

исследовательских проектах между БГАТУ и высшими учебными заведениями Республики Казахстан аграрного профиля.

Активная внешняя научная деятельность университета способствует формированию авторитета Белорусского государственного аграрного технического университета и в целом Республики Беларусь за рубежом и является важным элементом в развитии научного и педагогического потенциала университета.

Научно-исследовательская работа студентов (НИРС) является одним из основных средств повышения качества подготовки специалистов, а также подготовки кадров высшей квалификации для АПК Республики Беларусь. НИРС тесно связана с учебно-воспитательной работой, направлена на привлечение студентов к участию в научно-исследовательских работах, проводимых кафедрами. В 2012 году более 2500 тысяч студентов принимали активное участие во всех формах НИРС (научно-исследовательская работа студентов). Ими опубликовано более 300 научных работ, получено 33 патентов на изобретения и полезные модели при участии 25 студентов, подано 112 заявок на получение патентов, результаты 20 НИРС внедрены в учебный процесс и 35 - в производство.

Научно-исследовательская работа в БГАТУ динамично развивается и является одним из определяющих факторов инновационного развития высшего учебного заведения. В 2013-2014 г. в структуре НИИМЭСХ планируется создание новых научных структурных подразделений: опытного производства для изготовления сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, Центра по механизации и технологиям овощеводства, а также научных лабораторий: диагностики гидросистем автотракторной и сельскохозяйственной техники; современных методов и средств технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники. Создание опытного производства позволит освоить выпуск конкурентоспособной высокотехнологичной экспортоориентированной продукции по разработкам ученых университета – сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Свидетельством признания значительного вклада учёных университета в осуществление научной и научно-технической деятельности, укрепление национальной безопасности, увеличение объёмов экспорта выпускаемой в республике высокотехнологичной продукции является отнесение НИИМЭСХ БГАТУ к первой категории по оплате труда работников науки (Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Государственного комитета по науке и технологиям №119/15 от 17 декабря 2012 года).

Университет открыт для контактов с учёными и научными центрами, предприятиями и специалистами по направлениям его научной деятельности. Мы будем признательны, если для сотрудничества Вы выберете наш университет, наших учёных и специалистов.

---

УДК 664.656

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ЛЕЗВИЯ**

*Гуць В.С., д.т.н., проф., Губеня А.А., к.т.н., доц., Вознесенский Д.В.  
(Национальный университет пищевых технологий, Украина)*

### ***Введение***

Производители резального оборудования в условиях жесткой конкуренции вынуждены постоянно совершенствовать процесс резания с целью снижения затрат энергии, металлоёмкости оборудования, обеспечения заданного качества поверхности среза, снижения стоимости оборудования и улучшения условий труда.

В справочной и научной литературы в большинстве случаев нет ответов на вопросы определения силы и мощности резания на этапе проектирования режущей машины, выбора режимов резания, выбора геометрических параметров резания. Производители оборудования на этапе проектирования не могут выбрать рациональные скорости режущего инструмента и подачи продукта, определить мощность приводов. Эти параметры определяются в условиях работы пищевых производств опытным путём, при значительных финансовых вложениях.

Большинство пищевых продуктов и других материалов, которые проявляют вязко-упругие свойства, нарезаются при высоких скоростях режущего инструмента – от 2-3 до 20 м/с, и низких скоростях подачи. Большинство исследователей резания проводили исследования при низких скоростях режущего инструмента.

Учитывая необходимость определения усилия резания при высоких скоростях режущего инструмента, проведёны экспериментальные и теоретические исследования.

### ***Методика определения силы резания***

Разработано простую, позволяющую определить силу резания при высокой скорости ножа. Методика заключается в использовании экспериментальной установки, которая выполнена в виде маятника. На коромысле маятника закреплён нож, который разрезает продукт. Такая конструкция позволяет в широких диапазонах изменять скорость ножа. Для определения силы резания на основании экспериментальных данных необходимо вывести ряд математических моделей.

