстан,

²Воронеж мемлекеттік инженерлік-технология университеті, Ресей,

³Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті, Қазақстан

ҚАУЫН ЖЕМІСІНІҢ ЖҰМСАҒЫН ҚАБЫҒЫНАН АЖЫРАТУҒА АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫДА ҰСАҚТАУ ҮРДІСІНІҢ ФИЗИКО-МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аннотация. Қауын өндірісі әлемнің көптеген елдерінің экономикасының маңызды саласы болып есептелінеді. Қауын көп тұтынылатын жемістердің бірі болып табылады, әлемдегі тұтынылатын апельсин, банан және жүзім жемістерінен кейін төртінші орын алады. Қауынды алғашқы өңдеу, яғни қабығынан ажырату мен жұмсағын ұсақтау үлкен өзекті проблема болып табылады. Біз қауын жемісінің жұмсағын ұсақтауға және қабығын аршуға арналған қондырғы жасау арқылы технологиялық үрдістердің өнімділігін арттыру және қауын жемісінің жұмсағын ұсақтау және қабығын аршу кезіндегі энергия шығынын азайтуды көздедік.

Қондырғыда өтетін үрдісті сипаттау үшін мақалада физико-математикалық моделі негізделген. Кесу үрдісі және өнімді бөлу негізгі үрдіс болып табылады. Жұмыста кесу үрдісі қатты дене және тұтқырлы пластикалық екі позицияда қарастырылады. Бұл өнімнің реологиялық қасиеттерін есептей отыра кесу үрдісін зерттеу үшін Ньютон және Гук теңдеулерін пайдалануға мүмкіндік берді. Өнімді үздіксіз беру кезінде кесу (ұсақтау) үрдісінің теориялық өнімділігін есептеуге арналған теңдеу шығарылды. Сонымен қоса, осы процесті орындау үшін қажетті қуатты анықтауға арналған теңдеу ұсынылды. Шығарылған теңдеулердің негізінде кесудің массалық өнімділігі және кесу үрдісін орындауға арналған қажетті қуат анықталды.

Түйін сөздер: қауын, ұсақтау, модель, жұмыс, қуат.

Сведения об авторах:

Медведков Евгений Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация и автоматизация технологических процессов» Алматинского технологического университета, evg_bm@mail.ru

Кизатова Маржан Ержановна – PhD докторант кафедры «Механизация и автоматизация технологических процессов» Алматинского технологического университета, marzhany87@mail.ru

Шевцов Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производства» Воронеж. гос. ун-т. инж. техн. shevalol@rambler.ru

Дранников Алексей Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производства» Воронеж. гос. ун-т. инж. техн. drannikov@list.ru

Масленников Сергей Львович – доктор технических наук, профессор кафедры «Машин и аппаратов пищевых производств» Государственного университета имени Шакарима, serzh.maslennikov.52@mail.ru