

А.В. Шеина*аспирант,
Донецкий национальный университет экономики
и торговли им. Михаила Туган-Барановского,
Украина***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМАХ**

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса резания растительного сырья в статическом и динамическом режимах. Установлено влияние скорости внедрения ножа в продукт на удельные усилия резания.

Ключевые слова: сила резания, скорость резания, режим резания, пластинчатый нож, овощи.

**Sheina A.V., Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky
RESEARCH OF PROCESS OF CUTTING OF VEGETABLE MATERIALS IS IN STATIC AND DYNAMIC MODES**

Abstract. In the article the results of experimental researches of process of cutting of vegetable materials in the static and dynamic modes. Influence of speed of introduction of knife is set in a product on specific efforts of cutting.

Keywords: force of cutting, cutting speed, cutting mode, flat blade, vegetables.

Знание величины удельных усилий резания различных пищевых продуктов, а так же факторов, оказывающих непосредственное влияние на них, необходимо для проектирования технологического оборудования, поскольку эта составляющая в большей степени предопределяет энергетические показатели процесса резания и позволяет объективно описать технологический процесс.

Основываясь на результатах теоретических и экспериментальных исследований, на усилие резания пищевых продуктов оказывают влияние как технико-эксплуатационные показатели измельчительного оборудования, являющиеся своеобразной константой машины, так и свойства самого измельчаемого продукта, которые, в свою очередь, непостоянны и проявляются в разной мере под влиянием ряда факторов. К первым относятся: режим резания, геометрия режущих инструментов, конструктивные особенности оборудования; ко вторым, в зависимости от реологической модели измельчаемого сырья, – модуль упругости, коэффициент трения, вязкость, адгезия и другие. Зная характер влияния каждого из перечисленных факторов, мы имеем возможность контролировать процесс резания, делая его более экономичным и качественным, причем как на стадии проектирования нового оборудования, так и при работе с уже существующим.

Влияние скорости внедрения режущих инструментов на удельные усилия резания различных пищевых продуктов отмечено в научных трудах многих исследователей (А.И. Клименко, А.Д. Панина, Ю.А. Мачихина, А.Н. Даурского, Н.Е. Резника и др.).

По вопросам измельчения пищевых продуктов лезвием накоплен значительный опыт, однако, несмотря на это, резание материалов растительного происхождения изучено недостаточно, информация об оптимальных режимах работы оборудования, свойствах обрабатываемых продуктов, качественных показателях и т.д. зачастую отображена односторонне, противоречиво либо не соответствует условиям реального технологического процесса. Таким образом, актуальным является проведение комплексных экспериментальных исследований процесса резания растительных материалов для получения расчетных нормативных данных.

Нами ставилась задача исследовать процесс резания овощного сырья пластинчатым ножом в статическом и динамическом режимах с целью установления влияния скорости внедрения ножа в продукт на удельные усилия.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, разработанная на базе кафедры оборудования пищевых производств Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского и представленная на рисунке 1.

Методика исследования процесса резания следующая:

1. Предварительно подготовленный образец продукта (20×20 мм) размещался на опорном столике. Величина глубины реза регулировалась при помощи концевых выключателей и подбора необходимой высоты опорного столика.

2. Включалась запись в программе Lgraph, и на экране монитора графически отображался сигнал от тензоэлементов. Тарировались тензометрические мосты посредством ступенчатого нагружения установленной нагрузкой. Осуществлялась запись тарировки.

3. Включался электродвигатель, и записывались осциллограммы процесса резания в режиме ре-

ального времени. При этом на оси абсцисс отображалось время процесса, а на оси ординат – величина измеряемых усилий в вольтах. При достижении режущей кромкой заданной глубины реза (либо полном перерезании образца) срабатывала автоматика и электродвигатель отключался, после чего нож возвращался в верхнее положение. Повторение эксперимента семикратное.

4. Строились татировочные графики для каждой серии экспериментов, определялись татировочные коэффициенты. По записям осциллограмм, посредством татировочных коэффициентов, определялось общее усилие резания P , прилагаемое к ножу. Обработка результатов эксперимента осуществлялась при помощи программного обеспечения Statistika.

