

**ГЕННАДИЙ ИВАНОВИЧ МАЛИНОВ**

доктор технических наук, профессор кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*malinov@psu.karelia.ru*

**ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ КОНДРАШОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*vkond@psu.karelia.ru*

**ТИММО АЛЕКСАНДРОВИЧ ГАВРИЛОВ**

аспирант кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*gavrilov@psu.karelia.ru*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛЕЗВИЯ В ПРОЦЕССЕ ОПОРНОГО РЕЗАНИЯ\*

Определены углы трения различных кормов животного происхождения о металлическую пластину. Проведен анализ условий, способствующих измельчению кормов и уменьшению энергозатрат. Для этих условий получены значения угла скольжения, общие для ряда исследуемых кормов.

Ключевые слова: угол защемления, угол трения, уменьшение энергозатрат, корма животного происхождения

### ВВЕДЕНИЕ

Процесс резания по своей роли в технологии приготовления кормов животного происхождения, а также по доли энергозатрат является одним из наиболее значимых. На этот процесс во всем мире расходуется до 50 % электроэнергии, затрачиваемой на приготовление кормов, причем большая часть электроэнергии расходуется непроизвольно и нерационально: превращается в тепло и другие виды энергии [1]. Вследствие этого весьма актуальным становится изучение наиболее значимых параметров процесса резания. Одним из таких параметров считается угол скольжения лезвия ножа  $\tau$  [3], [4], [6], [8]. Данный угол заключен между направлением движения рассматриваемой точки лезвия и нормалью к лезвию и может принимать значения в очень широком интервале:  $0^\circ \leq \tau \leq 90^\circ$ . Вместе с тем не на всем интервале значений угол скольжения способствует осуществлению процесса резания и уменьшению энергозатрат. Вследствие этого возникает необходимость определить из указанного интервала значения угла скольжения, которые способствуют осуществлению процесса резания и уменьшению энергозатрат, что и явилось целью настоящей работы.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В. А. Желиговский [4] экспериментально установил, что в зависимости от величины угла скольжения можно выделить три вида резания: нормальное, наклонное и скользящее. Причем при использовании скользящего резания происходит уменьшение энергозатрат вследствие

снижения нормального усилия за счет кинематической трансформации угла заточки, переноса части силы трения с нормального на тангенциальное направление, кинематической трансформации кромки лезвия и пилившего воздействия кромки. Вид скользящего резания осуществляется при условии:

$$\tau \geq \varphi. \quad (1)$$

Данные В. А. Желиговского подтверждаются результатами исследований [2], [7], выявившими снижение энергозатрат на процесс резания и уменьшение нормального усилия резания при увеличении угла скольжения лезвия.

В. П. Горячкин [3] в ходе исследования процесса опорного резания установил, что для того чтобы материал в процессе опорного резания удерживался между лезвиями и не выскальзывал, необходимо, чтобы угол защемления  $\chi$  был равен или меньше двойного угла трения:

$$\chi \leq 2\varphi. \quad (2)$$

Кроме того, угол защемления  $\chi$  равняется сумме углов наклона лезвия ножа  $\tau$  и лезвия противорежущей пластины  $\tau_n$ :

$$\chi = \tau + \tau_n. \quad (3)$$

В большинстве современных машин для измельчения кормов лезвие противорежущей пластины устанавливают под углом наклона  $0^\circ$  [5], то есть  $\tau_n = 0$ . Учитывая это обстоятельство и выражение (3), неравенство (2) можно переписать в виде:

$$\tau \leq 2\varphi. \quad (4)$$

На основе представленных выше результатов исследований В. А. Желиговского и В. П. Горяч-