**Экспериментальная установка**

Установка изготовлена в виде физического маятника (рис. 1). На торце коромысла 2 закреплен нож 4, который при опускании коромысла разрезает продукт 7. Скорость ножа и запас кинетической энергии изменяется в широких пределах запуском коромысла с разных углов, и изменением положение груза 3. Например, при длине коромысла 1.4 м и его весе 0.2 кг скорость ножа можно изменять от 0.1 до 8 м/с [5].

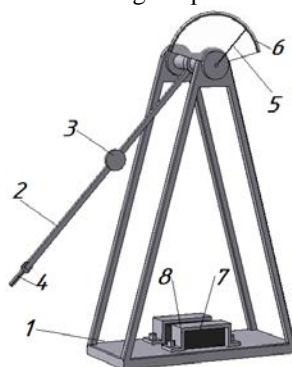


Рисунок 1 - Схема установки для исследования процесса резания

1 - станина; 2 - коромысло; 3 - груз; 4 - нож; 5 - указательная стрелка; 6 - шкала; 7 - продукт; 8 – фиксатор продукта.

Скорость ножа определяется по формуле:

$$V_{ex} = R \sqrt{2 \frac{\sum P_i r_i}{J} (1 - \cos \beta)} \quad (1)$$

где  $P_i$  - вес каждой детали коромысла,  $r_i$  - расстояние от центра масс детали к оси коромысла;  $\beta$  – угол запуска коромысла;  $R$  – длина коромысла;  $J$  – момент инерции всех деталей коромысла.

**Исследуемые продукты и материалы**

Предметом исследований были такие пищевые продукты и материалы:

1. Хлеб (отдельно корка и мякиш), батон «Нарезной» в.с., 0.5 кг, при времени выдерживания от 20 минут до 6 часов при нормальных условиях выдерживания.
2. Сыр твёрдый
3. Мясо (свинина), содержащее жилистую прослойку и кость. Резание совершалось поперёк волокон.
4. Высушенные стебли и листья мяты

**Математическое моделирование движения ножа в продукте**

Цель математическое моделирование – определить непосредственно силу резания при разных скоростях лезвия на основании экспериментальных данных, а именно, значениях скорости входа и выхода ножа в продукте (установка на рис. 1)

Составим дифференциальное уравнение движения лезвия в продукте. На нож действуют силы сопротивления:  $F_r$  - резания,  $G$  - трения между боковой поверхностью лезвия и продуктом,  $P_i$  - инерции. Сила трения определяют по формуле:

$$G = C_{mp} + k_l V = C_{mp} + k_l \frac{dy}{dt}, \quad (2)$$

где  $C_{mp}$  - коэффициент, зависящий от удельной нагрузки продукта на боковую поверхность ножа;  $V$  - скорость скольжения между продуктом и поверхностью ножа;  $k_l$  – коэффициент влияния скорости скольжения на силу трения;  $y$  - перемещение ножа в продукте;  $t$  - продолжительность резания.

Сила инерции  $P_i$ :

$$P_i = ma = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2}, \quad (3)$$

где  $m$  - приведенная к ножу масса режущего механизма;  $a$  - ускорение ножа в продукте.

Получаем уравнение движения:

$$F_r + G + P_i = 0 \quad (4)$$

Учитывая уравнение 2 и 3, раскрываем члены уравнения 1б:

$$F_r + (C_{mp} + k_l \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = 0 \quad (5)$$

Решение уравнения:

$$y(t) = \frac{C_1 \cdot m \cdot e^{-\frac{k_l t}{m}}}{k_1} - \frac{(F_r + C_{mp})t}{k_1} + C_2, \quad (6)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования.

