

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ДВОХПОДПОРНОГО РЕЗАНИЯ СТЕБЛЕЙ КУКУРУЗЫ

Николай Завирюха

Николаевский государственный аграрный университет
г. Николаев, ул. Крылова 17 А.

Аннотация. В статье представлена методика аналитической оценки силовых энергетических показателей процесса двухподпорного резания стеблей кукурузы в интегрированном измельчающем аппарате

Ключевые слова: энергоемкость, резание стеблей кукурузы, нож, угол заточки, силы резания, оптимизация

ВВЕДЕНИЕ

Процесс резания представляет собой особый вид измельчения и поэтому подчиняется общим законам разрушения материалов под действием внешних сил, превышающих силы молекулярного сцепления. Однако этот процесс имеет свои специфические особенности, которые более полно отражаются в теории резания лезвием. В теории измельчения резкой рассматривают два комплекса вопросов, которые включают вопросы сочетание теории процесса резания лезвием, изучающая влияние различных факторов на величину угла заточки ножа и энергоемкость процесса измельчения [1,2].

Недостаточное измельчение листостебельной массы приводит к тому, что она не может быть использована в качестве кормов, а также уменьшает ее минеральную ценность - в качестве биоудобрений. В свою очередь интенсивное механическое воздействие рабочих органов стеблеизмельчающих машин на сырье может приводить к потерям нативных свойств стеблей кукурузы и даже к их физико-химической деструкции [3,4]. Измельченная листостебельная масса, полученная с помощью таких машин имеет рыхлую консистенцию, а готовый продукт имеет неудовлетворительные органолептические показатели. Поэтому при конструировании кукурузо- и силосоуборочных машин нужно учитывать гиб-

ридное происхождение растений и его сложное физико-химическое строение. В связи с этим рабочие органы дробильных аппаратов должны иметь геометрические параметры и обеспечивать такие режимы измельчения, которые не влияли на химический состав сырья и измельчали его с высоким качеством, с необходимой степенью дисперсности и с минимальными затратами энергии.

Значительная часть энергии, которая расходуется на процесс измельчения, рассеивается в продукте и превращается в теплоту, которая провоцирует повышенное затупления режущей кромки. Поэтому разработка дробильных аппаратов должна проводиться на основе детальных исследований процессов резания стеблей кукурузы с учетом действующих силовых и энергетических показателей.

Цель исследований заключается в аналитической оценке энергетических показателей двухподпорного резания стеблей кукурузы, в частности в интегрированном измельчающем аппарате, и определение направлений дальнейшего совершенствования рабочих органов измельчающих машин для уменьшения энергопотребления и обеспечения высокого качества исходной продукции.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование рабочих процессов в ГАП гидросистем на основании разработанной математической модели.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Теорию резания лезвием разработал академик Горячкин В.П., дальнейшее развитие она получила в трудах Желиговского В.А., Резника Н.Е. [5,6,7,8], а также в работах других ученых.

При оценке способа измельчения и конструкции рабочих органов измельчающих аппаратов прежде всего следует учитывать физико-механические свойства измельчаемых материалов и выбирают такие способы воздействия на материал при его разрушение может быть достигнуто при малейших нагрузках и расходе энергии.

По линии контакта лезвия со слоем перерезанного материала возникают достаточно высокие контактные нормальные разрушающие нагрузки. В этом случае грани клина, которые называются фасками, существенного влияния на процесс резания не создают. Еще Горячкин В.П. установил, что в процессе резания лезвием решающее значение имеет скользящее движение ножа, так как он заметно снижает предел нормального давления на материал, который необходим для процесса резания, и обеспечивая более чистый срез. Проникновение ножа слой материала при наличии бокового движения объясняется влиянием ряда факторов, важнейшим является угол заточки ножа (лезвия) [9,10,11].

Из анализа условий резания лезвием основное значение имеют такие параметры режима, как нормальное давление ножа на материал, боковой скользящее движение ножа и кинематическая трансформация угла заточки. Угол заточки ножа задается от измельчаемого материала. По данным Ефремова М.Г. прирост силы резания по мере затупления ножа при работе с измельчающей культурой, с малыми углами заточки рабочих органов меньше, чем с большими. Анализируя экспериментальные данные, он пришел к выводам, чем меньше угол заточки, тем меньше изменяется усилие резания от остроты.