кина, а также полученных выражений (1) и (4) нами были получены значения угла скольжения, способствующие осуществлению процесса резания и уменьшению энергозатрат, определяющиеся из интервала:

$$\varphi \leq \tau \leq 2\varphi. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет определить значения углов скольжения различных кормов животного происхождения, способствующих осуществлению процесса резания и уменьшению энергозатрат. Для этого необходимо знать углы трения этих кормов о материал ножа и противорежущей пластины.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование коэффициентов трения скольжения различных кормов животного происхождения проводилось на установке для измерения коэффициентов трения пищевых продуктов (рис. 1), конструкция подобной установки и методика эксперимента ранее описывались в литературе [9]. В качестве исследуемого материала использовались корма животного происхождения из базового рациона кормления пушных зверей: атлантическая сельдь, минтай, мясо свинины, голень куриная, печень свиная, кость свиная. Исследуемые корма животного происхождения имели следующие характеристики: влажность 72...75 %, температура 273...278 К. В качестве поверхности трения использовалась стальная пластина.

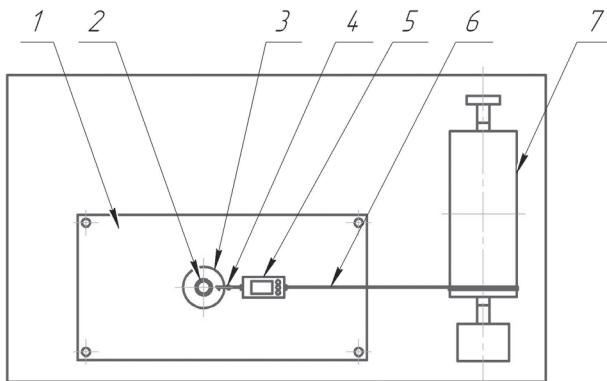


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента трения: 1 – стальная пластина, 2 – пластина-утяжелитель, 3 – куски исследуемого материала, 4 – крюк, 5 – электронный динамометр, 6 – трос, 7 – мотор-барабан марки МБ-1,6

Исследуемые корма животного происхождения предварительно разрезались на куски 3 одинакового размера 40 × 60 мм, взвешивались и укладывались на стальную пластину 1 плоскостью разреза вниз (так как в процессе резания нож взаимодействует с материалом по поверхности среза, в процессе резания из материала выделяется клеточный сок, кровь и другие жидкости, влияющие на коэффициент трения). Сверху на куски устанавливалась пластина-утяжелитель 2 массой 0,5 кг с целью обеспечения давления

контакта труящихся поверхностей (так как в процессе резания измельчаемый материал обжимает боковые грани лезвия ножа, создавая тем самым давление контакта труящихся поверхностей). Куски исследуемого материала посредством крюка 4 и троса 6 последовательно соединялись с электронным динамометром 5 типа ВВ и мотор-барабаном 7 марки МБ-1,6, который приводил их в движение, обеспечивая постоянную скорость скольжения 0,25 м/с. Электронный динамометр с ценой деления 0,001 кг автоматически фиксировал на дисплее значение силы трения скольжения при установившемся движении кусков материала. Измерение силы трения скольжения проводилось для всех исследуемых материалов по 100 повторностей. В процессе измерений получены выборки случайных величин сил трения скольжения  $F_{\text{тр}i}$ . По значениям сил трения скольжения были рассчитаны углы трения скольжения  $\varphi_i$  по формуле:

$$\varphi_i = \arctg(F_{\text{тр}i} / m_i * g).$$

Для них произведена статистическая обработка для доверительной вероятности 0,7, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Углы трения скольжения различных кормов животного происхождения, градусы

Показатель	Печень свиная	Сельдь атлантическая	Кость свиная	Минтай	Голень куриная	Мясо свиное
Среднее значение угла трения скольжения	6,21	10,14	10,43	12,76	8,89	12,12
Среднеквадратичное отклонение	1,19	9,02	2,11	1,48	1,19	2,09
Доверительный интервал	0,31	2,38	0,56	0,39	0,31	0,55
Верхняя граница доверительного интервала	6,52	12,52	10,98	13,15	9,20	12,67
Нижняя граница доверительного интервала	5,89	7,76	9,87	12,37	8,57	11,57

Полученные значения углов трения были подставлены в выражение (5). В качестве минимального значения угла скольжения в выражении (5) были подставлены значения нижней границы доверительного интервала угла трения, в качестве максимального значения угла скольжения были подставлены удвоенные значения верхней границы доверительного интервала угла трения, результаты подстановки представлены в табл. 2.