При начальных условиях  $t=0 \Rightarrow y=0 \Rightarrow dy/dt=V_{oy}$ , имеем:

$$y(t) = \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} \cdot k_1) \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1^2} - \frac{(F_r + C_{mp}) \cdot t}{k_1} + \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} k_1) \cdot m}{k_1^2} \quad (7)$$

Дифференцируем уравнение 19:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} \cdot k_1) \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1} - \frac{F_r + C_{mp}}{k_1} \quad (8)$$

Из уравнения (8) находим силу резания:

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{\frac{k_1 t}{m}} (C_{mp} + V_{oy} k_1) + C_{mp}}{e^{\frac{k_1 t}{m}} - 1} \quad (9)$$

где  $dy(t)/dt$  - скорость движения ножа.

При расчете силы и мощности резания необходимо знать удельную силу резания как отношение силы резания к длине среза  $L$ .

$$F_{y0} = \frac{F_r}{L}, \quad N/m \quad (10)$$

### Результаты и обсуждение

Результаты моделирования применены для определения рациональных режимов резания пищевых продуктов. По формуле (21) определена удельная сила резания. Результаты установлены при скоростях ножа 1-10 м/с и представлены на рисунке 2.

Для относительно твёрдых и хрупких продуктов силы резания непрерывно возрастает при увеличении скорости ножа.

Скорость ножа необходимо выбирать при условии снижения усилия резания и деформации продукта. Например, для резания хлеба – это более 6 м/с, твёрдого сыра – более 3 м/с (рис.2).

Качество среза при высоких скоростях ножа повышается, уменьшается деформирование продукта под кромкой ножа [5].

#### Резание продуктов, которые имеет оболочку

При исследованиях замечено, что продукты, которые имеют тонкую прочную оболочку, проявляют разное сопротивление резанию в зависимости от расположения оболочки. Оболочка в продукте может располагаться на входе или выходе ножа, а также в середине. Примеры продуктов с оболочкой – хлеб, который состоит из мякиша и корки. Мясо, в котором есть кости и жилистые ткани. Овощи и фрукты, которые имеют наружную оболочку. А также упаковочные материалы, состоящие из разных по структуре слоёв.

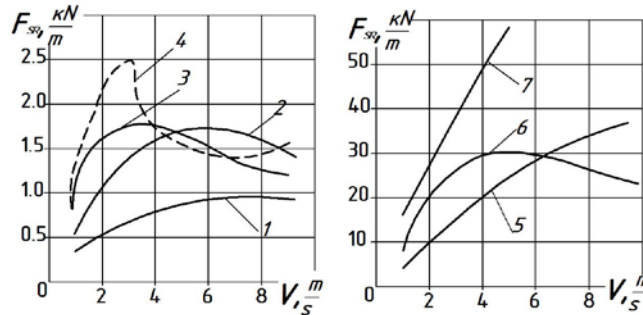


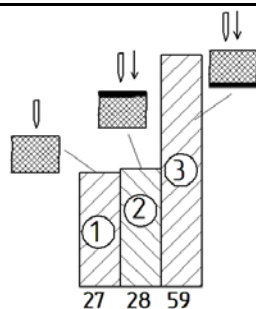
Рисунок 2 – Зависимость удельной силы резания от скорости лезвия в продукте  
1 – мякиш горячего хлеба; 2 – мякиш хлеба после охлаждения 6 часов; 3 – сыр твёрдый;  
4 – стебли мяты; 5 – корка хлеба; 6, 7 – мясо (свинина) при температуре 5° С и -5°С.

Приведём пример для резания мяса, которое имеет жилистую прослойку (рис. 3). Размещение оболочки на входе ножа в продукт незначительно влияет на увеличение силы резания. Если оболочка размещена на выходе ножа с продукта – сила резания возрастает в 2 раза.

В некоторых случаях расположение оболочки может изменять силу резания в 10-50 раз. Это характерно для многослойных материалов, мяса с костью, и многослойных упаковочных материалов.

Работа, затраченная на резание непосредственно оболочки, обычно незначительна. Но, если оболочка расположена на выходе ножа, она создаёт сопротивление деформированию продукта при внедрении ножа. При этом на боковую поверхность ножа действует большое давление, и возникает значительная сила трения. Экспериментально подтверждено, что наибольшее сопротивление движению ножа возникает при его максимальном приближении к оболочке [3,4,5].