Угол заточки выбираете такой, при котором лезвие остается достаточно устойчивым к излому, длительное время сохраняет свою остроту, а усилия остается равным минимуму.

Анализ последних исследований и публикаций, посвященных процессам резания органических материалов [12, 13, 14, 15] показывает, что большинство из них направлены на оптимизацию общих энергетических показателей процесса для конкретных условий работы измельчающих аппаратов. Вместе с тем установлено [16, 17, 18], что сложный процесс резки органических материалов можно разделить на ряд более простых: разрушение структуры сырья, деформирования продукта в зоне резания, трения инструментов между собой и по сырью и др.. Поэтому системное изучение основных элементарных составляющих процесса резания способствовать углублению знаний в области биологического сырья и более целенаправленной работе над созданием и усовершенствованием измельчающих аппаратов с целью внедрения энергосберегающих технологий приготовления высококачественного измельченного листостебельной массы.

Методика исследований основана на аналитическом обобщении знаний из областей физики твердого тела, физико-химической механики материалов, теории резания органических и синтетических материалов для оценки влияния значимых факторов на энергетические показатели резания листостебельной массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В процессе измельчения листостебельной массы кукурузы к режущим органам машины непрерывно подводится энергия от ее привода. Таким образом, в локальную область взаимодействия ножа и продукта подводится внешняя сила и такую систему «нож-стебель» нельзя считать замкнутой. Кроме того, происходит значительная диссипация энергии в прилегающих к

зоне резки объемах продукта. Это значит, что в обособленной системе «нож-стебель» не может быть применен закон сохранения энергии [19]. Вместе с тем резание лезвием можно представить как процесс образования трещины, боковые поверхности которой нагружены распределенным напряжением, которое обусловлено силами, возникающими при воздействии клина ножа на стебель. Для такой трещины можно применять условия классической равновесия и уравнения импульсов [20, 21]. Силы, возникающие при

контакте клиноподобного инструмента с продуктом, во время его движения выполняют некоторую работу и передают энергию разрезанным частицам стеблей кукурузы.

Согласно теореме «живых» сил для сплошной среды полный приток внешней энергии можно представить как сумму работ для выполнения элементарных процессов, которые сопровождают процесс измельчения (рис. 1) (разрыв структурных связей, деформации, трения и др.).

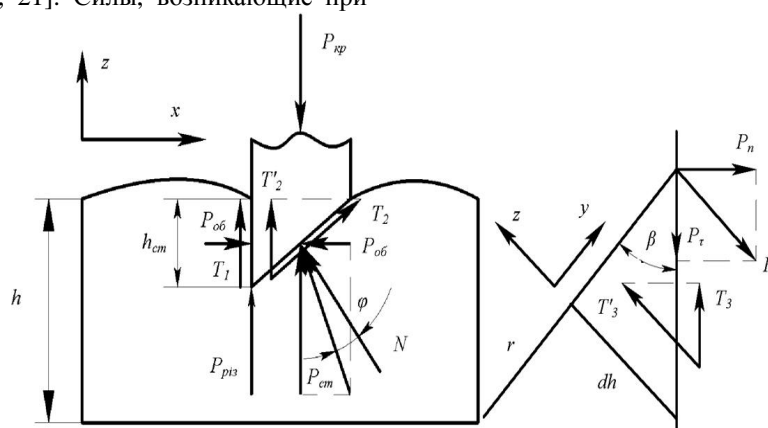


Рис. 1. Сопrotивление, возникающее при проникновении лезвия в стебель

Fig. 1. Resistance occurs when the blade penetrates into the stem

При резании стеблей кукурузы 80-85% от общего расхода энергии используется на пластические деформации и 15-20% - на преодоление молекулярных сил или поверхностной энергии. Напряжение резания уменьшаются пропорционально уменьшению предварительной деформации. Предыдущая деформация будет зависеть от удельной площади контакта лезвия (рис. 2) и материала перерезается, а также от угла скольжения лезвия по следующим соотношениям:

$$0 < \beta < 45^\circ \quad k_f = 1 - \frac{tg\beta}{2}, \quad (1)$$

$$45 < \beta < 90^\circ \quad k_f = \frac{1}{2tg\beta}, \quad (2)$$

где k_f - коэффициент удельной площади контакта лезвия и разрезаемого материала.