Полученные значения минимальных и максимальных углов скольжения различных кормов

животного происхождения были представлены в виде диаграммы (рис. 2).

Таблица 2

Углы скольжения различных кормов животного происхождения, градусы

Показатель	Печень свиная	Сельдь атлантическая	Кость свиная	Минтай	Голень куриная	Мясо свиное
Минимальный угол скольжения	5,89	7,76	8,57	9,87	11,57	12,37
Максимальный угол скольжения	13,05	15,52	17,14	19,75	23,15	26,31

Анализируя рис. 2, можно выделить зону перекрытия углов скольжения (выделены горизонтальными жирными линиями), в которой находятся углы скольжения, совпадающие для всей совокупности исследуемых кормов. Эта зона составляет интервал  $12,37 \leq \tau \leq 13,05$ .

Полученные результаты подтверждают экспериментальные исследования [7], в которых установлено, что при измельчении кормов работа резания уменьшается при углах скольжения

от 10 до  $40^\circ$ , при дальнейшем увеличении угла скольжения работа резания возрастает.

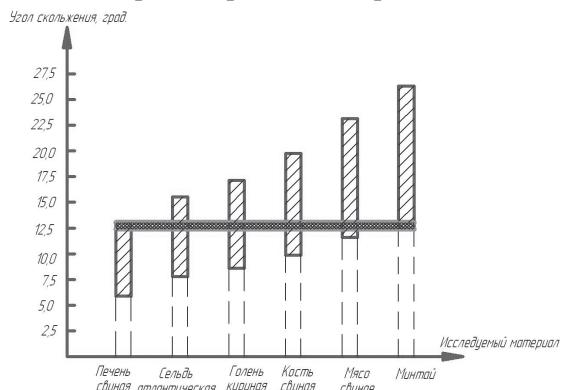


Рис. 2. Диаграмма углов скольжения различных кормов животного происхождения

## ВЫВОДЫ

В результате данной работы было получено выражение для определения значений угла скольжения лезвия ножа, которые способствуют осуществлению процесса опорного резания и уменьшению его энергозатрат:  $\varphi \leq \tau \leq 2\varphi$ . Также определен интервал значений угла скольжения лезвия ножа, общий для ряда исследованных кормов животного происхождения, способствующий осуществлению процесса опорного резания и уменьшению его энергозатрат:  $12,37 \leq \tau \leq 13,05$ .

\*Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития (ПСР) ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барсов Н. А. Ресурсосберегающие технологические процессы и технические средства переработки мясокостных кормов в звероводстве: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1992. 607 с.
- Гаврилов Т. А., Малинов Г. И. Экспериментальное исследование процесса резания мясо-рыбных кормов // Материалы I Международной заочной научно-практической конференции. Устойчивое развитие АПК: рациональное природопользование и инновации. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. С. 95–97.
- Горячkin B. P. Собр. соч. Т. 3. M.: Колос, 1965.
- Желиговский B. A. Экспериментальная теория резания лезвием // Труды МИМЭСХ. Вып. 9. M., 1940.
- Кузьмин B. B. Совершенствование процесса резания мясного сырья на основе математического моделирования формы режущих инструментов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009.
- Курдюмов B. I., Aюгин P. N., Aюгин H. P. Анализ факторов, влияющих на энергоемкость резания // Нива Поволжья. 2008. № 3. С. 57–59.
- Курдюмов B. I., Aюгин P. N., Aюгин H. P. Снижение энергоемкости измельчения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 5. С. 50–53.
- Резник H. E. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. M.: Машиностроение, 1975. С. 29–32.
- Шаманаева E. A., Бурыка P. C. Исследование коэффициента трения говядины и баранины по поверхностям из различных материалов // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2008 год. Том первый. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. С. 216–218.