При резании многослойного продукта необходимо вначале разрезать тонкую прочную оболочку, а потом – остальной объём продукта. Так снижаем силу резания, повышаем качество среза, повышаем срок службы ножа.



Удельная сила резания,  $kN/m$   
(скорость лезвия 3.3 m/s, температура мяса – 5 °C)

Рисунок 3 - Влияние расположения жилистой оболочки на удельную силу резания мяса  
1 – без оболочки; 2 – оболочка на входе лезвия в продукт; 3 – на выходе с продукта

### **Заключение**

Использование полученных результатов позволяет выбрать рациональные скорости ножа, снизить затраты энергии, уменьшить деформацию (смятие) продукта и повысить качество среза.

Научная новизна проведенных исследований - разработка математической модели движения ножа в продукте. Модель позволяет определить непосредственно силу резания при высокой скорости ножа для продуктов с разными структурно-механическими свойствами.

### **Литература**

1. Guts Viktor. Modelling of food product cutting / Viktor Guts, Oleksiy Gubenia, Stefan Stefanov, Wilhelm Hadjiiski // 10th International conference “Research and development in mechanical industry –2010”, Donji Milanovac, Serbia, 10-16 september 2010. V. 2. – P.1100-1105.
2. В. Гуць. А. Губеня. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами / Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2. – Пловдив – 2010. - С. 411-416
3. Gubenia O., Guts V. Modeling of cutting of food products / EcoAgroTourism. - 2010. - N1. – P. 67-71.
4. А. Губеня, С. Стефанов, В. Теличкун, В. Хаджийски. Усъвършенстване на конструкцията и режимите на работа на машина за рязане на хляб / Русенски университет «Ангел Кънчев». Начни трудове. Том 48. 2009. С. 186-189.
5. Гуць В. С., Губеня А. А.. Методика определения усилия резания пищевых продуктов / Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия. – 2009. - № 2. – С. 102-107.

УДК 681.5:621.382

## **СИСТЕМА ВИДЕОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ РАБОЧИХ ЗОН ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АПК**

*Ахременко В. Н., Братченя С.М., Канделинский С.Л., Ткаченко В.В., к.т.н., Шуляк В.В.  
(Объединенный институт проблем информатики – ОИПИ НАН Беларуси, Минск)*

### **Введение**

Современное промышленное оборудование агропромышленного комплекса как правило оснащают системами ограничения доступа (СОД) в опасные рабочие зоны на основе световых барьеров (фотобарьеров). Однако, в ряде случаев характер технологического процесса не позволяют использовать световые барьеры (СБ) в силу их конструктивных особенностей и принципа действия активных оптико-электронных устройств обнаружения. Традиционное устройство СБ — разнесенные на длину зоны чувствительности излучатель и приемник или совмещенные излучатель и приемник ИК излучения, оптически связанные через отражатель, отнесенный от них на длину зоны чувствительности [1]. При этом лучи барьера направлены, как правило, горизонтально. Эти обстоятельства не позволяют использовать СОД на базе световых барьеров в случаях, когда заготовки имеют сложную объемную форму и должны при этом удерживаться руками оператора одновременно с перемещением рабочего органа. Проблема контроля таких зон усугубляется, если рука или только пальцы, удерживающая соизмеримую с ней, или даже бóльшую по размерам заготовку, находится в непосредственной близости к опасности — режущей или рубящей кромке рабочего механизма, а места для размещения элементов линейного многоканального светового барьера нет. Пример такого рода деталей металлообрабатывающего оборудования — вырубной штамп.

В этом случае работоспособные технические решения могут быть получены с применением, в отличие от активных, какowymi являются световые барьеры, активно-пассивных систем обнаружения, например, технического зрения. В то же время, реальное использование телевизионных или видеокамерных СОД в охране труда сдерживается отсутствием эффективных программных средств распознавания по видеоизображениям ситуаций, недопустимых с точки зрения безопасности.