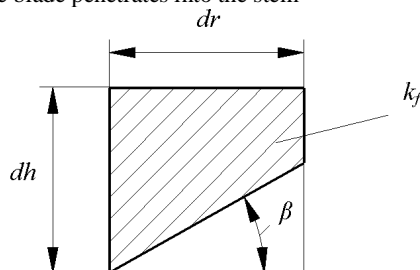


Рис. 2. Схема для определения коэффициента удельной площади контакта лезвия и стеблей кукурузы

Fig. 2. Scheme to determine the sar area of contact blades and stalks of corn

Исходя из анализа уравнений, приведенных в монографии Л.С. Мороза [10], описывающие измельчения твердых тел, а также на основе других исследований [3,11] можно сделать вывод, что общая работа, которая затра-

чивается на резание стеблей кукурузы, является суммой следующих составляющих:

$$\sum_{i=1}^5 dE = dE_1 + dE_2 + dE_3 + dE_4 + dE_5, \quad (3)$$

где: dE_1 - элементарная работа на преодоление сил сцепления структурных связей продукта, Дж;

dE_2 - элементарная работа на пластическую деформацию продукта, расположенного в зоне лезвия инструмента перед разрезом, Дж;

dE_3 - элементарная работа на смещение боковин сечения и деформации продукта вблизи этих боковин, Дж;

dE_4 - элементарная работа на преодоление сил трения инструмента по боковинах сечения, Дж;

dE_5 - элементарная работа на предоставление кинетической энергии измельченным кускам продукта, Дж.

Очевидно, что элементарная работа dE_5 выполняется, когда измельченные частицы листостебельной массы выбрасываются из зоны резания с некоторой скоростью.

Работу на преодоление сил сцепления структурных связей продукта можно определить из соотношения:

$$E_1 = \sum_{i=1}^n dE_1 = \int_0^l \int_0^{\tau} \sigma_H(l) \cdot dl \cdot V_{pis} \cdot d\tau, \quad (4)$$

где: $\sigma_H(l)$ - удельное усилие разрыва структурных связей;

l - длина режущего лезвия;

V_{pis} - скорость проникновения режущего элемента в продукт;

τ - время проникновения режущего элемента в продукт.

По мере величины удельного усилия разрушение структурных связей принята средняя интегральная величина усилия разрыва структурных связей, которая может быть наиболее точно определена эмпирическим путем. Но в самой природе его определения заложено много факторов (степень затупления инструмента, его форма, шероховатость поверхности и т.п.), которые

позволяют провести расчеты только для конкретной ситуации и при наличии экспериментальных данных.

Наибольшее влияние на удельное усилие разрыва структурных связей $\sigma_H(l)$ при резке лезвием оказывают:

- масса стебля (m);

- физико-механические свойства стебля, в том числе, жесткости стебля ($E \cdot J$);

- скорость резания стеблей (V) и время удара режущего инструмента (τ);

- комплексный коэффициент, учитывающий конфигурацию инструмента (K), в том числе, способа резки (без-, одно- и двухподпорное), угла скольжения и заточки, поверхности режущей кромки, а также толщины лезвия.

Таким образом, удельное усилие разрыва структурных связей функционально определяется следующими характеристиками и параметрами:

$$\sigma_H(l) = \frac{F_{pis}}{l} = \frac{f(m; V_{pis}; E \cdot J; \tau; K)}{l}. \quad (5)$$

Скорость проникновения лезвия в продукт может быть постоянной по всей длине лезвия и тогда процесс похож на рубку, или переменной при некоторых видах скользящего резания.