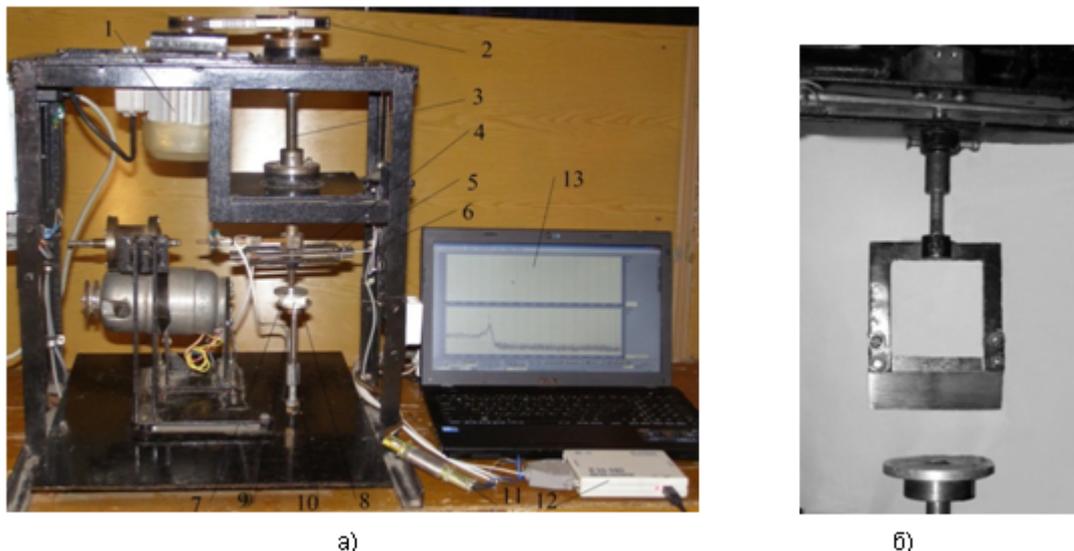


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования процесса резания пищевых продуктов: а) экспериментальная установка (1 – электродвигатель, 2 – ременная передача, 3 – винтовая передача, 4 – корпус, 5 – тензобалка, 6 – концевые выключатели, 7 – узел резания (сжатия), 8 – опорная пластина, 9 – образец продукта, 10 – винт, 11 – усилитель, 12 – АЦП, 13 – ПК); б) узел резания

Для исследований использовались: картофель, морковь, свекла столовая, огурцы, кабачки, баклажаны. Выборка осуществлялась в соответствии с ГОСТ на данную продукцию.

При исследовании влияния скорости внедрения ножа на удельные усилия резания изменение скорости осуществлялось путем подбора шкивов ременной и шага винтовой передачи. Исследования производились при линейной скорости резания 0,005, 0,1, 0,47, 0,75, 1 и 1,25 м/с.

В соответствии с данными технико-эксплуатационных характеристик современного овощерезательного оборудования [1] в овощерезательных машинах производительностью 60–900 кг/ч для измельчения сырых овощей используют линейные скорости вращения ножей от 0,3 до 1,25 м/с. В связи с этим, при исследовании влияния скорости внедрения ножа в продукт на удельные усилия резания $q_{уд}$ был выбран интервал исследуемых скоростей от 0,005 до 1,25 м/с. Статические исследования при минимальных скоростях резания проводились с целью получения диаграмм процесса резания образца продукта пластинчатым ножом, удобных для проведения анализа самого процесса. Увеличение скорости резания в овощерезательных машинах свыше 1,5 м/с является нецелесообразным ввиду сложности быстрого удаления измельченного продукта из зоны резания и его чрезмерного деформирования вследствие увеличения действия центробежных сил в момент отжатия ломтика. Последний фактор оказывает существенное влияние на качество нарезки в целом и снижает конкурентоспособность машины.

На рисунке 2 приведены результаты исследований статического резания пластинчатым ножом растительного сырья на примере баклажан (коэффициент скольжения $\beta=0$). Результаты исследований представлены в виде диаграммы резания $P_{рез} = f(t)$ и отображают характер изменения усилия резания по мере продвижения режущей кромки ножа сквозь слой продукта заданной толщины.

Условно процесс перерезания образца продукта пластинчатым ножом можно разделить на два этапа, соответствующих различным стадиям процесса: первый этап характеризует сжатие исследуемого образца режущей кромкой ножа до достижения предела прочности $\sigma_{кр}$, второй – непосредственно отображающий движение ножа сквозь слой продукта. При этом для каждого из этапов характерно некоторое значение удельной работы сжатия $A_{сж}$ и резания $A_{рез}$.