Для обоснования критических скоростей и минимального усилия резания необходимо определить режимы на которые можно разделить процесс резания. Если предположить, что фаза резки развивается в деформируемой зоне и вызывает напряженное состояние волокон стебля и последующее их разрушение, то при анализе этого процесса целесообразно выделить три последовательные режимы, при которых определяют критические скорости резания [5]:

1. Квазистатический - режим, при котором скорость резания меньше первой критической, имеет место процесс квазистатического деформации измельчаемого материала. Происходит переход от разрушения материала по слабым сечениям слоя не совпадает с плоскостью разреза, к разрушению

материала в плоскости разреза. За счет этого усилие резания возрастают. Время воздействия кромки лезвия на сырье обратно пропорционален скорости. Отсюда следует вывод, что с удалением от центра вращения лезвия, для одного и того же значения величины линейной деформации, время воздействия на сырье уменьшается, так же уменьшается и объем деформации сырья действительно обратно пропорционален линейной скорости или радиус-вектора r точки режущей кромки при вращательном движении рабочих органов.

2. Ударный - режим, при котором происходит ударное воздействие лезвия на продукт. Описание процесса резания в этом случае связан с использованием теории удара. Величина ускорений слоев материала достигает значительных величин.

3. Волновой - режим, при котором скорость резания превышает скорость распространения звука в данном материале, в измельченной массе происходит возникновение ударных волн. Напряжение передаются в материал со скоростью звука. При превышении скорости резания скорости распространения напряжений, напряжения оказываются сконцентрированными - локализованными в лезвия.

При резке лезвием материал разрушается в основном под действием давления вершины двухгранных углов рабочей части ножа, называемой лезвием. Рабочий процесс резания материала лезвием состоит из двух этапов: предварительного уплотнения и собственно резания. Представим это в виде кривой (рис. 3).

Начальная часть кривой отображает процесс сжатия - уплотнение. Сам процесс резания характеризуется волнообразной кривой - последовательностью упругих (bc, de) и пластических (ab, cd) деформаций, которые завершаются разрушением материала. Сила сжатия, действующая со стороны ножа и способна нарушить процесс резания, называется критической силой. Для при-

ближенной оценки усилия в произвольный момент резания продукта участок нарастания силы P можно аппроксимировать четвертой частью синусоиды гармонического закона [12]:

$$P = P_0 \cdot \sin \omega t, \quad (6)$$

где: $P_0 = \delta \cdot l \cdot \sigma_{np}$ - значение силы резания;

δ - острота лезвия;

l - длина режущего лезвия, которая принимает участие в работе;

σ_{np} - прочность стеблей кукурузы на разрыв;

ω - текущее значение угловой скорости.

Тогда:

$$P = \delta \cdot l \cdot \sigma_{np} \cdot \sin \omega t. \quad (7)$$

Учитывая, что девиатор тензора напряжений при деформировании вязкоупругих тел пропорциональна девиатору тензора перемещений [2,13] будем считать, что перемещение таких тел при деформации перед резанием носит также гармоничный характер, а потому:

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi), \quad (8)$$

где: x_0 - путь, который проходит лезвие при погружении его в продукт перед перерезанием, или прогиб стебля до момента перерезания (рис. 4);

φ - отставание деформации от фазы роста силы.

Величина прогиба стебля будет влиять на общую работу резания. С увеличением прогиба время перерезания, при постоянной скорости, будет увеличиваться, а ударное воздействие лезвия на стебель уменьшится. Это явление негативно влияет на работу режущих аппаратов при безподпорном и одноподпорном резании стеблей. Поэтому было предложено конструкцию режущей пары, состоящей из лезвия и двух противорежущих элементов, которая апробирована в интегрированном измельчающем устройстве. Экспериментальным путем получены значения зазора между режущим и противорежущими элементами резальной пары,

для стеблей толстостебельных культур составляет:

$$0,03 \cdot d \geq e \geq 0,1 \cdot d, \text{ мм},$$

где: d - средний диаметр стебля, мм.

При этом зазоре достигается нужная качество измельчения листостебельной массы при минимальной скорости резания и работе на отклонения и перерезания стеблей кукурузы.

Работа, которую выполняет гармоничная сила на малом перемещении dx равняется $P \cdot dx$, или $P \cdot \frac{dx}{dt} \cdot dt$.

Очевидно, что работа на предыдущую деформацию продукта перед резкой при гармоническом законе изменения силы резания равна:

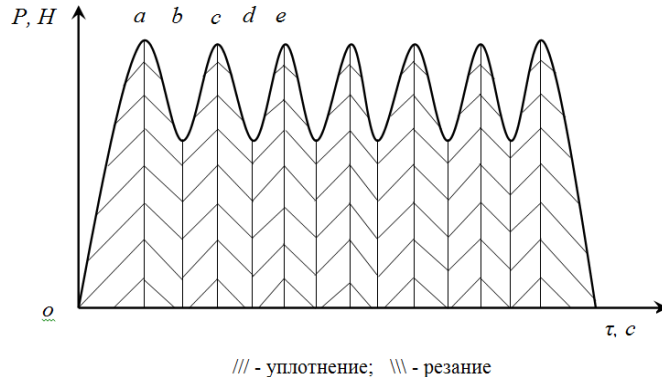


Рис. 3. Рост усилия при ударном взаимодействии инструмента со стеблем кукурузы

Fig. 3. Growth of the efforts under shock interaction with the tool of corn

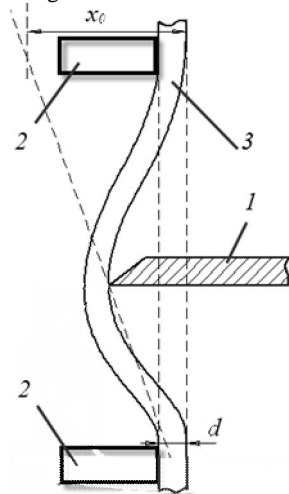


Рис. 4. Схема для определения величины прогиба стебля: 1 - режущий элемент, 2 - противорежущие пластины 3 - стебель кукурузы

Fig. 4. The scheme for determining the deflection of the stem: 1 - cutting element, 2 - the counter plate 3 - a stalk of corn

$$E_1 = \int_0^{\pi/2} \delta \cdot l \cdot \sigma_{np} \cdot \sin \omega t \cdot x_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t - \varphi) \cdot dt = \delta \cdot l \cdot \sigma_{np} \cdot x_0 \cdot \int_0^{\pi/2} \sin \omega t \cdot \cos(\omega t - \varphi) \cdot d(\omega t) = \delta \cdot \sigma_{np} \cdot l \cdot x_0 \cdot \int_0^{\pi/2} \sin \omega t \cdot (\cos \omega t \cdot \cos \varphi + \sin \omega t \cdot \sin \varphi) \cdot d(\omega t). \quad (9)$$

Учитывая, что $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)$ и интегрируя уравнение (9) по частям получим:

$$E_1 = \frac{\delta \cdot l \cdot \sigma_{np} \cdot x_0}{4} \cdot (\pi \cdot \sin \varphi + \cos \varphi). \quad (10)$$

Величина φ постоянная для заданных режимов резания, но она зависит от скорости взаимодействия режущего лезвия со стеблем. С помощью метода накатанных сеток [3] было установлено, что для статических режимов резания $\varphi = 90^\circ$, а с уменьшением скорости резания постепенно уменьшается и при перемещении острого лезвия со скоростью более 3 ... 5 м / с величина φ стремится к нулю ($\varphi \approx 0$).