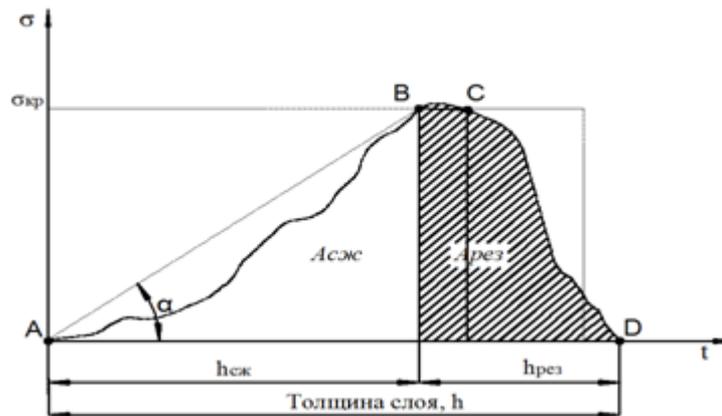


Рисунок 2 – Диаграмма статического резания баклажан

На диаграмме резания точка А определяет начало контакта режущей кромки ножа с продуктом, участок АВ – предварительное сжатие продукта режущей кромкой ножа до достижения предела прочности, обозначенного точкой В ($B = \sigma_{кр.}$), то есть точка В отмечает начало процесса резания. На участке АВ наблюдается рост напряжения, причем отсутствие плавности кривой указывает на неравномерность деформации слоев продукта, разрушение структуры при смятии и т.д. На участке ВС осуществляется перерезание предварительно сжатого слоя продукта и кожуры, которая имеет значительно большую плотность по сравнению с мякотью. На этом участке наблюдаются максимальные усилия резания. Участок диаграммы CD отображает продвижение режущей кромки ножа через слой продукта и точка D – окончание процесса резания (в нашем случае – остановка ножа). Неравномерность кривой участка CD, а, соответственно, и изменения усилия резания, обусловлена изменением сопротивления резанию различных слоев продукта, ввиду неоднородности его структуры.

Кроме того, нельзя не учитывать тот факт, что процессу перерезания слоя сопутствует некоторое предварительное уплотнение подлежащих слоев, которое, опять же, может быть более существенным в зависимости от наличия неоднородных элементов структуры (волокна, пленки, семена и др.). Отметим, что уплотнение слоев продукта режущей кромкой по мере внедрения ножа в слой будет более существенным и неярким при статическом резании, в то время как при высоких скоростях процесс будет сопровождаться появлением опережающей трещины, вследствие ударных нагрузок. Между тем, участок диаграммы CD характеризуется постепенным снижением величины усилия резания.

Согласно экспериментальным данным, зависимость удельного усилия резания от скорости внедрения режущей грани пластинчатого ножа в продукт с высокой степенью достоверности описывается степенной функцией:

$$q_{уд} = k \cdot v^{-m},$$

где k и m – коэффициенты, определяемые экспериментально.

В таблице 1 приведены уравнения кривых для различных овощей при скорости резания 0,4–1,25 м/с.

Таблица 1 – Зависимость удельных усилий резания овощей от скорости резания

| Продукт | Уравнение кривой | Величина достоверности аппроксимации R^2 |
|--------------------|-----------------------------|--|
| Картофель | $q_{уд} = 680,90v^{-0,06}$ | 0,788 |
| Морковь | $q_{уд} = 629,27v^{-0,102}$ | 0,872 |
| Огурец | $q_{уд} = 306,05v^{-0,11}$ | 0,884 |
| Баклажан (мякоть) | $q_{уд} = 818,71v^{-0,093}$ | 0,903 |
| Баклажан с кожурой | $q_{уд} = 1459,5v^{-0,031}$ | 0,961 |
| Кабачок | $q_{уд} = 298,60v^{-0,078}$ | 0,849 |
| Свекла столовая | $q_{уд} = 902,42v^{-0,054}$ | 0,957 |

В диапазоне скоростей резания 0,005...1,25 м/с отмечается уменьшение удельного усилия реза-

ния овощного сырья в 1,4...2 раза. Причем, наиболее значимое падение величины $q_{уд}$ наблюдается в интервале скоростей от 0,005 до 0,2 м/с. Снижение удельного усилия резания с повышением скорости резания связано с влиянием на процесс фрикционных и реологических свойств образца измельчаемого продукта [2, 3]. Таким образом, мы рассматриваем зависимость $P_{рез.} = f(v)$ как изменение некоторого физико-механического свойства продукта. Кроме того, сопротивление упруго-вязкого материала динамическому воздействию связано со скоростью распространения в нем напряжений и деформаций, что является его характерной особенностью.

Выводы. Экспериментальным путем установлено, что удельные усилия резания растительных материалов зависят от скорости внедрения режущей грани ножа в слой материала. В различных диапазонах скоростей удельные усилия резания могут как уменьшаться, так и увеличиваться. Так, при статическом резании величина удельных усилий резания будет максимальной и в большей мере подвергается влиянию скорости внедрения ножа, чем в динамическом режиме. Это объясняется тем, что усилие резания находится в сложной зависимости от величины предварительной деформации материала, которая, в свою очередь, зависит от скорости резания.

Таким образом, при анализе силового взаимодействия лезвия и разрезаемого материала рекомендуется учитывать скоростной режим резания. При проектировании технологического оборудования для измельчения растительных материалов с целью снижения удельных усилий резания следует выбирать более высокие скорости резания.

Список литературы:

1. Заплетников И.Н., Шеина А.В. Оценка качества овощерезательного оборудования, представленного на рынке Украины // Вісник ХНТУСГ: темат. сб. науч. тр. – Харьков, 2011. – № 119. – С. 156–160.
2. Заплетников И.Н., Шеина А.В. Исследование факторов, влияющих на фрикционные свойства овощей // Рибне господарство України. – Керчь, 2012. – № 7.
3. Заплетников И.Н., Шеина А.В. Исследование реологического поведения овощей в условиях одноосного сжатия // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции / БГАТУ. – Минск, 2013.