Работа по уплотнению продукта перед резанием является переменной величиной. Она самая большая при статических режимах резания, когда величина деформации достигает наибольшего значения, и уменьшается при увеличении скорости резания [1, 14, 15]. Кроме того, значение внешней силы достаточной для перерезания продукта зависит от ряда факторов, в частности от радиуса закругления режущего лезвия. Экспериментально установлено [1, 3], что величина усилия резания при внедрении режущего лезвия в продукт постепенно увеличивается к обеспечению разрушение структурных связей. Работа этой силы может быть найдена из соотношения:

$$E_2 = \sum_{i=1}^n dE_2 = \int_0^{\pi} \sigma_H(\rho; l) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot dl, \quad (11)$$

где $\sigma_H(\rho; l)$ - удельная величина линейной силы резания;

$$\sigma_H(\rho; l) = \frac{\bar{P}_{cm}}{l} = \frac{E \cdot k_f \cdot tg\alpha \cdot \frac{h_{cm}^2}{h}}{\left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right) \cdot l}, \quad (12)$$

E - модуль упругости для стеблей кукурузы;

γ - коэффициент, что учитывает время деформации;

α - угол заточки лезвия;

h_{cm} - предыдущая деформация стебля;

h - толщина стебля, что перерезается.

τ - время погружения режущего лезвия до перерезания структурных связей продукта при данных режимах;

ρ - радиус закругления лезвия инструмента.

$$E_2 = \sum_{i=1}^n dE_2 = \int_0^{\tau} \int_0^l \frac{E \cdot k_f \cdot tg\alpha \cdot \frac{h_{cm}^2}{h}}{\left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right) \cdot l} \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot dl. \quad (13)$$

Работа на перемещение боковин продукта при резании в основном расходуется на деформирование прилегающих к зоне резки объемов. Величина этой работы определяется произведением сил, распределенных по рабочим граням клина режущего лезвия, на

величину прилегающих к этим граней поверхностей сечения:

$$dE_3 = N \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds, \quad (14)$$

где: $V_{pi3} \cdot d\tau$ - значение перемещения поверхности сечения;

ds - элементарная площадь на боковой грани клина;

N - удельная сила, действующая на фаску ножа и вызывающая перемещение поверхности сечения:

$$\vec{N} = \vec{P}_{cm} \cdot \sin\alpha + \vec{P}_{об} \cdot \cos\alpha, \quad (15)$$

$$E_3 = \iint_S N \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds = \iint_S (\vec{P}_{cm} \cdot \sin\alpha + \vec{P}_{об} \cdot \cos\alpha) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds. \quad (16)$$

Величина работы на перемещение боковин пересечения продукта в общем случае равна работе сил, потраченных на деформирование объема продукта, прилегающей к зоне сечения [7]:

$$E_3 = \iiint_V (\vec{P}_{cm} \cdot \sin\alpha + \vec{P}_{об} \cdot \cos\alpha) \cdot \xi_{ij} \cdot d\tau \cdot dV, \quad (17)$$

где: ξ_{ij} - тензор скоростей деформаций

в объеме V ;

$\xi_{ij} \cdot d\tau$ - тензор деформаций в объеме V .

Учитывая, что время релаксации напряжений значительно больше время контакта лезвия со стеблем, условно считаем, что силы сжатия листостебельной массы лезвием инструмента остаются постоянными при дальнейшем (после проникновения лезвия в стебель) движении режущего инструмента в пластическом среде.

Очевидно, что распределенные силы P_{ij} вызывают при смещении боковых поверхностей режущего клина относительно стеблей силы трения, которые также выполняют некоторую работу:

$$E_4 = E_4' + E_4'', \quad (18)$$

где: E_4' - работа сил трения продукта на пределе ножа;

$$E_4' = \iint_{S_1} f \left(P_{об} + p_0 \frac{h_{cm}}{\cos\beta} \right) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_1, \quad (19)$$

где: f - коэффициент трения между измельченной массой и материалом лезвия;

$P_{об}$ - сила обхвата части стебля, которая перерезается режущим элементом;

$$\vec{P}_{об} = \frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right)}, \quad (20)$$

p_0 - адгезия стеблей, что измельчаются к материалу ножа.

Тогда:

$$E_4' = \iint_{S_1} f \left(\frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right)} + p_0 \frac{h_{cm}}{\cos \beta} \right) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_1, \quad (21)$$

где: E_4'' - работа сил трения продукта на фаске лезвия.

$$E_4'' = \iint_{S_2} f \cdot \left(N + p_0 \frac{b}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \right) \cdot \cos \alpha \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_2, \quad (22)$$

Тоисть:

$$E_4 = \iint_{S_1} f \left(\frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right)} + p_0 \frac{h_{cm}}{\cos \beta} \right) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_1 + \iint_{S_2} f \cdot \left(N + p_0 \frac{b}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \right) \cdot \cos \alpha \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_2, \quad (23)$$

где: S_1 , S_2 - площади, соответственно, боковой грани лезвия и боковой поверхности тела режущего инструмента;

f - коэффициент трения между измельченной массой и материалом лезвия.

Очевидно, что площади S_1 и S_2 зависят от геометрических параметров инструмента, а длина $V_{pi3} \cdot d\tau$ взаимного контакта инструмента и продукта определяется с учетом площади сечения продукта. Размер P_{ij} также может быть определена экспериментально. Силы трения легко определяются опытным путем в условиях, соответствующих условиям трения при резке.

Работа на предоставление кинетической энергии отрезанным кускам продукта определяется с учетом их массы и скорости движения:

$$E_5 = \iiint_V dE_5 = \iiint_V m_i \cdot V_{pi3} \cdot dV \cdot dV = \frac{m \cdot V_0^2}{2}, \quad (24)$$

где V_0 - скорость центра массы отрезанного кусочка;

m - масса отрезанного кусочка продукта;

V - объем кусочка.

Тогда в общем виде уравнение для определения общей работы резания примет следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^5 dE &= \frac{\delta \cdot l \cdot \sigma_{np} \cdot x_0}{4} \cdot (\pi \cdot \sin \varphi + \cos \varphi) + \int_0^l \int_0^{\tau} \frac{E \cdot k_f \cdot tg \alpha \cdot h_{cm}^2}{\left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right) \cdot l} \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot dl + \\ &+ \iiint_V (\vec{P}_{cm} \cdot \sin \alpha + \vec{P}_{об} \cdot \cos \alpha) \cdot \xi_{ij} \cdot d\tau \cdot dV + \\ &+ \iint_{S_1} f \left(\frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\gamma}\right)} + p_0 \frac{h_{cm}}{\cos \beta} \right) \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_1 + \\ &+ \iint_{S_2} f \cdot \left(N + p_0 \frac{b}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \right) \cdot \cos \alpha \cdot V_{pi3} \cdot d\tau \cdot ds_2 + \frac{m \cdot V_0^2}{2}, \end{aligned} \right. \quad (25)$$

ВЫВОДЫ

При резке листостебельной массы режущий инструмент выполняет работу, связанную с предыдущим деформи-

рованием стеблей, разрывом ее структурных образцов, смещением поверхности разрезания от плоскости резания и все эти элементарные процессы сопровождаются трением продукта по

поверхностям инструментов. Очевидно, что каждый процесс влияет не только на физико-химические свойства продукта, но и на трансформацию геометрических параметров инструментов и кинетика резки. Причем влияние каждого из этих факторов на все составляющие выполняемой работы далеко неоднозначен.

Поэтому для оптимизации работы измельчающих аппаратов, инструменты которых осуществляют двохподпорне резание стеблей кукурузы, по количеству затраченной на резание энергии необходимо анализировать влияние кинетических и геометрических параметров на каждую составляющую выполненной инструментом работы и внедрить оптимизацию процесса по суммарным затратам работы, или энергии, не оставляя без внимания показатели качества измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрієвський Р.О., 1974. Міцність тугоплавких сполук / Андрієвський Р.О., Ланін А.Г., Римащевський Г.А.. — М. : Металургія. — 327.
2. Бондаренко А.В., 2008. Обоснование кинематических параметров початкоотделяющего аппарата пассивного вибрационного действия / Бондаренко А.В., Ракул А.И. // Motrol. — Vol. 10B. 124—132.
3. Бондаренко О.В., 2010. Адаптированный початкоотделяющий аппарат : Материалы Международной научно-практической конференции (Минск 19-20 октября 2010 г) Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. — Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. — №5. 32-37.
4. Веников В.А., 1972. Кибернетика и моделирование в энергетике / Веников В.А., Мелентьев Л.А.. — М. : Наука. — 207.
5. Віннікова Л.Г., 2000. Теорія і практика переробки м'яса / Л.Г. Віннікова. — Ізмаїл: СМНЛ. — 172.
6. Гольберг И.И., 1970. Механическое поведение полимерных материалов / И.И. Гольберг. — М.: Химия. 190.
7. Дацишин О.В., 2005. Машини та обладнання переробних виробництв : навч. посібник / О.В. Дацишин, А.і. Ткачук, Д.С. Чубовта ін.; за ред. О.В. Дацишина. — К.: Вища освіта. 159.
8. Клименко М.М., 2006. Технологія м'яса і м'ясних продуктів : підручник / М.М. Клименко, Л.Г. Віннікова, І.Г. Береза та ін. ; за ред. М.М. Клименка. — К.: Вища освіта. 640.
9. Клюев В.В., 1978. Приборы и системы для измерения вибрации, шума, удара : справочник; в 2-х кн / Под ред. В.В. Клюева. — М.: Машиностроение. — Кн. 1. 448.
10. Корнюшко Л.М., 1993. Оборудование для производства колбасных изделий. Справочник/ Л.М. Корнюшко. — М.: Колос. 304.
11. Красниченко А.В., 1961. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А.В. Красниченко. — М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 860.
12. Лившиц В.Г., 1980. Физические свойства металлов и сплавов / Лившиц В.Г., Крапошин В.С, Линецкий Я.Г.. — М. : Металлургия. 218.
13. Мороз Л.С., 1984. Механика и физика деформаций и разрушения материалов / Л.С. Мороз. — Л.: Машиностроение. 224.
14. Партон В.З., 1985. Механика упругости пластического разрушения / В.З. Партон, Е.М. Морозов. — М.: Наука. 504.
15. Пелеев А.И., 1971. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А.И. Пелеев. — М.: Пищевая промышленность. 519.

16. Седов Л.И., 1976. Механика сплошной среды / Л.И. Седов. — М.: Наука, т.1, т.2. — 576.
17. Селезнев Ю.В., 2001. Управление проектами на основе системного решения изобретательских задач / Селезнев Ю.В., Кошкин К.В. // Сб. науч. трудов УГМТУ №6 (378). — Николаев: УГМТУ. 149—160.
18. Слепян Л.И., 1981. Механика трещин / Л.И. Слепян. — П: Судостроение. 296.
19. Сукач М.К., 2011. Сопротивление песчаного грунта при щелевом резании широким ножом / Сукач М.К., Новиков Р.Ю. // Motrol. — Vol. 13C. 183—189.
20. Сухенко В.Ю., 2000. Застосування плазмового напилення для підвищення довговічності м'ясорізальних вовчків / Сухенко В.Ю., Таран В.М., Сухенко Ю.Г. // Харчова промисловість. — К.: УДУХТ. — Вип. 45. 229-234.
21. Сухенко Ю.Г., 1993. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості / Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. — К.: Елерон. 107.
22. Третьяк Л.Н., 2004. Обработка результатов наблюдений: учебное пособие / Л.Н. Третьяк. — Оренбург: ГОУ УГО. 171.
23. Ферри Дж., 1963. Вязкоупругие свойства полимеров / Дж. Ферри; пер. с англ. — М.: Издательство иностранной литературы. 535.
24. Хикс Ч., 1967. Основные принципы планирования эксперимента, пер. с англ. — М.: Мир. 343.
25. Чижова Т.В., 1982. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов / Т.В. Чижова. — М.: Легкая и пищевая промышленность. — 302.
26. Шатилов К.В., 1981. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение. 224.
27. Ярцева М.Б., 1973. Методика математического планирования эксперимента / М.Б. Ярцева. — М.: Наука. 140.

ENERGY PERFORMANCE OF CUTTING CORN STALKS

Abstract: The proposed method of analytical evaluation of energy security indicators process of cutting cornstalks in an integrated grinding machine

Key words: energy, cutting corn stalks, knife sharpening angle, cutting force, the optimization